



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 31

Sayı/Issue: 2

Aralık/December 2016

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Özen KILIÇ

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Zekeriya TÜFEKÇİ (ÇÜ)	Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Hüseyin AKILLI (ÇÜ)
Ahmet YÜCEER (ÇÜ)	Kadir AYDIN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	F. Duygu SABAN ÖKESLİ (ÇÜ)
Rızvan EROL (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)	

Aralık 2016 Cilt 31 Sayı 2 Hakemleri

Rıza DİNÇER (ÇÜ)	Düzgün ÇAKIRCA (BÜ)
Baki BAĞRIÇIK (ÇÜ)	Yusuf URAS (KSIÜ)
Atike NAZİK (ÇÜ)	Kemal TASLI (MÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	A. Alper ÖNER (EÜ)
Gözde ÇELİK (ÇÜ)	İ. Halil GEREK (ABTÜ)
Abdulazim YILDIZ (ÇÜ)	Ahmet DEMİR (OKAÜ)
Fatih ÖZCAN (NÖHÜ)	Okan KARAHAN (EÜ)
Mehmet YILDIRIM (ÇÜ)	Cem ŞENSÖĞÜT (DÜ)
Savaş BAYRAM (EÜ)	B. Melis ÖZYILDIRIM (ÇÜ)
Ahmet DAĞ (ÇÜ)	Bilgehan KEKEÇ (SÜ)
H. Hüseyin ÖZTÜRK (ÇÜ)	Selçuk ASLAN (ÜÜ)
Nihat ÇELİK (ÇÜ)	Serap AKCAN (AÜ)
Hasan SERİN (ÇÜ)	Ertaç HÜRDOĞAN (OKAÜ)
Fuat BUDAK (ÇÜ)	Meltem SARIOĞLU CEBECİ (ÇÜ)
Özen KILIÇ (ÇÜ)	Yasin ERDOĞAN (İSTU)
Mesut ANIL (ÇÜ)	Mehmet BİLGİLİ (ÇÜ)
Hakan GÜNEYLİ (ÇÜ)	Hacer BİLİR ÖZHAN (BTÜ)
Nil YAPICI (ÇÜ)	Engin EMSEN (AÜ)
Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)	Serkan TOKGÖZ (ABTÜ)
Mehmet Fatih ŞAHAN (AÜ)	Neslihan SEÇKİN (ÇÜ)
Selahattin KOCAMAN (İSTEÜ)	Durmuş Ali BİRCAN (ÇÜ)
Kerimcan ÇELEBİ (ABTÜ)	Hasan ÇETİN (ÇÜ)
M. Salih KESKİN (DÜ)	Cengiz DÜNDAR (ÇÜ)
Mehmet SALTAN (SDÜ)	Volkan Emre UZ (ABTÜ)
Ümit ŞAFAK (ÇÜ)	Güldemin DARBAŞ (KSIÜ)
Nazan KALEBEK (GÜ)	Emel Ceyhan SABİR (ÇÜ)
Turgut İKİZ (ÇÜ)	Volkan Yusuf ŞENYÜREK (MÜ)
Ebru ÇORUH (GÜ)	Belkis ZERVENT ÜNAL (ÇÜ)
İlhami İLHAN (ÇÜ)	Ahmet TEKE (ÇÜ)
Mehmet Emin MERAL (YYÜ)	Seyhan YARDIMLI (İAÜ)
Sedat TÜRKMEN (ÇÜ)	Sevda ÖZEL (ÇÜ)
Kemal GÜRBÜZ (ÇÜ)	Erol ÖZER (MÜ)
Ahmet Duran ŞAHİN (İTÜ)	Tunç TÜKEN (ÇÜ)
Hüsnü GERENGİ (DÜ)	Ergül YAŞAR (İSTEÜ)
Serin MEZARCIÖZ (ÇÜ)	Halil ÖZDEMİR (OKAÜ)
Duygu SABAN ÖKESLİ (ÇÜ)	Tuba AKAR (MÜ)
Ümit ÖZER (İÜ)	Bülent TÜTMEZ (İÜ)
Zeki YETGİN (MÜ)	Ali İNAN (ABTÜ)

YAZIŞMA ADRESİ

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

Hakemli Bir Dergidir. Yılda İki Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Semi-annually.

Dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
(Bu sayı Çukurova Mühendisler - Mimarlar Güçlendirme Derneği tarafından bastırılmıştır)

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda iki sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published semi-annually. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- İstanbul'un Yağmur Suyu Taşkınlarına Karşı Yeşil Teras Çatılarının Önleyici Rolü..... 1**
Preventive Role of Green Roofs Against Rainwater Floods of İstanbul
Deniz YILMAZ
- Doğal Anhidritin Beton Bileşeni Olarak Kullanımı..... 7**
Utilization of Natural Anhydrite as Concrete Component
Hakan GÜNEYLİ, Nil YAPICI ve Süleyman KARAHAN
- Edirne-Trakya Bölgesi Paleojen-Neojen Çökellerinin (Edirne-Keşan, Uzunköprü, Meriç, Süloğlu Sondajları) Mikropaleontolojik İncelenmesi 17**
Micropaleontological Investigation of Paleogene- Neogene Sediments (Edirne-Keşan, Uzunköprü, Meriç, Süloğlu Drillings) in Edirne (Thrace) Region
Ümit ŞAFAK ve Manolya GÜLDÜREK
- Eşik Mansabındaki Kritik Üstü Açık Kanal Akımının Deneysel ve Sayısal Analizi..... 33**
Experimental and Numerical Analysis of Supercritical Open Channel Flow downstream of a Sill
M. Sami AKÖZ, N. Göksu SOYDAN ve Oğuz ŞİMŞEK
- Improving the Performance of Construction Projects by Employing Concurrent Engineering..... 47**
Eşzamanlı Mühendislik İstihdamının İnşaat Projelerinin Performansına Etkisi
Olcay GENÇ, Hilmi COŞKUN ve Ercan ERDİŞ
- Kare Temeller Altında Gerilme ve Taşıma Gücü Analizi 59**
Stress and Bearing Capacity Analyses under Square Footings
Yakup TÜREDİ ve Murat ÖRNEK
- Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Yangın Direnci 67**
The Fire Resistance of Alkali-Activated Slag Mortars
Cahit BİLİM
- Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Kullanılarak Karadon (Zonguldak) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu Davranışının İncelenmesi..... 77**
Investigation of Oil Agglomeration Behaviour of Karadon (Zonguldak) Coal Using Taguchi Experimental Design
Selma DÜZYOL

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Hazır Beton Üretiminde Atık Yönetimi: Türkiye’deki Taze Beton Atığının Durumu 85**
Waste Management in Ready Mixed Concrete Production: The Case of Fresh Concrete Waste in Turkey
Emel ORAL ve Mehmet Sait ANDAÇ
- Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Şantiye Yerleşim Planlaması..... 93**
Site Layout Planning by using Genetic Algorithm Approach
Emel ORAL, Mustafa ORAL ve Serkan KARTAL
- Taş Ocaklarında Rekültivasyon Uygulaması: Uçucu Küllerin Depolanması Örneği..... 103**
Reclamation of Limestone Quarry: A Case Study for the Storing of Fly Ash
Bayram Ali MERT
- Farklı Isıtma-Derece-Gün (HDD) Değerlerine Bağlı Olarak Seralarda Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi 119**
Determination of Heat Energy Requirements for Greenhouses in Regions with Different HDD Values
A.Nafi BAYTORUN, Sait ÜSTÜN ve Adil AKYÜZ
- AHP-WRA Bütünleşik Yöntemi Kullanılarak Mobilya Sektöründe Müşteri Şikayetlerinin Değerlendirilmesi 129**
Evaluation of Customer Complaints in Furniture Industry by Using Integrated AHP-WRA
Ali KOKANGÜL, Cansu DAĞSUYU ve Elif Buçe DERE
- Çapraz Akışlı Saptırılmış Boru Demeti Isı Değiştiricilerinin Ekonomik Optimizasyonu..... 139**
Economic Optimization of Cross-flow Staggered Plain Tube Bank Heat Exchangers
Alper YILMAZ, M.Tahir ERDİNÇ ve Tuncay YILMAZ
- Parasetamolün İçme Sularından Koagülasyonla Giderimi ve Sıcaklığın Etkisi 149**
Removal of Paracetamol from Drinking Water by Coagulation and Effect of Temperature
Mesut BAŞIBÜYÜK ve Fatma Elçin ERKURT
- Çamlıbel (Tokat) Diyabazlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması..... 159**
Investigation of Pyhsico-Mechanical Properties of Çamlıbel (Tokat) Diabases
Esma KAHRAMAN ve Ahmet Mahmut KILIÇ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Jeotermal Rezervuar Modelleme ve JMP Programı ile Model Parametre Değerleri Tahmini	167
<i>Geothermal Reservoir Modeling and Estimation of Model Parameter Values with JMP Program</i>	
Özen KILIÇ ve Sedat TORAMAN	
Solar Radiation Modeling for Turkey Using Atmospheric Parameters with Artificial Neural Networks	179
<i>Yapay Sinir Ağları ile Atmosferik Parametreler Kullanılarak Türkiye için Güneş Radyasyonu Modellemesi</i>	
Ozan ŞENKAL	
Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Farklı Temel Şekilleri İçin Değerlendirilmesi... ..	187
<i>Evaluation of the Reinforcement Layer's Optimum Depth under Different Shape of Footing</i>	
Baki BAĞRIAÇIK	
Çağalalı ve Bezardağı (Adıyaman) Mangan Cevherleşmesinin Jeokimyasal Özellikleri.....	195
<i>The Geochemical Features of Manganese Mineralization in the Çağalalı and Bezardağı (Adıyaman)</i>	
Mustafa AKYILDIZ ve Burcu KARATAŞ	
Geçirimli Betonların Basınç Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma.....	209
<i>An Experimental Study on Compressive Strength of Pervious Concretes</i>	
Ahmet AKKAYA ve İsmail Hakkı ÇAĞATAY	
The Effect of Edge Ratio and Fiber Orientation on Free Vibration Analysis of Laminated Composite Plates on Elastic Foundation	217
<i>Elastik Zemin Üzerine Oturan Tabakalı Kompozit Plaklarda Kenar Oranlarının ve Fiber Açılarının Değişiminin Serbest Titreşim Analizi Üzerine Etkisi</i>	
Ali DOĞAN	
Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi ve Yağışlı-Kurak Dönemler Açısından İrdelenmesi	227
<i>Modelling of Rainfall-Run off Relation with Artificial Neural Network Methods for Lower Seyhan Plain Sub-Basin and Assessment in Point of Rainy-Droughty Terms</i>	
Evren TURHAN, Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY ve Abdurrahim ÇETİN	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Weight Reduction of Intercity Bus by Different Seat Construction Design in Compliance with APTA and FMVSS Standards.....	243
<i>Şehirlerarası Otobüslerde APTA ve FMVSS Standartları'na Uygun Farklı Koltuk Yapısı Dizaynları ile Ağırlık Azaltılması</i>	
Gonca DEDE ve Mustafa ÖZCANLI	
Investigation of the Uplift Capacity of Group Anchor Plates in Geogrid-Reinforced Sand.....	257
<i>Geogrid Donatılı Kumda Grup Ankraj Plakalarının Çekme Kapasitesinin İncelenmesi</i>	
Mustafa LAMAN, Buse EMİRLER ve Mustafa TOLUN	
Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi.....	269
<i>Investigation of Soft Story and Weak Story Irregularities on the Structures with Infill Walls</i>	
Duygu ERTÜRKMEN ve İsmail Hakkı ÇAĞATAY	
Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Hat Kalitesine Etki Eden Parametreler Üzerine Bir Çalışma	279
<i>A Study on Parameters Affecting the Track Quality of High Speed Rail Tracks</i>	
Murat V. TACİROĞLU, Mustafa KARAŞAHİN ve Mesut TIĞDEMİR	
KB Türkiye (Şile-İstanbul) Entomozocean Ostrakodları.....	293
<i>Entomozocean Ostracodes of NW Turkey (Şile-İstanbul)</i>	
Emine ŞEKER ZOR ve Atike NAZİK	
Kaplamalı Denim Kumaşlarda Performans Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma ..	307
<i>An Experimental Study on Performance Properties of Coated Denim Fabrics</i>	
Füsün DOBA KADEM ve Şehpal TÖLEK	
Halı Üretiminde İletken Filamentlerin Kullanım Olanaklarının Araştırılması.....	317
<i>Investigation of Usage Possibilities of Conductive Filaments in Carpet Production</i>	
Pınar DURU BAYKAL ve İlkan ÖZKAN	
Bebek Bezi Üretimi	327
<i>The Production of Baby Diaper</i>	
Pınar DURU BAYKAL ve Seval UYANIK	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Simulation of Urban Electric Vehicle Transport and Charging Station Implementation at Çukurova University	343
<i>Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu</i>	
Mehmet Uğraş CUMA, Adil Hakan CENGİZ ve Mehmet TÜMAY	
Gazimağusa Kaleiçindeki Tarihi Taş Yapılarda Görülen Bozunmalar.....	355
<i>Deterioration of the Historic Stone Building of the City Gazimagusa Kaleiçi</i>	
Murat DAL, Mahmut YALÇIN ve Ali Duran ÖCAL	
İzmit Körfezinin Sığ Sismik Verilerle Sismik Startigrafik İncelenmesi.....	365
<i>Seismic Stratigraphical Investigation of Izmit Bay with Shallow Seismic Data</i>	
Hatice KARAKILÇIK	
Levent (Akçadağ-Malatya) Bölgesinin Tektono-Stratigrafisi.....	379
<i>Tectono-Stratigraphy of Levent (Akçadağ- Malatya) Region</i>	
Selim SOLAK, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ ve Ahmet Can AKINCI	
Tuz Gradyentli Bölgenin Güneş Havuzunun Performansı Üzerine Etkisi	391
<i>The Effect on Performance of the Salt Gradient Zone of the Solar Pond</i>	
Mehmet KARAKILÇIK	
Bronz Yapıtların Atmosferik Korozyonunda Hava Kirleticilerin Etkisi ve İnhibitörle Korunması	401
<i>The Influence of Air Pollutants on the Atmospheric Corrosion of Bronze Artefacts and Protection with Inhibitor</i>	
Gözde TANSUĞ	
Characterisation of Tufanbeyli (Adana) Lignite Ashes	415
<i>Tufanbeyli (Adana) Linyit Küllerinin Karakterizasyonu</i>	
Abdulkadir ÜRÜNVEREN	
Rins Yıkamanın Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması	421
<i>Investigation of Effects of Rinse Washing on Performance for Denim Fabrics</i>	
R.Tuğrul OĞULATA	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Adana ve Kuzey Kıbrıs'ta Yer Alan Camiye Dönüştürülmüş Kilise Yapıları
Üzerine Bir Karşılaştırmalı Çalışma 437**
*A Comparative Study for the Appropriation of Church Buildings in Adana and
Northern Cyprus*
Hülya YÜCEER
- Kriging Tekniği ile Nokta ve Alansal Kestirim: Tenör Dağılımlarının Haritalanması
Örneği..... 453**
*The Prediction of Point and Block Using Kriging Technique: A sample of Grade Distribution
Mapping*
Bayram Ali MERT, Ahmet DAĞ ve Ali Can ÖZDEMİR
- An Experimental Investigation of Document Vector Computation Methods for
Sentiment Analysis of Turkish and English Reviews..... 467**
*Türkçe ve İngilizce Yorumların Duygu Analizinde Doküman Vektörü Hesaplama
Yöntemleri için Bir Deneysel İnceleme*
Furkan GÖZÜKARA ve Selma Ayşe ÖZEL

İstanbul'un Yağmur Suyu Taşkınlarına Karşı Yeşil Teras Çatılarının Önleyici Rolü

Deniz YILMAZ*¹

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

Geliş tarihi: 02.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

İstanbul nüfusunun son yarı yüzyılda hızlı bir şekilde artması, konut ve kentleşmede sorunlara neden olmuştur. Sorunun hızlı yapılaşma yaklaşımıyla giderilmeye çalışılması da ayrıca farklı sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sorunların en önemlilerinden biri kentteki yağmur suyu taşkınlarıdır. Bu nedenle her şiddetli yağmur sonrası İstanbul'un birçok yerinde taşkınlar oluşmaktadır. Kent için maddi ve manevi zarara neden olan bu taşkınlar, ekolojik açıdan da ciddi bir kirlilik yaratmaktadır. Yağmur suyu taşkınlarında, yüzey suyunun çoğalması önemli bir faktördür. Aşırı yapılaşma ile yaratılan geçirimsiz tabakadan dolayı toprak yüzeyi altına sızma imkânı bulamayan yağmur suyu, kaçınılmaz olarak yüzeyde akmakta ve artarak kentin en düşük noktalarında birikmektedir. Suyun aşırı şekilde biriktiği bu tür noktalarda şebekelerin yetersiz kalması, taşkınların meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu noktada, yapılaşmada "Yeşil teras çatı" denilen sistemlerin yaygınlaştırılarak kullanılması, bu tür taşkın problemlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu makalede İstanbul kentinde yağmur suyundan kaynaklanan taşkın problemlerine yeşil çatı sistemlerinin nasıl önleyici bir fonksiyon üstlenebileceği ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstanbul, Kentleşme, Yağmur suları, Taşkın, Yeşil çatı

Preventive Role of Green Flat Roofs Against Rain Water Floods of İstanbul

Abstract

A rapid increase of the provincial population of İstanbul in the last half century has caused problems of housing and urbanization. Despite trying to resolve this problem with the rapid construction, it has led to many problems. The rain floods in the city are the most important ones. For this reason, floods occur in many parts of İstanbul after heavy rainfall. These floods, which is responsible of material and moral damages caused to the city, also creates from ecological point of view serious pollutions. One of the important factors that cause rain water floods is the proliferation of superficial rainwater. Because rain water cannot infiltrate into the soil due to impermeable constructions, it flows at the surface and the amount of surface rain water increases with increasing construction on the area. Rain water gathered at the lowest point of the town basin. Since an excessive load on the rain water networks occurs in these

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Deniz YILMAZ, dyilmaz@munzur.edu.tr

places, the surface water cannot be removed and causes floods. In this area, using systems called "Green roof terrace" in construction will contribute to the reduction of such flooding problems. This article describes how green roof could play a preventive function to the flood problems caused by rainwater in Istanbul province.

Keywords: İstanbul, Urbanization, Rainwater, Floods, Green roofs

1. GİRİŞ

Geçen son yarı yüz yıl içinde, İstanbul şehri yoğun bir göç akımına tanık olmuştur. 1980'de İstanbul nüfusu 4,7 milyon olarak tespit edilmiştir. 2000'li yıllarda ise bu nüfus iki katı olmuştur [1]. Buna paralel olarak konutlaşma hızlı ve düzensiz bir şekilde İstanbul'un geniş alanlarını kapsamıştır. Avrupa yakasında şehirleşme ve sanayileşme yüzeyleri 1987'de 13460 ha'dan 2001 yılında 30750 ha olmuştur [2]. Bunun yanı sıra ormanlık, tarım ve boş doğal alanlar gittikçe azalmıştır [3]. Bu hızlı büyüme kendisi ile birlikte birçok problem getirmiştir. İstanbul su havzalarının yapılaşmadan dolayı suyun kirlenmesine sebep olmuştur ve su temini için ciddi zorluklar yaratmıştır. Küçük Çekmece su havzası bunun bariz bir örneğidir [4]. Yapılanmanın bir başka etkisi kentsel sıcak adadır. İstanbul ile ilgili birçok bilimsel çalışma kentsel sıcak adanın varlığını tespit etmiştir [5-7]. Sıcak hava adası kent merkezlerinde ortalama sıcaklığı doğal bir ortama göre birkaç derece yükseltmektedir. Buda enerji tüketimini artırmakta (klima kullanımı gibi) ve yaşam konforunu etkilemektedir [8-9]. Bu nedenle yapılaşma ve sanayileşmeden dolayı İstanbul'un havası kirlenmektedir [10-12].

Sıralanmış olan bu sorunların yanı sıra, İstanbul'un en önemli problemlerden bir tanesi taşkınlardır. 1989 ile 2009 yılları arası 59 tane taşkın İstanbul'da olmuştur [13]. 11 Ağustos 2004 tarihinde İstanbul'un Sarıyer Kozdere yatağında oluşan taşkın 3 kişinin hayatına mal olurken, 300 civarında konuta da zarar vermiştir [14]. Plansız şehirleşmenin devam etmesi, küresel iklim değişimi ile birlikte şiddetli yağmurların ve fırtınaların gelecek yıllarda çoğalması, kaçınılmaz olarak taşkın sayısını ve tahribatı artıracaktır. Özellikle birleşik atık su şebekelerinde oluşan taşkınlar, aynı zamanda suların kirlenmesine ve

çevre tahribatına neden olmaktadır. Genellikle eski kentleşme alanlarında mevcut "birleşik sistem" şebekelerinde bir arada taşınan yağmur suları ve evsel atıklar, şiddetli yağmurlarda artan debi yükleri nedeniyle şebekelerde patlak ve taşkınlar oluşmakta, atık su ve yağmur suyunun karışmasına neden olmaktadır. Birleşik sistemin bulunduğu alanlarda arıtma tesislerinin de verimli çalıştığı söylenemez. Şiddetli yağmurlarda (arıtma tesislerine zarar vermemek için) atık suların doğrudan doğal ortama verilmesinin tercih edilmesi nedeniyle arıtma işleminin gerçekleşmesine engel olunmakta ve çevre kirlenmektedir. Öte yandan yeni yerleşim alanlarında ise "ayrık sistemler" mevcuttur. Bu yerlerde yağmur suları ve evsel atıklar ayrı taşınmaktadır. Ayrık sistemlerde taşkınlar yağmur suyu şebekesinde oluşur ve havza üzerindeki kirlilik yüzeysel yağmur sularını kirlendirir. Özellikle sanayi bölgelerinde deki taşkınlar ciddi ekolojik tahribata neden olmaktadır.

Diğer bir husus ise yoğun kent ortamlarında geçirgen zeminin kısıtlı olması nedeniyle zemin yüzeyi altına sızma imkânı bulamayan yağmur sularının taşkına sebep olması sorunudur. Bu noktada, taşkınları önleyici veya riskini ve tahribat seviyesini azaltacak en önemli etken, yağmur suyunun toprağa temas etmesini sağlamaktır. Yeşil yerlerin korunması, zeminlerin geçirgenliğini artırılması gibi çözümler taşkın riskini azaltır. Bir başka çözüm ise var olan yağmur su şebekesinin kapasitesini artırmaktır. Ancak eski kentlerde, yağmur su şebekesi alt yapısı var olan İstanbul gibi şehirlerde şehri yeniden dizayn etmek oldukça problemlidir. Bu anlamda, belediyeler, yağmur suyunu toplayan şebekenin kapasite artırımını, çok maliyetli ve çevreye verilecek rahatsızlık dolayı nedeniyle genellikle uygulamaktan kaçınmaktadır. Bunun yerine yağmur suyunu tutacak veya zemine sızdıracak alternatif tampon sistemlerine ihtiyaç

duyulmaktadır. Yeşil çatılar denilen sistem bu problemin çözülmesine katkı sunabilmektedir [15-16]. Paris, Nantes ve Berlin gibi birçok Avrupa belediyesi yeşil çatılara ödenek vererek teşvik etmektedir. Konu bu bağlamda değişik boyutlarıyla ele alınarak İstanbul için uygulanabilirliği irdelenmiştir.

2. YEŞİL TERAS ÇATILARIN YAĞMUR SUYUNU TUTMA ÖZELLİKLERİ

Yeşil teras çatılar hafif seyrek sistemlerdir, bakım hariç üzerinde gezilemez. Teras terimini düz çatı olarak algılamak gerekmektedir. Üzerinde gezine bilinen yeşil çatılara “Bahçe Yeşil Çatı” adı verilir ve bunlar yeşil teras çatılarına göre ağır yüklü sistemlerdir. Yeşil teras çatıların bileşenleri suni toprak katmanı ve kuraklığa dayanıklı bir bitki örtüsü ile oluşturulmaktadır (Şekil1).



Şekil 1. Yeşil teras çatı

Çatı üzerinde olan bu katman ve bitki örtüsü yağmur suyunu depolama veya tutma fonksiyonunu alabilir. Yeşil çatıların katmanın karakteristiklerinden bir tanesi bol gözenekli olmasıdır. Genellikle Puzolan volkanik taşı ile suni gübre karışımı ile oluşur. Bu da sistemin klasik bir zemine göre daha hafif olmasını sağlar. Yağmur esnasında yeşil çatılar bir sünger rolünü görmektedir. Sistem, yağmur sularını tutar, gözenekleri dolduğu zamanda su süzülerek drenaj tabakasından çatı oluklarına ve yağmur su şebekesine gider. Bu sayede şiddetli yağmurlarda

yeşil çatılara gelen yağmur suları tutulur ve belli bir süre sonra şebekeye gönderilir. Böylelikle şebekelerdeki yağmur yükü hafiflemekte, debi pikleri düşmekte ve taşkın riski azalmaktadır [17-18].

Yeşil çatıların yağmur suyunu tutma kapasitesi, yağmur miktarının yüzde kaçını tutabilmesi ile ilişkilidir. Bu veri çoğu zaman yıllık yağmura göre verilir ve yeşil teras çatı sistemlerinde değişik yağmur suyu tutma kapasiteleri ölçülür. Yapılan araştırma ve değerlendirmelere göre bu değer, Almanya’da %27 ile %81 arasında değişirken [9], Amerika’nın Chicago, Philadelphia ve Portland şehirlerinde %65 [19], Fransa’nın Nantes şehrinde %72,8 ile %80,2 arasında [20], İtalya’da Genova kenti için ise %51 olarak bulunmuştur [21]. İstanbul için yapılan bir araştırmada ise yeşil çatının standart bir çatıya göre %43 daha fazla yağmur suyu tuttuğu tespit edilmiştir [22]. Görüldüğü üzere, Yeşil çatıların yağmur suyunu tutma değerleri, sistemin olduğu katmanlar ve iklim koşullarına göre değişmektedir [23]. Bu anlamda, bitki örtüsünü taşıyan katmanın kalınlığı, bitkinin türü, sistemde su rezervuarlarının olup/olmaması, sistemin yaşı, yağmurun türü (şiddetli yağmur veya hafif sağanaklı), sistemin su doluluk oranı, yaz ve kış gibi iklimsel değişimler yeşil teras çatıların yağmur suyunu tutma değerlerini etkilediğini söylemek mümkündür.

3. YEŞİL ÇATILARIN DİĞER FONKSİYONLARI

Yeşil çatıların birçok alanda faydalı olması durumu, kaçınılmaz olarak bu alanda birçok bilimsel çalışmanın yapılmasını sağlamıştır. Örneğin bu çalışmalardan biri, Şehir ortamlarında yeşil çatıların hava sıcaklığını düşürdüğünün tespitidir [24]. Yalıtımsız yapılarda, yeşil çatıların ısı yalıtım görevini yapabildiği, ancak bunun geçerliği kuru ortam ile sınırlı olduğudur. Bunun sebebin ise toprak gözenekleri su ile dolduğu zaman, yeşil teras çatı enerji bakımından taşıyıcı olur ve iç mekân ısısını dışarıya aktarmasıdır [25]. Bunun yanı sıra yeşil yüzeylerin, yani bitkilendirilmiş alanların şehir üzerindeki sıcak ada üzerinde pozitif etkileri olduğu da belirtilir

[8-9,26]. Bu duruma ilişkin Türkiye’de yapılan bazı çalışmalarda, ısı bakımından yeşil çatıların pozitif rol oynadığı özellikle vurgulanır [27-28]. Ağaçlar ve yeşil bitkiler terlediğinden havayı yumuşatır ve klima gibi havayı soğutmak için ihtiyaç duyulan enerji tüketimini azaltmaktadır [29]. Ayrıca yeşil çatılar, kent merkezlerine biyo çeşitlilik katar, kentin estetik görünümüne ve ekolojik kent olmasına katkı sağlar.

4. İSTANBUL İÇİN DEĞERLENDİRME

İstanbul’da yeşil çatılar, büyük alış veriş merkezleri, lüks ve pahalı binaların üzerinde estetik, ekolojik yapı görünümü sunmak ve yapılara değer katma amaçlı olarak yapıldığı görülmektedir. Bu sistemlerin birçoğunun bahçe çatı teras ve ağır yüklü sistemler olduğunu söylemek mümkündür. Bu makalede sözü edilen teras yeşil çatılar, İngilizcede “*extended flat green roof*” olup hafif yüklü sistemlerdir. Üzerinde bakım ihtiyaçları dışında yürünmez. Dünya’daki bu hafif yüklü teras yeşil çatıların suni toprak katmanının kalınlığı 3 cm ile 12 cm arası değişmektedir. Teras bahçe çatılarında ise bu kalınlık 30 cm ile 150 cm arası değişmektedir. Ayrıca bitkilerin büyümesi için oluşan bu suni ortamın kütleli ağırlığı bir klasik tarım toprağının ağırlığından 2,5-3 kat daha azdır. Hafif olduğundan, yeşil çatılar İstanbul’daki birçok binanın statik yükünü etkilemeyecek sistemler olarak görülebilir. Belirtildiği gibi yeşil çatıların yağmur suyu tutma kapasitesini birçok faktör etkilemektedir. Bunun için Türkiye şartlarına uygun bir yeşil çatı tasarımı gerekmektedir. Bu da yeşil çatıyı oluşturacak suni ortam malzemelerinin ve bitkilerin yerel olmasıyla birlikte, yeşil çatı kalınlığını ve yeşil çatının yaratacağı statik yükü İstanbul yapılarının kaldırabileceği ölçütlerde tasarlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Kuşkusuz tasarlanacak bu yeşil çatının İstanbul iklimindeki yağmur suyunu tutma karakteristikleri tespit edilerek yapılması gerekir. Bu bağlamda tasarımı kabul edilen bir yeşil çatının deneysel amaçlı olarak inşa edilmesi ve en az bir yıl iklim şartlarına maruz bırakılarak, yağmur suyunu tutma kapasitesinin ölçülmesi önemlidir [20]. Bu

bağlamda İstanbul kentinin yoğun ve hızlı şehirleşme bölgelerinde coğrafi bilgi sistemi ile çatıların yüzey alanlarının tespit edilerek, yeşil çatıya dönüştürülme potansiyeline sahip çatı oranları belirlenir ve sayısal modelleme ile bunun yağmur suyu şebekesi üzerindeki etkileri araştırılır. Bu araştırmaların sonucuna göre yeşil çatıların şehir hidrolojisi bakımından pozitif etkisi böylelikle sayısal ortamda gösterilmiş olunur [30].

5. SONUÇ

Türkiye’de yeşil çatılarla ilgili bilimsel çalışmalar az sayıda olmakla birlikte, kentlerin yağmur suyu problemleri ve çözümüne ilişkin araştırma ve çalışmaların ne yazık ki yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Öte yandan mevcut çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi veya yeni yapılara entegre edilmesinin önündeki en büyük engelin ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum İstanbul için irdelendiğinde; bu yönden Büyükşehir ve ilçe belediyelerinin teşvik politikası oluşturması, diğer karar mekanizmalarını teşvik vermeleri ve ikna edici bilimsel çalışmaların yapılması önemli bir gereklilik olduğu anlaşılmaktadır. Diğer önemli bir husus ise yeşil çatıların tekniğine uygun yapılması için gerekli altyapı formasyonu, teknik şartname ve mevzuatın tamamlanması ve işlerliğinin sağlanmasıdır. Teknik şartname ve mevzuatına uygun şekilde yaygınlık kazanacak yeşil çatı uygulamalarının bu anlamda, uzun vadede İstanbul kentine faydalı olacağı ve çağdaş, sürdürülebilir kent olma vizyonunu kazandıracığını belirtmek mümkündür.

6. KAYNAKLAR

1. Kaya, S., Curran, P.J., 2006. Monitoring Urban Growth on the European Side of the Istanbul Metropolitan area: A Case Study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8(1), 18-25.
2. Kaya, S., 2007. Multi Temporal Analysis of Rapid Urban Growth in Istanbul Using Remotely Sensed Data. *Environmental Engineering Science* 24(2), 228-233.
3. Geymen, A., Baz, I., 2008. Monitoring Urban Growth and Detecting Land-Cover Changes on

- the Istanbul Metropolitan Area. *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1-3), 449-459.
4. TMMOB Çevre Mühendisler Odası İstanbul Şubesi. İstanbul Avrupa Yakası Su Havzaları Teknik Tespit Raporu, 27 Ekim 2014.
 5. Karaca, M., Tayanç, M., Toros., M., 1995. Effects of Urbanization on Climate of Istanbul and Ankara. *Atmospheric Environment* 29(23), 3411-3421.
 6. Ezber, Y., Lutfi Sen, O., Kindap, T., Karaca, M., 2007. Climatic Effects of Urbanization in Istanbul: a Statistical and Modeling Analysis. *International Journal of Climatology*, 27(5), 667-679.
 7. Yalcin, T., Yetemen, O., 2009. Local Warming of Ground Waters Caused by the Urban Heat Island Effect in Istanbul, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 17(5), 1247-1255.
 8. Bass, B., Stull, R., Krayenjoff, S., Martilli, A., 2002. Modelling the Impact of Green Roof Infrastructure on the Urban Heat Island in Toronto. *The Green Roof Infrastructure Monitor*, 4, 2-3.
 9. Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Greenroofs as a tool for Solving the Rain Water Run off Problem in Theurbanized 21st Century? *Landscape and Urban Planning*, 77, 217-226.
 10. Elbir, T., Müezzinoğlu, A., Bayram, A., 2000. Evaluation of Some Air Pollution Indicators in Turkey. *Environment International*, 26(1), 5-10.
 11. Akkoyunlu, A., Erturk, F., 2002. Evaluation of air Pollution Trends in Istanbul. *International Journal of Environment and Pollution*, 18(4), 388-398.
 12. Onkal-Engin, G., Demir, I., Hiz, H., 2004. Assessment of Urban Air Quality in Istanbul Using Fuzzy Synthetic Evaluation. *Atmospheric Environment*, 38(23), 3809-3815.
 13. Turoğlu, H., 2011. Flash Floods and Floods in Istanbul, İstanbul'daki Sel ve Taşkınlar. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, cilt1 sayı3:39-46.
 14. Celik, H.E., Aydin, A., Esin, I., Coskun, H.G., Alganci, U., Usta, G., Cigizoglu, H.K., 2009. The Causes of the Floods on the Streams Flowing to Bosphorus and the Precautions Needed: Kozdere Case Study. In *Remote Sensing for a Changing Europe: Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories*, Istanbul, Turkey, 2-5 June 2008 (p. 326). IOS Press.
 15. Monterusso, M.A., 2004. Runoff Water Quantity and Quality From Green Roof Systems. *Acta Horticultirae*, 639, 369-376.
 16. Van Woert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., Xiao, L., 2005. Green Roof Stormwater Retention. *Journal of Environment Quality*, 34, 1036-1044.
 17. Simmons, M.T., Gardiner, B., Windhager, S., Tinsley, J., 2008. Green Roofs are not Created Equal: the Hydrologic and Thermal Performance of Six Different Extensive Green Roofs and Reflective and Non-Reflective Roofs in a Sub-Tropical Climate. *Urban Ecosyst.* 11 (4), 339-348.
 18. Versini, P.A., Ramier, D., Berthier, E., de Gouvello, B., 2015. Assessment of the Hydrological Impacts of Green Roof: from Roof Scale to Basin Scale. *Journal of Hydrology*, 524, 562-575.
 19. Scholz-Barth, K., 2001. Green Roofs: Stormwater Management from the top down. *Environmental Design & Construction*, 4, 63-69.
 20. Yılmaz, D., Sabre, M., Lassabatere, L., Dal, M., Rodriguez, F., 2016. Storm Water Retention and Actual Evapotranspiration Performances of Experimental Green Roofs in French Oceanic Climate. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(3), 344-362.
 21. Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L., 2010. Hydrologic Restoration in the Urban Environment using Green Roofs. *Water*, 2, 140-154.
 22. Ekşi, M., 2013. A Field Study to Evaluate the Runoff Quantity and Stormwater Retention of a Typical Extensive Green Roof in Bahçeköy, Istanbul. *Environment Protection Engineering*, 39(4), 79-89.
 23. Czermiel Berndtsson, J., 2010. Green Roof Performance Towards Management of Runoff Water Quantity and Quality: A Review. *Ecological Engineering*, 36, 351-360.

24. Santamouris, M., 2014. Cooling the Cities—a Review of Reflective and Green Roof Mitigation Technologies to Fight Heat Island and Improve Comfort in Urban Environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.
25. Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B., 2010. Green Roofs; Building Energy Savings and the Potential for Retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582-1591.
26. Dimoudi, A., Nikolopoulou, M., 2003. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. *Energy and Buildings*, 35, 69–76.
27. Türkeri, N., Altun, M.C, Göçer, C., 2011. İstanbul'da Mevcut Çatı Sistemi ile Bitkilendirilmiş Çatı Sistemi Isıl Performanslarının Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi, *Megaron* 6(1), 21-29.
28. Ekşi, M., Uzun, A., 2013. Investigation of Thermal Benefits of an Extensive Green Roof in Istanbul Climate. *Scientific Research and Essays* 8(3), 623-632.
29. Akbari, H., Konopacki, S., 2005. Calculating Energy-Saving Potentials of Heat-Island Reduction Strategies. *Energy Policy*, 33, 721-756.
30. Versini, P.A., Ramier, D., Berthier, E., De Gouvello, B., 2015. Assessment of the Hydrological Impacts of Green Roof: From Building Scale to Basin Scale. *Journal of Hydrology*, 524, 562-575.

Doğal Anhidritin Beton Bileşeni Olarak Kullanımı

Hakan GÜNEYLİ^{*1}, Nil YAPICI², Süleyman KARAHAN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana
²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, doğal anhidrit (CaSO_4)'in beton karışımına değişik oranlarda eklenmesi ile oluşturulan beton örneklerinin fizikomekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Hammadde olarak kullanılan doğal anhidrit Ulukışla (Niğde) bölgesinde yüzeyleyen Zeyvegediği anhidritinden; kırmataş agregası Karaisalı formasyonu (A. Miyosen) kireçtaşlarından derlenmiştir. Hazırlanan beton örnekleri tek eksenli basınç dayanımı ve ultrases hız deneylerine tabi tutulmuştur.

Deney sonuçları beton karımı içinde mikronize edilmiş doğal anhidrit miktarı %27-42 aralığında iken beton dayanımının birbirine çok yakın en büyük değerlerine ulaştığını göstermektedir. Diğer taraftan %27-42 anhidrit içerik bandının dışına çıktığında dayanım değerleri ani olarak belirgin şekilde azalmaktadır.

Beton örneklerinin ultrases hız değerleri ile doymun birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında ters orantılı güçlü bir korelasyon ortaya çıkmaktadır. Bu sıra dışı durum 2,92 değerinde özgül ağırlığa sahip doğal anhidritin, beton karışımında kırmataş olarak kullanılan 2,72 özgül ağırlığındaki kireçtaşından daha küçük ultrases (UPV) değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Sonuçlar mikronize edilmiş doğal anhidritin betonda çimento gibi davranarak bağlayıcılık özelliği gösterdiğini ve belirli oranlarda kullanılması durumunda beton dayanımından önemli artışlar sağladığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Doğal anhidrit, Beton, Dayanım ve ultrases hızı

Utilization of Natural Anhydrite as Concrete Component

Abstract

In this study, the physicochemical properties of concrete samples produced by adding of micronized natural anhydrite (CaSO_4) in various proportions to the concrete mix were evaluated.

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Hakan GÜNEYLİ, hguneyli@cu.edu.tr

The natural anhydrite used as raw materials and the crushed stone aggregate were derived from Zeyvegediği anhydrite formation outcropped in Ulukışla (Niğde) region and Karaisalı formation (L. Miocene)'s limestone in Karaisalı (Adana) region, respectively. The compressive strength and ultrasonic velocity (UPV) tests were conducted on the concrete specimens prepared.

The test results indicate that the concrete strength reaches maximum values quite close to each other at the micronized natural anhydrite content range of 27-42% in the concrete mix. On the other hand, the strength decreases dramatically outside of this range (27-42%) of anhydrite content in concrete mix.

Analysis of the relationship between ultrasonic velocity values and saturated densities of the concrete specimens exhibits a strong negative correlation. This extraordinary statement is due to smaller UPV value of natural anhydrite having specific gravity of 2.96 than that of limestone used as crushed aggregate having specific gravity of 2.72.

The results shows that natural anhydrite micronized provides binding behavior like cement in concrete, and pronounced strength increase in case of using in particular proportions.

Keywords: Natural anhydrite, Concrete, Strength and ultrasonic velocity

1. GİRİŞ

Temel olarak “doğal anhidrit” susuz kalsiyum sülfat (CaSO_4) olarak tarif edilebilir. Uzun jeolojik süreçlerde doğal anhidrit, meydana geldiği havza içerisinde hidratlaşarak yapısına iki molekül su alıp, sulu kalsiyum sülfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)’a, başka bir tabirle jips’e dönüşür. Anhidrit ve jips arasındaki bu dönüşüm, koşullara göre tersinir de olabilir [1]. Bu dönüşümler evaporitik sedimanter bölgelerde genelde hemen her ölçekte yanal ve düşey yönde geçişlidir.

Türkiye’de milyonlarca ton rezerve sahip zengin anhidrit ve jips yatakları bulunmaktadır [2,3]. Yapı malzemesi uygulamalarında daha çok jips (alçıtaşı) yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Yakın dönemde doğal anhidrit, yapı malzemesi alanında yaygın olarak kullanılmaya ve bu konuda odaklanan çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır [3,4]. Doğal anhidritin su ile temasıyla bağlayıcılık özelliği kazanması, yapı malzemesi bilimi ve uygulamaları için yeni kullanım olanakları sağlayabilir.

Bu çalışmada Ulukışla (Niğde) bölgesinde yer alan Zeyvegediği anhidrit sahasından elde edilen doğal anhidrit, başlıca çimento ve su ile değişik

oranlarda karıştırılıp beton örnekleri hazırlanarak bu beton örneklerinin performansları araştırılmıştır. Bundan sonraki bölümlerde “doğal anhidrit” terimi yerine daha yalın bir yazım dili kullanma amacıyla “anhidrit” terimi kullanılmıştır.

2. MALZEME

Çalışmada esas olarak Ulukışla (Niğde) bölgesinde yüzeyleyen anhidrit, Karaisalı formasyonu (A. Miyosen)’na ait kireçtaşından elde edilmiş kırmataş agregası ve standart Portland çimentosu kullanılmıştır.

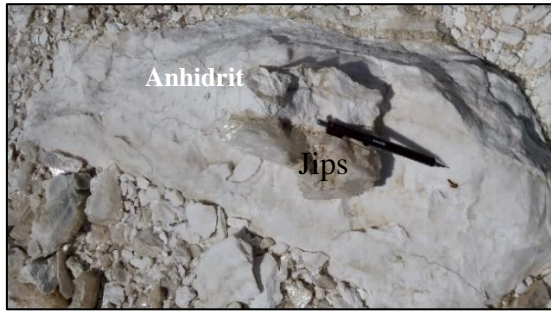
Çalışmanın temel konusunu oluşturan anhidrit Ulukışla (Niğde) bölgesinde mostra veren Oligosen Jipsli seri [5] ve daha sonra Zeyvegediği anhidriti [6] olarak adlandırılan Oligosen yaşlı evaporitik birimden derlenmiştir (Şekil 1-3). Anhidritin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan anhidrit, hafif gri renkli, camsı parlaklıkta, sertliği 3 üzeri, masif görünümlüdür. HCl asite tepki vermemekte ve organik madde içermemektedir. Yaklaşık saf oranda kimyasal bileşime sahip, çökel ortam koşullarında oluşmuş mineral özelliğindedir. Yapısal karakteri, ince kristalin dokusu ve sertliği kalsiyum sülfat ailesinden; anhidrit özelliğinde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Anhidritin kimyasal ve fiziksel özellikleri [7]

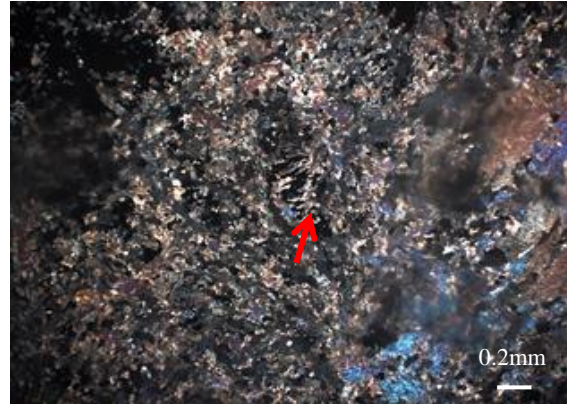
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ni	Sc	LOI
											PPM	PPM	%
0,05	<0,01	<0,04	0,19	41,97	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	<20	<1	0,8
SO ₄ (Sülfat İçeriği)											66,09		
Kristal Su (%)											0,13		
pH											6,42		
CaSO ₄ (%)											93,63		
Ağırlıkça Su Emme (%)											0,18 (Ortalama)		
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)											2,780 (Ortalama)		
Yoğunluk (g/cm ³)											2,850 (Ortalama)		
Özgül Ağırlık											2,96		
Basınç Dayanımı (MPa)											2,47		
UPV (km/sn)											4,22		



Şekil 1. Anhidritin saha görünümü (Ulukışla, bakış kuzeye)



Şekil 2. Anhidrit ve jipsin yakından görünümü



Şekil 3. Yüksek girişim renkleri ile iğnemsiz anhidrit kristalleri

Sahadan derlenen ana malzeme olan anhidritin binoküler polarizan mikroskopta saptanan özelliklerine göre ana parajenez, anhidrit kristallerinden meydana gelmektedir. Yüksek röliyefleri ve çift kırma nitelikleri ile diğer minerallerden belirgin şekilde ayrılmaktadır.

Anhidrit kristalleri, porfiroblast dokuludur ve birincil niteliktedir. Nadiren ikincil oluşumlu jips kristalleri kenetli dokusu ile yer almaktadır. Porfiroblast dokulu birincil anhidritler iri prizmatik-çubuksudur. Anhidrit kristallerinde kataklastik doku benzeri değişik yönlü burulma-burkulmalar gözlenmektedir. İnce kesitte anhidritten jipse dönüşümler de yer yer saptanmıştır. Yine karbonat bantları arasında birincil anhidrit ve ikincil jips oluşumları bantlı olarak gözlenmektedir. Boşluk dolgululu olanlarda

iğnemi kristallere de rastlanılmıştır. Kil mineralleri ve organik yapı içeriği bulunmamaktadır [7].

Bu araştırma kapsamında hazırlanan beton karışımlarında kullanılan diğer bileşenler kireçtaşıdan elde edilen kırmataş agregası ve standart ticari Portland (CEM I 42,5 R) çimentosudur. Söz konusu kırmataş agregasının amaca yönelik temel özellikleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

3. YÖNTEM

Öncelikle saha çalışmalarında Ulukışla bölgesinde mostra veren Zeyvegediği anhidriti olarak adlandırılmış olan çökel birimden anhidrit numuneleri alınmış; malzeme laboratuvar ortamında 24C^o'de kurutulmuştur. Daha sonra çeneli kırıcıda kırılıp öğütülen anhidritler 500 mikronluk elekten elenerek toz haline getirilmiştir. Toz haldeki anhidrit numuneleri 65C^o'lik etüvde tekrar kurutulduktan sonra kimyasal ve indeks özelliklerinin saptanması için gerekli analizlere tabi tutulmuştur. Anhidritin kimyasal analiz sonuçları ve temel özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Beton karışımlarında agrega olarak Çukurova bölgesinde yaygın olarak kullanılan Karaisalı formasyonu (Alt Miyosen)'na ait kireçtaşı kullanılmıştır. Beton üretimi için gerekli özelliklerin belirlenmesi amacıyla ilgili standartlar çerçevesince; bu kireçtaşıdan elde edilen kırmataş agregası üzerinde, özgül ağırlık, yoğunluk, su

emme (TS EN 1097-6) [8], yassılık indeksi (BS 812) [9], Los Angeles aşınma kaybı (TS EN 1097-2) [10], donma çözünme kaybı (TS 706) [11] ve metilen mavisi (TS EN 933-9) [12] deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler agreganın 0,0-4 mm (ince agrega), 4-11,2 mm (orta agrega) ve 11,2-22,4 mm (iri agrega) taneboyu aralıklarında; üç grup halinde tasnif edildikten sonra, her bir grup için ayrı ayrı yürütülmüştür ve ilgili parametreler saptanmıştır (Çizelge 2). Beton karışımlarında kullanılan agrega, iri ve orta agregadan %35 ve ince agregadan %30 oranında eklenerek elde edilmiştir.

Temel olarak bu çalışmada, mikronize hale getirilen anhidritin beton karışımına eklenmesiyle elde edilen beton numunelerinin performansı irdelenmiştir. Beton karışımları TS 802 [13] standardına göre hazırlanmış ve karışımlarda standart Portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Bu amaçla beton karışımına %3,82-65,5 aralığındaki oranlarda mikronize anhidrit eklenerek ve çimento miktarı %15,08 olacak şekilde kuru karışımlar hazırlanmıştır. Karışım oranları kuru ağırlıklara göre belirlenmiştir. Kuru olarak elde edilen toz karışımlar öncelikle homojen hale getirilmeye kadar dikkatli bir şekilde elle karıştırılmıştır. Daha sonra tüm karışımlara su/çimento (W/C) oranı 0,4 olacak şekilde saf su eklenerek ilkin elle; daha sonra 500 dev/dk'lık mikserle 15 dk karıştırılmıştır. Homojen hale gelmiş jel kıvamındaki malzeme 15x15x15 cm hacimli beton kalıplarına ilgili standarda uygun şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde 14 farklı içerikte beton karışımı hazırlanmıştır (Şekil 4).

Çizelge 2. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	Tane Boyu Aralığı			Sınır Değer	İlgili Standart
	11,2-22,4 mm	4-11,2 mm	0-4 mm		
Özgül Ağırlık	2,721	2,719	2,725	-	TS EN 1097-6
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	2,671	2,673	2,632	-	TS EN 1097-6
Doğun Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	2,678	2,685	2,668	-	TS EN 1097-6
Tane Şekli (Yassılık İndeksi) [FI ₁₅]	13,7	6,6		≤50	BS 812
Su Emme (%)	0,66	0,63	1,28	-	TS EN 1097-6
Aşınma Kaybı (Los Angeles) (%)	20,05	18,47		≤50	TS EN 1097-2
Donma-Çözünme Kaybı (MgSO ₄) (%)	5,92	4,85		≤12	TS 706
Metilen Mavisi Oranı (kg/g)	-	-	0,75	-	EN 933-9
Basınç Dayanımı (MPa)		43,74		-	TS 1900-2
UPV (km/sn)		5,47		-	TSE EN 12390-4



Şekil 4. Çeşitli anhidrit-agrega oranlarında hazırlanan beton örneklerinin bir bölümü

Her karışımdan üçer tane beton örneği hazırlanarak kür havuzunda 28 gün prizlenmeye bırakılmıştır. 28 günlük prizlenme süresini takiben doymun haldeki (DYK) birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından 24°C sabit sıcaklıktaki oda koşullarında her bir küp beton örneği üzerinde TS EN 12504-4 standardı [14] takip edilerek ultrases hız (UPV) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler bir alıcı ve vericisi bulunan 54 kHz frekansında PUNDIT aleti ile yürütülmüştür (Şekil 5). Ölçümler küp örneklerin her üç yüzeyinden alınmış ve bunların ortalaması değerlendirmeye alınmıştır. UPV ölçümleri yapılırken PUNDIT aletinin alıcı ve vericisi ile beton örneği arasında tam bir temas sağlanması ve boşluklardan su kaybı yaşanmaması amacıyla tüm yüzeylerde silikon gres kullanılmıştır.



Şekil 5. PUNDIT aleti ile beton örneği üzerinde yapılan UPV ölçüm aşaması

UPV ölçümleri yapılan küp beton örnekleri aynı koşullarda basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 6). Basınç dayanımları DYK şartlarında TSE EN 12390-4 standardına göre yapılmıştır [15]. Hazırlanan küp beton örnekleri üzerinde yapılan tüm dayanım ve UPV deneyleri üçer kez tekrarlanıp analizlerde ortalamaları kullanılmıştır.



Şekil 6. Beton presi aleti ile beton örneği üzerinde yapılan dayanım deneyi aşaması

Beton örneklerinin dışında, kırmataş agregasının elde edildiği kireçtaşından alınan karot ve anhidritten hazırlanan küp örnekler üzerinde de tek eksenli basınç dayanım ve ultrases hız (UPV) deneyleri gerçekleştirilerek, verilerin analizlerinde ve yorumlanmasında kullanılmak üzere ilgili malzemenin basınç dayanım ve UPV değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 3’de ana araştırma konusu hammadde olan anhidrit, kırmataş agregası ve standart Portland çimentosunun çeşitli oranlarda karıştırılması ile elde edilen küp beton örneklerinin karışım oranları ve örnekler üzerinde yapılan deneylerle saptanan 28 günlük basınç dayanımı, UPV ve doymun birim hacim ağırlık (DBHA) sonuçlarının ortalama değerleri görülmektedir.

Çizelge 3’de belirtildiği üzere C-1 ve C-14 arasında numaralandırılmış örneklerde anhidrit miktarı giderek artırılırken agrega miktarı azaltılmıştır. Anhidrit ve agreganın toplam ağırlığı sabit tutulmuş; bu sabit ağırlık içerisinde anhidrit ve agrega oranları değiştirilmiştir. C-1 örneğinde

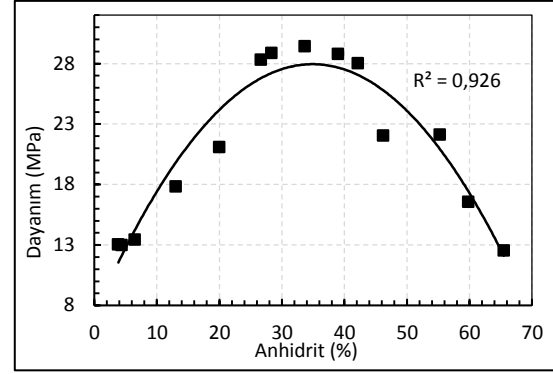
anhidrit %3,82 iken bu oran giderek artırılarak C-14 örneğinde %65,5'e kadar çıkarılmıştır.

Çizelge 3. Beton örneklerinin fizikomekanik özellikleri

Örnek No	Anhidrit (%)	Agrega (%)	DBHA (g/cm ³)	UPV (km/sn)	Dayanım (MPa)
C-1	3,82	81,10	2,160	3,93	13,02
C-2	4,36	80,56	2,337	2,67	12,98
C-3	6,50	78,42	2,333	2,71	13,41
C-4	13,05	71,87	2,327	2,97	17,82
C-5	20,02	64,90	2,329	2,97	21,06
C-6	26,66	58,26	2,403	2,66	28,30
C-7	28,32	56,60	2,382	2,87	28,85
C-8	33,67	51,25	2,369	2,79	29,41
C-9	39,00	45,92	2,429	2,76	28,77
C-10	42,19	42,73	2,378	2,77	28,01
C-11	46,20	38,72	2,375	2,76	22,03
C-12	55,26	29,66	2,349	2,90	22,11
C-13	59,83	25,09	2,332	3,15	16,53
C-14	65,50	19,42	2,402	2,62	12,52

Şekil 7 değişik Anhidrit-Agrega oranlarında hazırlanmış olan küp beton örneklerinin 28 günlük dayanım değerleri ile karışımdaki anhidrit oranlarını değerlendiren grafik karşılaştırmayı ifade etmektedir. Veriler bir polinom ilişkisi sunmaktadır. Ortaya çıkan polinomal ilişkinin 0,96 olarak ortaya çıkan korelasyon katsayısı (R) oldukça yüksek bir anlamlılığı işaret etmektedir. Eğrinin temsil ettiği noktalar incelendiğinde anhidrit miktarının %3,8'den %34'e oranına çıkmasıyla basınç dayanımının yaklaşık 13 MPa'dan, elde edilmiş en yüksek değer olan 29,4 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Anhidrit miktarının artmasıyla bu pik noktadan itibaren basınç dayanımı önce çok yavaş sonra aniden azalmakta; son olarak %65,5 anhidrit içeriğindeki beton örneğinde 12,5 MPa'a kadar gerilemektedir. Grafik daha ayrıntılı incelendiğinde, anhidrit içeriğinin yaklaşık %27-42 aralığındaki beton örneklerinde basınç dayanımının 28-29,4 MPa arasında değişen çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir. %27'den az oranda anhidrit içeren örneklerde dayanımda ani azalmalar olurken %42'den fazla oranlarda yine ani ya da belirgin azalmalar meydana gelmektedir. Buradan yola çıkarak %27-42 aralığındaki anhidrit içerikli beton örneklerinin en yüksek dayanım

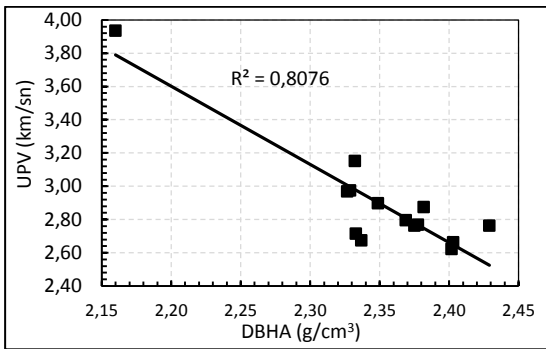
seviyesine ulaştıkları ve optimum doygun yoğunluğun 2,37-2,43 g/cm³ aralığında olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Hazırlanan beton örneklerinin 28 günlük dayanım-%Anhidrit ilişkisi

Bu durum anhidritin bağlayıcılık özelliği, agreganın bireysel dayanımı (43,74 MPa) ve anhidritin bireysel (2,47 MPa) dayanımı arasındaki ilişkiler ve etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere beton agregası bağlayıcı maddelerle beton içerisinde dayanımı artırma özelliğine sahiptir. Dayanımı fazla olan agregası, betona da bu anlamda dayanım kazandırmaktadır, çünkü agregası başta çimento türü bağlayıcılar etkisiyle beton içerisinde yüksek dayanımlı bir iskelet oluşturur. Bu çalışmada hazırlanan örneklerde, mikronize anhidrit çimento gibi bağlayıcı özellik göstermiş; belirli bir orana kadar çimento gibi davranarak agreganın daha iyi bağlanmasını sağlayıp betona dayanım kazandırmıştır. Ancak anhidrit oranı %42 gibi bir oranı geçmeye başladıktan sonra agreganın yerini alan anhidrit, betonun dayanımının azalmasına neden olmuştur. Çünkü anhidritin bireysel dayanımı kireçtaşından elde edilen kırma taş agregasından çok daha düşüktür. Çalışmada elde edilen beton örnekleri kapsamında %27-42 aralığında mikronize anhidrit içeren ve 2,37-2,43 g/cm³ DBHA bandındaki beton karışımları maksimum dayanım seviyesine ulaşmaktadır. Artan anhidrit miktarı bağlayıcı madde miktarını artırır da, çok daha yüksek dayanıma sahip agreganın azalmasıyla doğru orantılı olarak basınç dayanımını belirgin ölçüde azaltmaktadır.

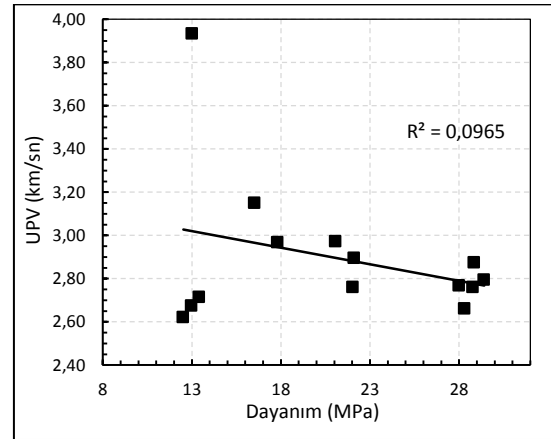
Şekil 8’de beton örneklerinin UPV değerleri ile doymun yoğunluk (DBHA)’ları arasındaki karşılaştırma grafik olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 3’te de görüldüğü üzere beton karışımı içerisinde anhidrit miktarı arttıkça betonun yoğunluğu artmaktadır. Özgül ağırlığı 2,96 olan anhidrit, özgül ağırlığı 2,72 olan kireçtaşı agregasının yerine geçtikçe doğal olarak betonun genel yoğunluğu artmaktadır. Grafik söz konusu beton örneklerinde doymun yoğunluk arttıkça UPV değerlerinin lineer olarak azaldığını işaret etmektedir. Bu iki parametre arasındaki negatif lineer ilişki yaklaşık 0,9 gibi yüksek bir korelasyon katsayısına sahiptir ve bu değişkenler arasında oldukça anlamlı bir bağımlılığı göstermektedir. Bu çalışmada ortaya çıkan durumun aksine, özellikle kaya ve beton malzemelerinde yoğunluk artışı ile UPV’nin doğru orantılı olarak arttığı, başka bir deyimle yüksek yoğunluğun yüksek UPV değerlerine karşılık geldiği bilinen genel bir olgudur [16]. Değişik oranlarda anhidrit-agrega karışımları ile oluşturulan beton örneklerinde ortaya çıkan bu farklı durumun nedeni özgül ağırlığı daha büyük olan (2,96) anhidritin UPV değeri (4,22 km/sn)’nin özgül ağırlığı daha küçük olan (2,72) kireçtaşının UPV değeri (5,47 km/sn)’nden küçük olmasıdır. Dolayısıyla beklenenin aksine bu çalışmada, kullanılan anhidrit miktarı artışına bağlı olarak, artan beton yoğunluğu ile birlikte UPV değerleri lineer olarak azalmaktadır.



Şekil 8. Beton örneklerinin ultrases hız-doymun birim hacim ağırlık (DBHA) grafiği

Hazırlanan beton örneklerinin dayanımları ile UPV değerleri karşılaştırıldığında ilk bakışta çok

anlamlı bir ilişki izlenmemektedir (Şekil 9). Bu durum Şekil 7 ve 8’de de değinilen yoğunluk-dayanım ve anhidrit oranı-yoğunluk etkileşimleri ile ilgilidir. Şekil 9’daki grafiğin sağ tarafında kümelenen en yüksek dayanımlı beton örnekleri %27-42 aralığında anhidrit içeren örneklerdir ve belirli bir aralıktaki yoğunluklara (2,37-2,43 g/cm³) karşılık gelmektedirler. Bu aralıktaki yoğunluklar ise Şekil 8’deki grafikte de ifade edildiği gibi birbirine yakın UPV değerlerine (2,66-2,87 km/sn) sahiptir. Şekil 9’daki grafiğin sol altında yer alan ve hem en düşük UPV hem de dayanım değerlerine sahip küme ise en yüksek anhidrit içeriğine sahip beton örneklerine karşılık gelmektedir. Orta bölümde yer alan noktalar ise uç noktalarındaki örneklerle görece yoğunluk ve UPV farklılıkları gösteren; Şekil 7’deki parabolün yan bölümlerine (kanatlarına) karşılık gelen beton örneklerini temsil etmektedir. Bu bağlamda Şekil 8’de ortaya çıkan grafik kendi içinde görece bir mantık taşımaktadır.



Şekil 9. Beton örneklerinin ultrases hız-dayanım grafiği

5. SONUÇLAR

Zeyvegediği anhidriti olarak adlandırılan doğal anhidritin çeşitli oranlarda kireçtaşı kırmataş agregası ile sabit su/çimento oranı (0,4) ve çimento miktarı (%15,08) ile oluşturulan küp beton örnekleri üzerinde yapılan deney sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıda özetlenmiştir. Doğal anhidrit artışı ile birlikte agrega oranındaki

azalma beton örneklerinin yoğunluğunda artışa neden olmaktadır. Bu artışın nedeni anhidritin özgül ağırlığının kırmataş agregası olarak kullanılan kireçtaşından fazla olmasıdır.

Doğal anhidritin beton karışımında %27-42 aralığında olduğu seviye dayanımın değerlerinin en yüksek ve birbirine en yakın olduğu (28-29,4 MPa) bölgedir. Doğal anhidritin mikronize hali beton karışımında %27'den az ve %42'den fazla olmaya başladığında dayanım ani olarak düşmektedir. Bu durum %27-42 bandına kadar anhidritin bağlayıcılık özelliğinin betona dayanım kazandırması, ancak %42 oranında sonra artan anhidritin bireysel dayanımının agreganınkinden çok küçük olması ile açıklanabilir.

Doğal anhidrit ile hazırlanan beton örneklerinde doymuş yoğunluk-ultrases hızı arasında negatif bir lineer ilişki ortaya çıkmıştır. Genel anlamda pozitif bir oransallığın olması beklenirken negatif lineer bir korelasyon ortaya çıkmasının nedeni, betonun yoğunluğunun artmasına neden olan yüksek özgül ağırlığa (2,96) sahip anhidritin bireysel UPV değerinin (4,22 km/sn), yerini aldığı görece düşük özgül ağırlıklı (2,72) kireçtaşının UPV değerinden (5,47 km/sn) daha küçük olmasıdır.

Beton örneklerinin 28 günlük dayanım ve UPV değerleri karşılaştırıldığında ilk bakışta çok anlamlı bir ilişki ortaya çıkmadığı sonucuna varılmaktadır. Ancak veriler grafik olarak derinlemesine incelendiğinde, en yüksek dayanımlı; 28-29,4 MPa bandındaki beton örneklerinin bu çalışma için optimum sayılabilecek 2,37-2,43 g/cm³ doymuş yoğunluk ve ara değer sayılabilecek 2,62-2,71 km/sn UPV aralığındaki beton örneklerine karşılık geldiği ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan en düşük dayanım gösteren örneklerin en küçük UPV bandında (2,62-2,67 km/sn) olduğu söylenebilir.

Ara dayanım değerlerine sahip beton örnekleri ise en yüksek UPV aralığında (2,76-3,93 km/sn) yer almaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Bates, R.L., 1969. *Geology of the Industrial Rocks and Minerals*, Dover Publications, 459 s, New York.
2. Çayırılı, H., 1991. Alçıtaşı ve Türkiye Alçıtaşı Yatakları, Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, 7-17, İstanbul.
3. İstanbulluoğlu, Y.S., 1997. Alçıtaşı ve Anhidrit Üzerine Bir Çalışma, *Madencilik*, 36, 2-3, 13-23.
4. Žvironaitė, J., Gerulis, P., Regina, K.J., 2007. Investigation of Composite Anhydrite Cement Pozzolana Binding Material with Different Aggregates. The 9th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: Selected Papers, 1, 218-222, May 16-18, 2007 Vilnius, Lithuania.
5. Blumenthal, M., 1956. Yüksek Bolkardağı Kuzey Kenarı Bölgelerinin ve Batı Uzantılarının Jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Enst. Seri D*, 7, 153, Ankara.
6. Oktay, F.Y., 1982. Ulukışla ve Çevresinin Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 25:1, 15-24.
7. Güneşli, H., Yapıcı, N., Karahan, S., 2016. Yapı Malzemesi Olarak Doğal Anhidritin Değerlendirilmesi, *Ç.Ü. Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 419-426, Adana.
8. TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
9. BS 812, Part 1, 1975. Testing Aggregates, Methods for Determination of Particle Size and Shape, British Standards Institution.
10. TS EN 1097-2, 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metodlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. TS 706, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. TS EN 933-9, 2001. İnce Tanelerin Tayini-Metilen Mavisini Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. TS 802, 2003. Beton Karışım Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- 14.** TS EN 1504-4, 2004. Beton Deneyleri, Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- 15.** TS EN 12390-4, 2000. Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 4: Basınç Dayanımı-Deney Makinelerinin Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- 16.** del Rio, L. M., Jimenez, A., Lopez, F., Rosa, F. J., Rufo, M. M., Paniagua, J. M., 2004. Characterization and Hardening of Concrete with Ultrasonic Testing. *Ultrasonics*, 42(1-9): 527-530.

EDİRNE - TRAKYA BÖLGESİ PALEOJEN-NEOJEN ÇÖKELLERİNİN (EDİRNE-KEŞAN, UZUNKÖPRÜ, MERİÇ, SÜLOĞLU SONDAJLARI) MİKROPALEONTOLOJİK İNCELENMESİ

Ümit ŞAFAK*¹, Manolya GÜLDÜREK¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışma, MTA tarafından 1972-1997 yılları arasında, Edirne yöresinde açılmış 6 adet sondajdan alınan örneklerin mikropaleontolojik değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır. Çalışmada killi, siltli kil birimlerini içeren Ergene Formasyonu ile kıltaşı, silttaşı, linyit bantlı kıltaşı, bitki izli marn-kil ardalması ve kumtaşı seviyelerinden oluşan Danişmen Formasyonu'nda ostrakod faunası ile iyi korunmuş mikro-mollüskler gözlenmiştir. Örneklerinin içerdiği mikrofaunaya dayanarak çalışmanın yürütüldüğü istifin yaşı Oligosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir. Edirne yöresi sondaj örneklerinde Danişmen Formasyonu içerisinde Erken-Geç Oligosen (Rupeliyen-Şattiyen)'i temsil eden *Cytheromorpha zinndorfi* (Lienenklaus), *Neocyprideis apostolescui* (Keij), *N. williamsoniana* (Bosquet), *Hemicyprideis montosa* (Jones ve Sherborn), *Cytheridea pernota* Oertli ve Keij, *Ilyocypris boehli* Triebel, *Candona (Pseudocandona) fertilis* Triebel gibi ostrakod cins ve türleri ile Oligosen seviyelerinde *Avimactra* sp., *Viviparus* sp., *Valvata* sp., *Planorbis* sp. gibi mikro mollüskler; Ergene Formasyonu içerisinde Geç Miyosen-Pliyosen'de *Heterocypris salina*, *Heterocypris* sp., *Ilyocypris* cf. *bradyi* Sars gibi ostrakod türleri bulunmuştur. Araştırma sonuçları, bu bölgede daha önce yapılmış diğer çalışmalar, Paris-Akiten Havzası ve Avrupa kuzeybatısında yapılmış ostrakod çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen fosil topluluğu; Edirne yöresi Paleojen-Neojen birimlerinin ağırlıklı olarak limnik ve lagüner koşullarda gelişmiş olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Paleojen-Neojen, Ostrakod, Paleoortam, Edirne, Trakya

Micropaleontological Investigation of Paleogene- Neogene Sediments (Edirne-Keşan, Uzunköprü, Meriç, Süloğlu Drillings) in Edirne Thrace Region

Abstract

The aim of this study is assessing micropaleontological properties of 6 drilling samples which taken from Edirne region.

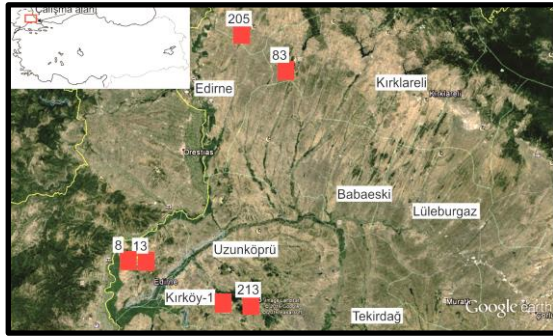
* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ümit ŞAFAK, usafak01@gmail.com

Research drilled by MTA between 1972-1997 years, was carried out on six drillings in the Edirne region. Studied region exhibits clay, silty clay (Ergene Formation) with claystone, siltstone, lignite band claystone, plant trace marl- clay intercalated and observed ostracod fauna with well preserved micro-mollusca obtained from level of sandstone (Danişmen Formation). The age of the sequence of the work carried out by (Oligocene -Pliocene), respectively with this samples which are including the microfauna. The drilling samples in Edirne region, Danişmen formation is representing early-late Oligocene (Rupelian-Chattian) include ostracoda species such as *Cytheromorpha zinndorfi* (Lienenklaus), *Neocyprideis apostolescui* (Keij), *N. williamsoniana* (Bosquet), *Hemicyprideis montosa* (Jones&Sherborn), *Cytheridea pernota* Oertli&Keij, *Ilyocypris boehli* Triebel, *Candona (Pseudocandona) fertilis* Triebel and the level of Oligocene include micro mullusca such as such as *Avimactra sp.*, *Viviparus sp.*, *Valvata sp.*, *Planorbis sp.* which are founded in the whole study area. In the examples of Ergene Formation in Late Miocene-Pliocene such as *Heterocypris salina*, *Heterocypris sp.*, *Ilyocypris cf. bradyi* Sars. In this study were compared ostracoda works with previous studies conducted in this region, Paris-Akiten basin and northwest of Europe. Micropaleontological examination give this result with drilling core samples; mainly the Edirne region Paleogene-Neogene units were found to be enhanced in limnic and lagoons conditions.

Keywords: Paleogene-Neogene, Ostracoda, Paleoenvironment, Edirne, Thrace

1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Edirne İli'nin Uzunköprü, Keşan, Süloğlu, Geçkinli İlçelerine bağlı Meriç, Küçükdoğanca, Kırköy ve Süleymaniye köyleri civarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Yer bulduru haritası ve sondaj noktaları (Google Earth 2016, [30]'dan yararlanılarak)

Bu çalışma ile bölgede daha önce yapılan mikropaleontolojik çalışmalara katkı konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı ve yakın civarında Akartuna-Şafak ve Güldürek [1-33], gibi araştırmacılar genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma ise, Edirne İli civarında MTA Genel Müdürlüğü tarafında açılan sondaj örneklerinin mikropaleontolojik (ostrakod ve

mikromollusk) değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, MTA Genel Müdürlüğü tarafından Edirne - Kırklareli yöresinde 1972-1997 yılları arasında kömür arama amacıyla, 1/25.000 ölçekli E17c₁, F16c₂, F17c₄, F17d₃, G17a₂ paftalarında bulunan bölgelerde açılmış 6 kuyudan alınan karotlardaki (Edirne-Keşan-Merkezköy 205, Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye 213, Edirne-Uzunköprü-Kırköy1, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajları) örnekler, Ankara'da tasnifli bulunan karot depolarından resmi izinle alınmıştır.

Karot örneklerinden 105 yıkama örneği derlenmiş, karot sandıkları içerisinde oluşan numune ve de fosilli seviyelerin kaybı dolayısı ile 80 örnek incelenebilmiştir. Bu örneklerle bilinen yıkama yöntemi (H₂O₂) uygulanmıştır. Stereomikroskop çalışmaları sonucunda ostrakod cins ve türleri ile mikro molluskler tayin edilmiştir.

Ostrakodlardan 8 cins, 1 alt cins, 11 tür, mikro gastropodlardan 3 cins, pelesipodlardan 1 cins tanımlanmıştır. Çalışma içerisinde tanımlanan ve iyi fotoğraflanabilen bazı ostrakod cins ve türlerinin Elektron Mikroskop görüntüleri (SEM) hazırlanmıştır (Levha I, Levha II). Tanımlanan cins ve türler sayılmış, ostrakodların yanal ve

düşey yayılımları hesaplanmış ve sayısal bollukları belirlenmiştir. Bu dağılım tablosunda ostrakodların frekansını açıklayan semboller kullanılmıştır. Çok nadir (1-2 kapak) +, nadir (3-5 kapak) ve yaygın (6-15 kapak) frekanslar □ ve ■, sık (16-25 kapak) ○ ve çok sık (>25 kapak) frekanslar ● gibi sembollerle gösterilmiştir. Bu verilerin hazırlanmasında Sissingh [34] çalışmasından geniş ölçüde yararlanılmıştır.

İnceleme alanının paleoortam yorumu için [35-37], lagüner ve limnik koşullara uyum sağlayan ostrakod ile mikro mollusk cinslerinin paleoortam özelliklerini değerlendirmede ise çeşitli çalışmalardan [38-41] yararlanılmıştır. Araştırmaya konu olan ostrakodların sınıflamasında Hartman and Puri [42] sistematigi kullanılmıştır.

3.1. Stratigrafi

Bu çalışmanın yapıldığı bölge ve civarında (Edirne-Süloğlu) temeli Istranca metagranitleri oluşturmaktadır. Üzerinde uyumsuz olarak Paleojen ve Neojen'in örtü çökeltileri yer almaktadır Boer-Siyako ve Huvaz-Turgut ve Eseller [43-48,22].

3.2. Litostratigrafi

Çalışma, Trakya güneydoğusunda yüzeyleyen Yenimuhacir Grubu'nun Danişmen Formasyonu ile Danişmen Formasyonu'na ait Pınarhisar Üyesi, Çanakkale Grubu'nun Ergene Formasyonu ve bu formasyona ait Çelebi Üyesi içerisinde yapılmıştır.

Danişmen Formasyonu: Tanımı ve adı: İlk kez Boer [43] ve Türkecan ve Yurtsever [49] tarafından formasyon olarak kullanılmıştır.

Tip yeri: Kuzey Trakya'da açılmış kuyulardır Birimin (Umurca, Yulaflı alanları).

Tip kesiti: Güney Trakya'daki açık kömür işletmeleri tip kesit; Edirne, Süloğlu, Pınarhisar, Vize bölgelerinin vadi kesimleri referans kesit yerleridir.

Litolojik özelliği: Şeyl, kiltası, kumtaşı, çakıltaşı ve kömür asıl litolojiyi açıklar. Kuzey Trakya'da

balık fosilleri, Güney Trakya'da ise silisifiye ağaç fosilleri yaygındır. Bu çalışmada formasyon linyit arabantlı silttaşı, siltli kumtaşı, bitki izli marn-kil aralanması ve kumtaşı litolojisi ile tanınmaktadır. Dokanak ilişkileri: Alt sınırında Osmancık Formasyonu ile geçişlidir. Üst sınırında Neojen'in gösel karakterli, açık renkli kireçtaşları ile uyumsuz olarak görülmektedir.

Kalınlık ve yayılım: Birimin havza kenarlarında incelen kalınlığı yaklaşık 1000 metre'dir. Keşan kuzeyinden İstanbul'a kadar uzanır. Uzunköprü-Meriç yöresinde [14,50], ayrıca Istranca eteklerine kadar [51] gözlenmektedir.

Fosil kapsamı ve yaş: Linyit damarlarında bulunan omurgalı faunasına göre Erken Oligosen ([52-53]; [11]), Oligosen ortaları [14,50,15] yaşı verilmiştir. Bu çalışmada birim içerisinde *Cytheromorpha zinndorfi*, *Cytheridea pernota*, *Hemicyprideis montosa*, *Neocyprideis williamsoniana*, *N. apostolescui*, *Cytheridea pernota*, *Ilyocypris boehli*, *Candona (Pseudocandona) fertilis* gibi ostrakod türleri bulunmuş olup, birime erken-geç Oligosen (Rupeliyen-Şattiyen) yaşı verilmiştir.

Deneştirme: Bu formasyon Boer [43], Bear [49], Umut ve ark. [14,50], Sümengen ve ark. [15], Umut, Ternek [54-60] tarafından güney Trakya'da tanımlanan Danişmen formasyonu ile [61-62,11] tarafından tanımlanan linyitli kumtaşlarının üst seviyelerine karşılık gelmektedir. Ayrıca Kuzey ve Doğu Trakya'da karton seri [1,63], balıklı seri [2], Karton Şeyl [44], Süloğlu formasyonu [43,14, 50,52,64,60] olarak adlandırılmış birimlerin karşılığıdır.

Pınarhisar Üyesi: Birimin tanımı ve adı: Kemper [65] tarafından üye olarak, Siyako ve Kasar [51] tarafından Danişmen Formasyonu altında üye olarak tanımlanmıştır.

Tip yeri: Taşlımüsellim, Domurcalı, Taşlısekban, Keramettin, Dolhan köyleri yapıtaşı ocakları [51].

Tip kesiti: Soğucak köyü dere batı yamacı [9,14,66-67].

Litolojik özelliği: Beyaz, gri renkli, kumtaşı ve çakıltaşı katkılı, oolitle, lamelli kavkılı yer yer killi kireçtaşlarından oluşur. Bu çalışmada da açık krem renkli, fosilli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı litolojisi ile belirgindir.

Dokanak ilişkileri: Altta Taşlısekban Üyesi ile üstte Danişmen Formasyonu'nun kilttaşları ile dereceli geçiş gösterir.

Kalınlık ve yayılım: Ortalama kalınlığı 5-20 m arasındır. Kırklareli'den Çatalca'ya dek yüzlek verir.

Fosil kapsamı ve yaş: [8,4-5] ostrakodlarla Erken Oligosen, [65] Sannoisiyen, [9,14,50] Oligosen, [66] Geç Eosen-?Erken Oligosen yaşları vermişlerdir.

Bu çalışmada birim içerisinde *Neocyprideis apostolescui*, *Neocyprideis williamsoniana*, *Hemicyprideis montosa*, *H. helvetica*, *Cytheromorpha zinndorfi*, *Cytheridea pernota*, *Schuleridea perforata cambasiensis* gibi ostrakodlar tanımlanmış olup, birim Erken-Geç Oligosen (Rupeliyen-Şattiyen) olarak yaşılandırılmıştır.

Deneştirme: [1,2] *Congeria*'lı kireçtaşı; [63] kiltası ve kumtaşlarını *Congeria*'lı kireçtaşından ayırmıştır. [54-55,64,60] formasyon olarak ayırmışlardır.

Ergene Formasyonu: Birimin tanımı ve adı: İlk tanımı Boer [43] tarafından yapılmıştır.

Tip yeri: Doğu ve Kuzey Trakya'da açılmış kum ocakları ve yol yarmalarıdır.

Tip kesiti: Formasyon gevşek tutturulmuş litolojisinden dolayı iyi yüzlek vermez. Kesintisiz görüleceği bir kesiti yoktur. Edirne, Süloğlu, Keşan, Geçkinli bölgelerinin vadi kesimleri referans kesit yerleridir.

Litolojik özelliği: Yaygın ve geniş bir alanda gözlenen bu formasyon çapraz tabakalı çakıltası, bol bitki ve omurgalı içeren kumtaşı, çamurtaşı ve kiltası litolojisindedir [14,60,47].

Dokanak ilişkileri: Ergene Formasyonu altında bulunan Çantaköy Formasyonu ile geçişli Duman ve arkadaşları [60], ayrıca daha yaşlı birimler ve üzerine gelen Kırçasalih Formasyonu ile uyumsuzdur.

Kalınlık ve yayılım: Çağlayan ve Yurtsever [64] tarafından bu formasyonun havza kenarlarında 40-60 m., havza ortalarında 350-400 m. olduğu belirtilmektedir. Lüleburgaz-Çorlu arasında açılmış petrol arama kuyularında Miyosen-Pliyosen istifinin kalınlığı 1350 m.ye kadar çıkmakta, bunun yaklaşık 800-1000 m'sinin bu formasyona ait olduğu gözlenmiştir. Birim Trakya'nın ortasında yaygın bir alanda yüzeylenmektedir. Bu çalışmada formasyonun kalınlığı yaklaşık olarak 50 m'dir.

Fosil kapsamı ve yaş: [14,64] ve [60] Orta-Geç Miyosen, [54] ve [56] Geç Miyosen olarak belirtmişlerdir [47].

Bu çalışmada Ergene Formasyonu içerisinde *Ilyocypris* cf. *bradyi* Sars, *Ilyocypris* sp., *Heterocypris salina* (Brady), *Heterocypris* sp. gibi ostrakodlar tanımlanmış olup, birime daha önceki çalışmalarda da [30] *Heterocypris salina* (Brady) türü ve yanındaki türlerin Pliyosende de gözlenmiş olmasından dolayı Geç Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir.

Deneştirme: Birim Ünal [68], Kasar ve arkadaşları [13] ve Turgut ve arkadaşları [69], Şentürk ve arkadaşları [58-59] tarafından, bu çalışmadaki Ergene Formasyonu'nu Kırçasalih Formasyonu ile birlikte, Ergene Grubu adı altında incelemişlerdir. [15,70,57-58], [59] ise; Trakya'nın tamamını kaplayan Neojen çökellerini, Ergene Grubu adı altında toplamıştır. Formasyon, [14] tarafından Velimeşe formasyonu olarak tanımlanmıştır. [60], tarafından Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasında Ergene Formasyonu olarak haritalanan birimin, buradaki Ergene Formasyonu olmayıp, Çukurçeşme Formasyonu olduğu belirtilmiştir.

Çelebi Üyesi: Birimin tanımı ve adı: Birim ilk kez Boer [43] tarafından Çelebi formasyonu olarak adlandırılmış, MTA [47]'da ilk kez Ergene Formasyonu'nun bir üyesi olarak kabul edilmiştir.

Tip yeri: Uzunköprü güneyindeki Dereikebir köyü çevresidir [50].

Litolojik özelliği: Uzunköprü güneyinde beyaz, gri, yeşilimsi renkli görsel kireçtaşlarından oluşur. Yatay, ince-orta tabakalı kireçtaşları seyrek kil ve kumtaşı düzeyleri kapsamaktadır [47,50,54,56].

Dokanak ilişkileri: Umut ve ark., [50] tarafından Çelebi Üyesi'nin Dereikebir'de Danişmen Formasyonu'nun üçüncü üyesi olan Armutburnu Üyesi üzerinde açılı uyumsuz olduğu, İmik [56], tarafından ise, Ergene Formasyonu tabanında Armutburnu Üyesi'nin klastikleriyle yanıl- düşey yönde geçişli olduğu belirtilmiştir.

Kalınlık ve yayılım: İmik [56] tarafından 40 m olarak belirtilmiştir. Umut ve ark. [14], İmik [56], Umut [54] tarafından Uzunköprü güneyi ile Çorlu kuzeyinde Ergene Formasyonu'nun altında öbek halinde haritalanmış yüzlekleri olduğu açıklanmıştır. Bu çalışmada, yaklaşık kalınlığı 5-6 m'dir.

Fosil kapsamı ve yaş: Bu çalışmada, *Ilyocypris cf. bradyi*, *Ilyocypris sp.*, *Heterocypris salina*, *Heterocypris sp.* gibi ostrakodlar tanımlanmış olup, birime Geç Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir.

Deneştirme: Çelebi Üyesi, Umut ve arkadaşları [14], tarafından tanımlanan, [54]'da 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasında Kurtdere Üyesi olarak gösterilen birime karşılık gelmektedir [47].

4. SONDAJ LOGLARININ TANITIMI ve FOSİL İÇERİĞİ

Edirne yöresinden alınan 6 sondajda kil ve kil-silt karışımı birimler (Ergene Formasyonu), istifin alt kesimlerine doğru yerini kıltaşı, silttaşı, yer yer linyit bantları, bitki izli marn-kil ar dalanması ve kumtaşına (Danişmen Formasyonu) bırakmaktadır. Bu altı sondaj deneştirilmiş ve karot örneklerinin içerdiği ostrakod cins ve türlerine göre Neojen ve Paleojen yaşlı birimler ayırt edilmiştir.

Her bir sondajın litolojik özelliği ve fosil içeriği ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

Edirne- Keşan-Merkezköy 205 nolu Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli G17a₂ paftasında X: 474386, Y: 4629059, Z: 83.93 koordinatlarında yer almaktadır. 1 m'lik toprak örtü altında, üstten aşağıya doğru 20 m'lik kesimi Ergene Formasyonu ile bu formasyonun Çelebi Üyesi, 20-169,00 m'lik kesimi Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar Üyesi içerisinde kesilmiş olup, derinliği 169 metre olan sondajdan 17 yıkama örneği

derlenmiştir. Sondajda 1 m'de alüvyon, 3,50 m'de siltli kil, 21,00 m'de silttaşı, 37,1 m'de kumtaşı, 37,50 m'de silttaşı kesilmiştir. 47,00 m'deki silttaşı seviyesini 69,50 m'de fosilli kıltaşı, 81,20 m'de kil, 98,70 m'de marn seviyesi izler. Linyit 100,80 m'de, kıltaşı 102,20 m'de, silt 105,00 m'de, kumtaşı 108,50 m'de kesilirken; 119,00 m'de silttaşı, 132,30 m'de marn, 146,00 m'de marn, 149,80 m'de kumtaşı, 150,50 m'de marn, 156,10 m'de kıltaşı, 161,70 m'de marn geçilmiştir. Bu sondajda Ergene Formasyonu'na ait 1 nolu örnekte *Ilyocypris sp.*, *Heterocypris sp.* nadir; 121.10 metreden alınan, Danişmen Formasyonu'na ait 13 nolu örnekte *Hemicyprideis montosa* çok sık, *Hemicyprideis helvetica* yaygın, *Cytheridea pernota* ve *Schuleridea perforata cambasiensis* nadir olarak gözlenmiştir. Aynı örnekte *Avimacra sp.* gibi mikro pelesipod, *Viviparus sp.*, *Valvata sp.*, *Planorbis sp.* gibi mikro gastropodlar tanımlanmıştır (Şekil 2).

Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye 213 nolu Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli F17c₄ paftasında X: 482827, Y: 4550128, Z: 214.30 koordinatlarında yer almaktadır.

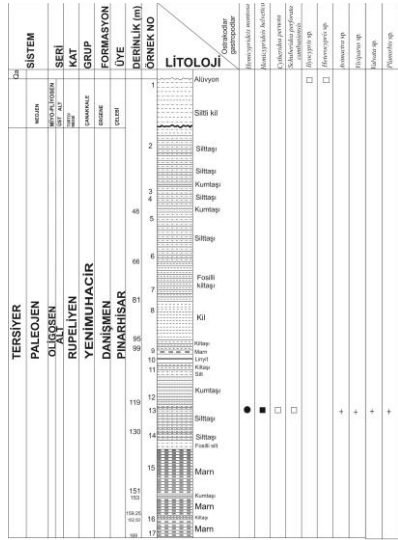
2,8 m'lik toprak örtü altında, üstten aşağıya doğru 11 m'ye dek kalınlık Ergene Formasyonu ile bu formasyonun Çelebi Üyesi, 11-156,00 metreler arası Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar Üyesi içerisinde kesilen sondajın derinliği 156 metre olup, sondajdan 17 yıkama örneği derlenmiştir. Sondajda 2,8 m'de sarı renkli kil, 11 m'de silttaşı-marn, 21 m'de silt-kumtaşı, 21,90 m'de linyit, 30 m'de silt ve silttaşı-marn ar dalanması, 47 m'de kumtaşı-marn-killi linyit ar dalanması, 110 m'de konglomera, 114 m'de kumtaşı ar dalanmalı marn, 140 m'de linyit bantlı marn, 148. metrede kumtaşı-marn ar dalanması geçilmiştir.

Bu sondajda Danişmen Formasyonu'na ait 14 ve 15 nolu örneklerde *Neocyprideis apostolescui* nadir ve yaygın, 5 ve 11 nolu örneklerde *Hemicyprideis montosa* yaygın ve sık, 8 ve 11 nolu örneklerde *Cytheridea pernota* nadir, 7 nolu örnekte *Candona (Pseudocandona) fertilis* yaygın, 1 ve 11 nolu örnekte *Candona sp.* nadir olarak gözlenmiştir.

Edirne-Trakya Bölgesi Paleojen-Neojen Çökellerinin (Edirne-Keşan, Uzunköprü, Meriç, Süloğlu Sondajları) Mikropaleontolojik İncelenmesi

Ayrıca sondajın 14 ve 17 nolu örneklerinde *Planorbis* sp., 1, 14 ve 17 nolu örneklerinde *Viviparus* sp. gibi mikro gastropodlar bulunmuştur (Şekil 3).

Edirne-Uzunköprü-Kırköy-1 Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli F17d₃ paftasında X: 475130, Y: 4550409, Z: 100.36 koordinatlarında yer almaktadır.

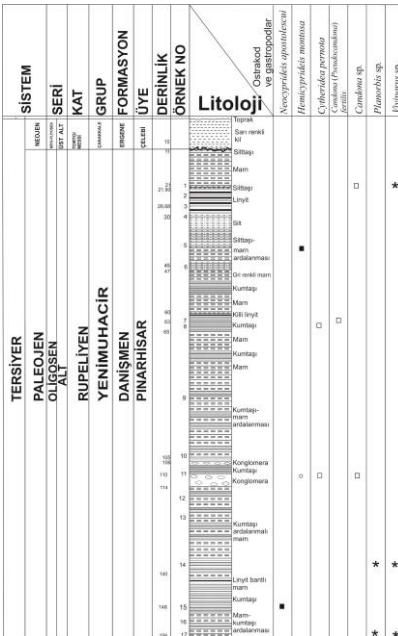


Şekil 2. Edirne-Keşan-Merkezköy 205 nolu sondajında ostrakodların dağılımı

4,0 m'lik toprak örtü altında, üstten aşağıya doğru 172 metresi Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar Üyesi içerisinde kesilen sondajın derinliği 176 metre olup, sondajdan 6 yıkama örneği derlenmiştir. Sondajda 40 m ye dek olan derinlikte marn-kum ve silttaş aralanımı, 40. metre'de silttaş, 44 m'de fosilli marn, 47,40 m de silttaş, 74,40 m'de kum, 77 m'de kumtaş-silttaş aralanması, 144 m'de killi silttaş, 159,80 m'de linyit ve marn kesilmiştir.

Bu sondajda Danişmen Formasyonu'na ait 1 ve 3 nolu örneklerde *Candona (Pseudocandona) fertilis* yaygın ve çok sık, 3 nolu örnekte *Candona (Pseudocandona)* sp. çok sık olarak gözlenmiştir. Ayrıca 1 ve 3 nolu örneklerde *Planorbis* sp. *Viviparus* sp. gibi mikro gastropodlar tanımlanmıştır (Şekil 4).

Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13 nolu Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli F16c₂ paftasında X:450437, Y: 4560478, Z: 27.30 koordinatlarında yer almaktadır. Sondajın 9 m'lik toprak örtü altında, üstten aşağıya doğru 9-16,46 m'lik kesimi Ergene Formasyonu ile bu formasyonun Çelebi Üyesi, 16,46-169 m'lik kesimi Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar Üyesi içerisinde kesilmiş olup, derinliği 169 m olan sondajdan 15 yıkama örneği derlenmiştir. İstifte 9 m'de kil, 16,46 m'de silt, 20 m'de kumtaş bantlı marn, 38,90 m'de tuf, kil, killi linyit, 41,50 m'de kum ve marn, 52,50 m'de killi linyit, marn, tuf, kil aralanımı, 78 m'de marn, 94 m'de silt, 100 m'de silt, marn, linyit, killi linyit aralanımı, 118 m'de marn, 127 m'de kil, marn, linyit aralanımı kesilmiştir. 135,20 m'de kumtaş, 143 m'de silt, marn ve killi linyit geçişleri geçilmiştir.



Şekil 3. Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye 213 nolu sondajında ostrakod ve gastropodların dağılımı

Bu sondajda Ergene Formasyonu'na ait 1 nolu örnekte *Ilyocypris* sp. nadir, *Heterocypris salina* yaygın; Danişmen Formasyonu'na ait 11 nolu örnekte *Cytheridea pernota* nadir, 3, 5, 7, 8, 13 nolu örneklerde *Heterocyprideis montosa* çok sık, *Neocyprideis williamsoniana* yaygın olarak gözlenmiştir (Şekil 5).

Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8 nolu Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli F16c₂ paftasında X: 448380, Y: 4561584, Z: 33.90 koordinatlarında yer almaktadır.

Sondajın 2 m'lik toprak örtü altında yukarıdan aşağıya doğru başlayan 152 m'lik bölümü Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar üyesi'ne ait olup, derinliği 154 m olan bu sondajdan 13 yıkama örneği alınmıştır. 2 m'de silt, 6 m'de marn, 11,6 m'de kil, 15 m'de silttaşı, 24,19 m'de linyit, 35,50 m'de kumtaşı arabantlı silt-marn aralanımı sondaj bitimine dek devam etmektedir.

Bu sondajdan alınan 8 ve 12 nolu örneklerde *Neocyprideis williamsoniana* nadir, 6, 7, 8, 12 ve 13 nolu örneklerde *Hemicyprideis montosa* çok sık, 7, 8 ve 10 nolu örneklerde *Candona (Pseudocandona) fertilis* çok nadir ve yaygın olarak gözlenmiştir. Ayrıca 1 ve 10 nolu örneklerde *Planorbis* sp., 1, 4, 5 ve 13 nolu örneklerde *Viviparus* sp. gibi mikro gastropodlar tanımlanmıştır (Şekil 6).

Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu Sondajı: Bu sondaj 1/25000 ölçekli E17c₁ paftasında X: 487578, Y: 4618712, Z: 166.04 koordinatlarında yer almaktadır.

3,5 m'lik toprak örtü altında, üstten aşağıya doğru 26 m'ye dek kalınlık Ergene Formasyonu ile bu formasyonun Çelebi Üyesi, 26-157,00 m'ler arası Danişmen Formasyonu ile bu formasyonun Pınarhisar Üyesi içerisinde kesilen sondajın derinliği 157 metre olup, sondajdan 11 yıkama örneği derlenmiştir.

Sondajda 3,5 m'de fosilli marn, 16 m'de kil, 27 m'de çakıl geçilmiştir. 38 m'de kumtaşı, 58,80 m'de siltli kiltası, 75,20 m'de az killi linyit, 81,80 m'de gastropod kavkılı marn, 113 m'de linyit, 125 m'de silttaşı, 129 m'de bitki izli marn-kil aralanması, 143 m'de marn, 152 m'de kil kesilmiştir.

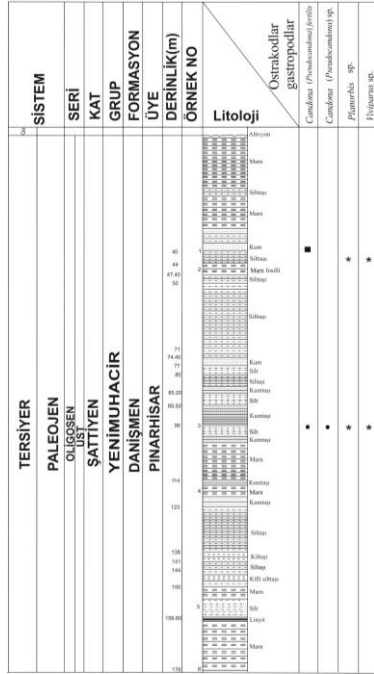
Bu sondajda Ergene Formasyonu'na ait 1 nolu örnekte *Ilyocypris* cf. *bradyi* ve *Heterocypris salina* nadir; Danişmen Formasyonu'na ait 2 ve 7 nolu örneklerde *Hemicyprideis montosa* çok sık, *Cytheridea pernota* nadir, 2 nolu örnekte *Cytheromorpha zinndorfi* nadir, 7 nolu örnekte *Ilyocypris boehli* yaygın olarak gözlenmiştir. Sondajda ayrıca 8 ve 9 nolu örneklerde *Valvata* sp., *Planorbis* sp. gibi mikro gastropodlar tanımlanmıştır (Şekil 7).

Paleoortamsal Yorum: Bu çalışmada Edirne sondajları için Paleojen sisteminde Danişmen, Neojen sisteminde Ergene; Bu formasyonların genellikle lagün-göl ortamında çökeldiği gözlenmiştir. Araştırmada tanımlanan ostrakod ve yanısıra mikro mollusk cinslerinin paleoortamsal yorumunda çeşitli literatürlerden yararlanılmıştır [35,37,71,38,41,39,36,40].

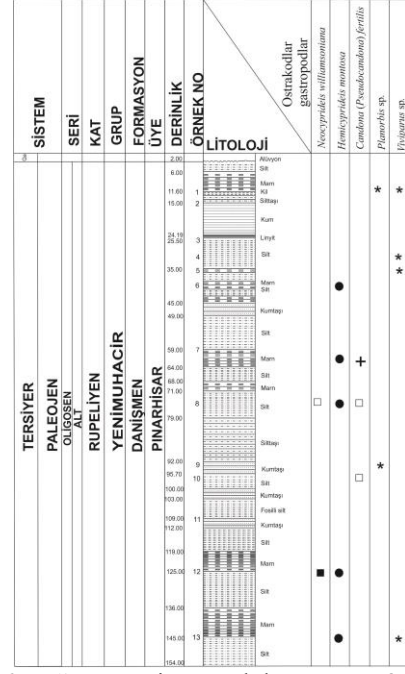
Edirne-Keşan-Merkezköy 205 nolu sondaj logunda; istifin siltli kil ile başlayan bölümünde *Ilyocypris*, *Heterocypris* gibi limnik koşulları gösteren ostrakod cinsleri yer almaktadır. Alta doğru devam eden istifin fosilli kiltası, silttaşı, kumtaşı ve linyit ile seviyelerinde *Planorbis*, *Valvata*, *Viviparus* gibi limnik; *Avimactra* gibi lagün, *Hemicyprideis* gibi lagün-litoral; *Cytheridea* gibi lagün-epineritik, *Schuleridea* gibi epineritik özellikli mikromollusk ve ostrakod faunası yer almaktadır. Bu durum lagün ve litoral koşulların bulunduğu yerde ortama tatlısu girdisinin de olduğunu, bu konumun kömür oluşumunu da başlattığını yansıtmaktadır.

Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye 213 nolu sondaj logunda; istifin sarı renkli kil ile başlayan bölümünden sonra, aşağıya doğru kumtaşı-marn-killi linyit aralanması ve linyit bantlı marn litolojisinde *Candona* gibi göl, *Candona (Pseudocandona)* gibi göl-lagün, *Neocyprideis* gibi lagün, *Hemicyprideis* gibi lagün-litoral, *Cytheridea* gibi lagün-epineritik ortam özelliği sunan ostrakod cinsleri gözlenmiştir. Lagüner ve sığ denizel koşullarla birlikte ortamda tatlısu koşullarının da görülmesi, kömür oluşumu esnasında ortamın sıkışmış olduğunu belirtmektedir.

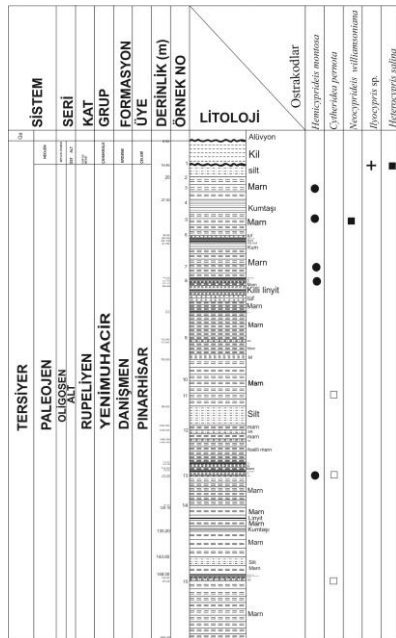
Edirne-Trakya Bölgesi Paleojen-Neojen Çökellerinin (Edirne-Keşan, Uzunköprü, Meriç, Süloğlu Sondajları) Mikropaleontolojik İncelenmesi



Şekil 4. Edirne-Uzunköprü-Kırköy 1 nolu sondajında ostrakod ve gastropodların dağılımı



Şekil 6. Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8 nolu sondajında ostrakodların dağılımı



Şekil 5. Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13 nolu sondajında ostrakodların dağılımı

Edirne-Uzunköprü-Kırköy-1 sondaj logunda; marn, kum ve silttaşı ardalanmasının, linyit ve killi silttaşının gözlemlendiği istifte *Candona* (*Pseudocandona*) gibi göl-lagün, *Planorbis*, *Viviparus* gibi göl ortamı özellikli mikro gastropodların yer alması, ortamın tatlısu koşullarında gelişmiş olduğunu açıklamaktadır.

Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13 nolu sondaj logunda; Ergene kili ile altındaki kumtaşı bantlı marn, tüf, kil, killi linyit ile killi linyit, marn, tüf, kil ardalanımı gösteren litoloji içerisinde *Heterocypris* gibi göl, *Ilyocypris* gibi göl-lagün, *Neocyprideis* gibi lagün, *Heterocypris* gibi lagün-litoral ortam özellikli ostrakod cinsleri tanımlanmıştır. Bu durum, sondajdaki linyit ile linyitin alt ve üst seviyelerindeki litolojinin, çok sığ lagüner ortam koşullarında çökelmiş olduğunu yansıtmaktadır. Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8 nolu sondaj logunda; yukarıdan aşağıya doğru silt, marn silttaşı, linyit ile kumtaşı arabantlı silt-marn ardalanımının gözlemlendiği istifte *Planorbis*, *Viviparus* gibi göl, *Candona* (*Pseudocandona*) gibi göl-lagün, *Neocyprideis* gibi lagün, *Heterocypris*

gibi lagün-litoral ortam özellikli mikro gastropod cinsleri ile ostrakod cinsleri bulunmuştur. İstif lagüner koşulları ve linyit oluşumunun da lagüner koşullarda geliştiğini açıklamaktadır.

Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondaj logunda; fosilli marn ile kil bantları altındaki kumtaşı, siltli kıltaşı, linyit, silttaşı ve bitki izli marn-kil ardalanmasının gözlemlendiği istifte *Valvata*, *Planorbis*, *Heterocypris* gibi göl, *Ilyocypris* gibi göl-lagün, *Cytheromorpha*, *Hemicyprideis* gibi lagün-litoral, *Cytheridea* gibi lagün-epineritik ortam özellikli mikro gastropod ve ostrakod cinslerinin yer alması tatlısu ve lagüner koşulların etkin olduğunu göstermektedir. Özetle, bu çalışmanın sondajlarındaki Neojen birimi olan Ergene Formasyonu'nun kil seviyelerinde *Heterocypris* gibi göl, *Ilyocypris* gibi göl-lagün ortamını yansıtan ostrakod cinsleri; Paleojen birimi olan Danişmen Formasyonu'nun linyit bantlı killi, siltli, kumlu seviyelerinde *Candona* ve *Planorbis*, *Viviparus*, *Valvata* gibi göl ortamını yansıtan ostrakod ve mikro gastropod cinsleri, *Candona* (*Pseudocandona*), *Ilyocypris* gibi göl-lagün, *Cytheromorpha*, *Neocyprideis* ve *Avimacra* gibi lagün ortamını yansıtan ostrakod ve mikro pelesipod cinsleri, *Hemicyprideis* gibi lagün-litoral, *Cytheridea* gibi litoral-epineritik, *Schuleridea* gibi epineritik ortamı temsil ostrakod cinsleri bulunmuştur.

Ostrakod Topluluğu ve Stratigrafik Dağılımı: *Cytheromorpha zinndorfi* Almanya'da Rupeliyen-Akitaniyen ([71,73]), Belçika'da Geç Eosen'de ([71]), Fransa ve Türkiye'de Erken Oligosen'de ([74,75] ve [5,8,76,27,28,77,30,78,31]), İsviçre'de Oligosen'de [79], *Neocyprideis apostolescui* İngiltere, Fransa ve Türkiye'de yapılmış çalışmalarda Orta Eosen'de (27-29,31,77-78,80-84).

Neocyprideis williamsoniana İngiltere ve Fransa'da Erken Oligosen'de [27-29,30,77,78, 80,81,85,86],

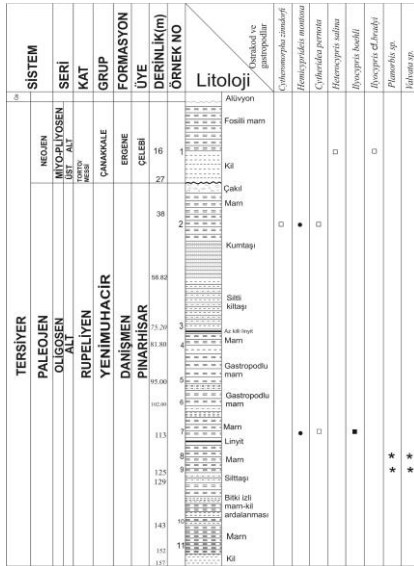
Cytheridea pernota İngiltere, Fransa, Macaristan-Romanya ve Türkiye'de Geç Eosen ve Erken Oligosen'de ([81,85-87] ve [27-28,30,31,77,78]), *Schuleridea perforata cambasiensis* Fransa-Akiten Havzası'nda Stampiyen [81], Türkiye/Trakya'da Rupeliyen'de [33].

Hemicyprideis montosa, İngiltere, Fransa ve Türkiye'de Erken Oligosen'de ([27-28,30,31,33,77-79,85,88-89]).

Hemicyprideis helvetica İngiltere ve Paris'te Erken Oligosen'de ([85,81]), Türkiye'de (Mut Havzası, Karsantı Baseni, Tekirdağ ve Denizli) Oligosen'de ([27-28,78,88-90]), Romanya'da Geç Oligosen'de ([87]), *Candona* (*Pseudocandona*) *fertilis* Avrupa'da Oligosen'de ([91]), Almanya'da Erken-Geç Oligosen'de ([92]), İsviçre ve Fransa'da ([85,93]) ve Türkiye'de Geç-Erken Oligosen'de ([28-31-33,77,78,88,94]) bulunmuştur.

Ilyocypris boehli, İngiltere'de Erken Oligosen'de ([85]), Türkiye'de Erken ve Geç Oligosen'de ([5,30,31,78,88-89,90,94]) bulunmuştur.

Heterocypris salina Kuzey ve Baltık Denizi'nde Geç Miyosen-Güncel'de ([95]), Sırbistan'da Orta Miyosen'de ([96]), Slovakya'da Geç Miyosen'de ([97]), Batı Anadolu'da Geç Miyosen-Pliyosen'de ([98]), GB Anadolu'da Geç Miyosen'de ([38]), KB Anadolu'da Pannoniyen-Pleyistosen'de ([99]), Türkiye/Malatya'da Geç Miyosen'de ([100]), Bakırköy Havzası'nda Tortoniyen'de ([76]), İstanbul Batısı Pliyosen ([101,102]), Denizli'de Geç Miyosen'de ([28]), Trakya GD'sunda Miyosen Pliyosen ([30]), *Ilyocypris cf. bradyi* Avrupa,



Şekil 7. Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajında ostrakod ve gastropodların dağılımı

Kuzey Afrika, Orta Doğu, Merkezi Asya ve Güney Amerika'da Miyosen-Güncel dönem içerisinde ([95]), Türkiye'de İstanbul batısında Pliyosen ([102]), Bakırköy Havzası'nda Tortoniyen ([76]), Sarız ve Tufanbeyli/Türkiye-Pliyosen ([103], [104]), İstanbul Batısı Pliyosen ([101]), Yumurtalık Koyu'nda Güncel ([105]), Trakya GD'sunda Miyo-Pliyosen ([30]).

Bu çalışma ile, bulunan fauna içeriği gözönüne alınarak Edirne İli civarında açılan sondajlarda gözlenen Paleojen-Neojen istifinin erken-geç Oligosen (Rupeliyen-Şattiyen) ve geç Miyosen-Pliyosen yaş aralığında çökeldiği saptanmıştır.

5. SONUÇLAR

Edirne İli civarında MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan sondaj örneklerinin mikropaleontolojik (ostrakod ve mikromollusk) değerlendirilmesi amacı ile yapılmış olan bu çalışma da aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sarımsı bej renkli kil ile killi linyit, silttaşı, kumtaşı arabantlı silt-marn ardalanı, siltli kiltası, killi linyit, marn, tuf, kil ardalanı, kumtaşı, siltli marn seviyelerinin yoğun olduğu istifte Ergene Formasyonu'na ait örneklerden 2 ostrakod cinsi ve 2 türü, Danişmen, Formasyonu'na ait örneklerden 7 ostrakod cinsi, 1 alt cinsi ve 9 türü ile mikro gastropodlardan 3 cins, pelesipodlardan 1 cins tanımlanmıştır.

Tanımlanan ostrakod türleri, Orta doğu, Kuzey Avrupa, Slovakya, Paris-Akiten Havzası'nda, İngiltere, Almanya, Macaristan, Romanya ve Türkiye'de yapılan çalışmalarla ([27-30,32,33,81,85-87,89,92,93,95-97,100-104]) denştirilerek birimlere Erken- Geç Oligosen (Rupeliyen-Şattiyen), Geç Miyosen-Pliyosen yaşları verilmiştir. Bu çalışmanın Edirne yöresi sondajlarındaki Paleojen birimi olan Danişmen Formasyonu'nun linyit bantlı killi, siltli, kumlu seviyelerinde tanımlanan *Candona* gibi ostrakod, *Planorbis*, *Viviparus*, *Valvata* gibi gastropod cinsleri göl ortamını; *Candona* (*Pseudocandona*), *Ilyocypris* gibi ostrakod cinsleri göl-lagün, *Cytheromorpha*, *Neocyprideis* gibi ostrakod, *Avimactra* gibi pelesipod cinsleri lagün ortamını; *Hemicyprideis* gibi ostrakod cinsi lagün-litoral, *Cytheridea* gibi ostrakod cinsleri litoral-epineritik, *Schuleridea* gibi ostrakod cinsleri epineritik ortamı temsil ederler. Neojen birimi olan Ergene Formasyonu'nun kil seviyelerinde tanımlanan

Heterocypris gibi ostrakod cinsleri göl, *Ilyocypris* gibi ostrakod cinsleri göl-lagün ortamını temsil ederler. Edirne yöresinden alınan bu sondaj karotlarında yapılan mikropaleontolojik inceleme sonucunda; Edirne yöresi Paleojen birimlerinde lagüner ve limnik özellikli ostrakod ve mikromollusk cinsleri yer almaktadır. Neojen birimlerinde ağırlıklı olarak limnik koşulların yanı sıra lagüner ortam karakteristiği sunan ostrakod türleri gözlenmektedir.

6. KATKI BELİRTME

Yazarlar, karot örneklerinin elde edilmesinde her türlü kolaylık ve desteği sağlayan MTA Genel Müdürlüğü Kömür Dairesi Başkanlığı'na, Jeoloji Yüksek Mühendisi Sn. Ali Üretürk'e (MTA, Ankara), Çukurova Üniversitesi BAP kapsamında MMF2010D5 ve MMF2012BAP12 projelerine, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve elemanlarına, ostrakod fotoğraflarının SEM çekimlerini gerçekleştiren Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEİTAM) Uzmanı Sn. Aynur Gürbüz'e teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

1. Akartuna, M., 1953. Çatalca-Karacaköy bölgesinin jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, 13, 88.
2. Rückert-Ülkümen, N., 1960. Trakya ve Çanakkale Müntikalarında Bulunan Neojen Balıkları Formasyonları Hakkında, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, 16, 80.
3. Sönmez, N., 1963. Deux nouveaux genres d'Ostracodes du Paléogène de Thrace (Turquie). Revue de Micropaléontologie, V. 6, no. 2, Paris.
4. Sönmez-Gökçen, N., 1964. Notice Sur le Nouvel Age Determine par les Ostracodes de la Serie a Congeria du Neogene des Environs de Çatalca (Thrace). MTA Bulletin, No. 63, Ankara.
5. Sönmez-Gökçen, N., 1973. Etude Paléontologique (ostracodes) et Stratigraphique de Niveaux du Paléogène du Sud-Est de la Thrace, MTA Yayınlarından, No.147, Ankara.
6. İlhan, E., 1965. Körudağ, Gelibolu Yarımadası ve Çanakkale Yakasında Yapılmış olan Jeolojik Etütler Hakkında Rapor. TPAO Rapor no: 331, Ankara.
7. Gökçen, S.L., S., 1967. Eocene-Oligocene Sedimentation in the Keşan Area, SW Turkish

- Thrace, Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, No. 69, Ankara.
8. Gökçen, N., 1975. Pınarhisar Formasyonu'nun yaşı ve ortam şartlarında görülen yanal değişimler (Kuzey, kuzeydoğu Trakya), Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Tebliğleri, 128-142, Ankara.
 9. Keskin, C., 1966. Pınarhisar Resif Karmaşığı Mikrofasiyesi İncelemesi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, 31, 109-146.
 10. Keskin, C., 1974. Kuzey Ergene Havzasının Stratigrafisi, Türkiye II. Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, 137-163.
 11. Lebküchner, R.F., 1974. Orta Trakya Oligoseninin Jeolojisi Hakkında, MTA Rap., No. 2983, Ankara.
 12. Şenol, M., 1980. Keşan (Edirne) ve Marmara Ereğlisi (Tekirdağ) Yörelerinde Oligosen Yaşlı Birimlerin Çökel Ortamları ve Linyit Oluşumları, TJK Bülteni, C. 23, 133-140, Ankara.
 13. Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., Demir, O., 1983. Tekirdağ-Şarköy-Keşan-Enez Bölgesinin Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, TPAO Arama Grubu, Arşiv no:1771, Ankara.
 14. Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., Özcan, I., Sarıkaya, H., ve Saraç, G., 1983. Tekirdağ, Silivri/İstanbul, Pınarhisar Alanının Jeolojisi, MTA Derleme Rapor No: 7349 (Yayımlanmamış).
 15. Sümengen, M., Terlemez I., Şentürk, K., ve Karaköse, C., 1987. Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya Tersiyer Havzası'nın Stratigrafisi, Sedimantolojisi ve Tektoniği, MTA Rapor No: 8128.
 16. Sümengen, M., Terlemez, İ., 1991. Güneybatı Trakya Yöresi Eosen Çökellerinin Stratigrafisi, Maden Tetkik Arama Dergisi, 113, 17-30, Ankara.
 17. Siyako, M., Bürkan, K.A., Okay, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, TPJD Bülteni, c:1/3, 183-199.
 18. İslamoğlu, Y., ve Taner, G., 1995. Pınarhisar (Kırklareli) ve Çevresinin Tersiyer Mollusk Faunası ve Stratigrafisi, MTA Dergisi, 117, 149-169, Ankara.
 19. Taner, G., 1996. Batı Trakya Havzası'nın Egeriyen Mollusk Faunası, TPJD Bülteni, C. 8, 1, 66-81, Ankara.
 20. Aksoy, M. Z., 1998. Trakya Havzası Oligosen Yaşlı Deltayık İstifinin Yer Altı Verileri Kullanılarak Ayrıntılı Sedimantolojik İncelenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 200.
 21. Sakıncı, M., Yaltrak, C., Oktay, F.Y., 2000. Kuzeybatı Türkiye'de (Trakya) Tetis-Paratetis ilişkisi ve Trakya Neojen Havzası'nın Paleocoğrafyası ve Tektonik Evrimi, Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, MTA, 107-135, Ankara.
 22. Turgut, S., Eseller, G., 2000. Sequence Stratigraphy, Tectonics and Depositional History in Eastern Thrace Basin, NW Turkey, Marine and Petroleum Geology, 17, 61-100.
 23. Atalay, Z., 2002. Trakya Bölgesindeki Linyit Formasyonların (Danışmen ve Ağaçlı Formasyonları) Stratigrafisi Fasiyesi ve Çökelme Ortamı Özellikleri, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri-A Yerbilimleri C. 19, 1, 61-80, Sivas.
 24. Ünalır, Ş.M., 2004. Kırklareli-Pınarhisar Yöresine ait Kömür Karotlarının Mikropaleontolojik Açından İncelenmesi ve Ortamsal Yorumu, Ç. Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64, (Yayımlanmamış), Adana.
 25. Yüzbaşıoğlu, P., 2004. Tekirdağ-Malkara Yöresine Ait Kömür Karotlarının Mikropaleontolojik Açından İncelenmesi Ve Ortamsal Yorumu, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76, (Yayımlanmamış), Adana.
 26. Rückert-Ülkümen, N., Özkar-Öngen, İ., Çevik-Öner, B., 2009. Doğu Paratetis'in Ergene Havzası'ndaki paleobiyocoğrafik özellikleri, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C.22, 2, 119-140.
 27. Şafak, Ü., 2008. Malkara (Tekirdağ) Yöresi Erken/Alt Oligosen Çökellerinin Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri, Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 52, 263-282, Adana.
 28. Şafak, Ü., 2010a. Güney-Buldan-Babadağ-Yenicekent-Kale (Denizli, GB Anadolu) Çevresi Tersiyer Çökellerinin Ostrakod Topluluğu ve Ortamsal Özellikleri, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (2), 44-62.
 29. Şafak, Ü., 2010b. Pınarhisar-Vize/Kırklareli (KB Anadolu) Yöresi Oligosen Yaşlı Linyitli Çökellerin Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri, TPJD Bülteni, Cilt:22, Sayı:2, 11-29, Ankara.
 30. Şafak, Ü. ve Güldürek, M., 2015. Edirne-Kırklareli (Trakya) Bölgesi Paleojen-Neojen Çökellerinin (Edirne-Uzunköprü-Çavuşlu, Edirne-Keşan-Küçükdoğanca, Edirne-Süloğlu-Yağcılar, Kırklareli-Vize-Hasbağköy Sondajları) Mikropaleontolojik İncelenmesi, Paleontoloji-Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Özleri, 123-144, Rize.
 31. Şafak, Ü., 2015a. Çorlu-Muratlı-Lüleburgaz-Babaeski (Güneydoğu Trakya) Tersiyer

- Çökellerinin Mikropaleontolojik ve Ortamsal Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: MMF2012BAP5, Adana.
32. Şafak, Ü., 2015b. Tekirdağ Yöresi Oligosen-Miyö-Pliyosen Çökellerinin (Hacısunğur Sondajı) Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri, Ç.Ü. Müh-Mim Fak. Dergisi, Cilt 30, Sayı: 2, 317-335, Adana.
 33. Şafak, Ü., Güldürek, M., 2016. The Ostracoda Assemblage of the Eocene-Oligocene Transition in Northwestern Thrace: Kırklareli-Edirne Area (Northwestern Turkey), Journal of African Earth Sciences, 117, 62-85.
 34. Sissingh, W., 1972. Late Cenozoic Ostracoda of the South Aegean Island Arc, Utrecht Micropaleontological Bulletins, 6: 1-187.
 35. Van Morkhoven, F.P.C.M., 1963. Post-Palaeozoic Ostracoda, V.II, p.478, Newyork.
 36. Athersuch, J., Horne, D.J., Whittaker, J.E., 1989. Marine and Brackish Ostracods, Synopses of the British Fauna (N.S.), 43.
 37. Bonaduce, G., Ciampo, G., Masoli, M., 1976. Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea. Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli 40, Suppl. 1, 1-304.
 38. Freels, D. 1980. Limnische Ostrakoden aus jungtertiär und Quartär Turkey. Geol. Jahr.Reihe B, Heft 39, 172, Hannover.
 39. Taner, G., 1980. Das Neogen der Umgebung Yalova, Communications de la Faculté des Sciences de l'Université d'Ankara, Série C1, Géologie, Tome 23, Ankara.
 40. Sayar, C., 1991. Paleontoloji Omurgasız Fosiller, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Sayı: 1435, İstanbul.
 41. Wenz, W., 1922. Zur Nomenklatur tertiärer Land und Süßwassergastropoden, Senckenbergiana, Bd. IV, Heft 5,2,75-86, Frankfurt.
 42. Hartmann, G., Puri, H., 1974. Summary of Neontological and Paleontological Classification of Ostracoda, Mitteilungen Aus Dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut, 70, 7-73.
 43. Boer, N.P. de 1954. Report on Geological Reconnaissance in Turkish Thrace. G.A. Report no: Ç 25373, Petrol Dairesi, The Hague, February, 1954.
 44. Keskin, C., 1971. Pınarhisar Alanının Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 14, 31-84.
 45. Siyako, M., 2002. Trakya Havzası Tersiyer Kaya Birimleri, Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-2, 43-77, Ankara.
 46. Türkecan, A., Yurtsever, A., 2002. İstanbul Paftası, 1: 500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
 47. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2006. Trakya bölgesi Litostratigrafi Birimleri, Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-2.
 48. Siyako, M., Huvaz, O., 2007. Eocene Stratigraphic Evolution of the Thrace basin, Turkey, Sedimentary Geology, 198, 75-91.
 49. Bear, H., Wright J.A., 1960. Stratigraphy of the Ganosdağ, Korudağ and Keşan Hills District I, (Thrace), TPAO Arşiv no: 736, Ankara (Unpublished).
 50. Umut, M., İmik, M., Kurt, Z., Özcan, İ., Ateş, M., Karabıyıkoglu, M., Saraç, G., 1984. Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli) Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (yayımlanmamış) rapor no, 7604, 42, Ankara.
 51. Siyako, M., Kasar, S., 1985. Edirne-Lalapaşa-Kırklareli bölgesinin jeolojisi, TPAO Arama Grubu Arşivi, (yayımlanmamış) Rapor No: 2062, 78, Ankara.
 52. Saraç, G., 1987. Kuzey Trakya bölgesinde Edirne - Kırklareli - Saray - Çorlu - Uzunköprü - Dereikebir Yörelerinin Memeli Paleofaunası, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Jeoloji Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Ankara.
 53. Ozansoy, F., 1962. Doğu Trakya Alt Oligosen Antrakoterienleri, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 58, 85-96, Ankara.
 54. Umut, M., 1988a. Kırklareli-C5 paftası ve İzahnamesi, 1: 100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 10, Ankara.
 55. Umut, M., 1988b. Kırklareli-C4 paftası ve İzahnamesi, 1: 100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 6, Ankara.
 56. İmik, M., 1988. Kırklareli-C2-3 paftası ve İzahnamesi, 1: 100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 10, Ankara.
 57. Şentürk, K., Karaköse, C., 1998. Çanakkale-D2 Paftası, 1: 100.000 Ölçekli Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No. 62, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.
 58. Şentürk, K., Sümengen, M., Terlemez, İ., Karaköse, C., 1998a. Çanakkale-D3 Paftası, 1: 100000 Ölçekli Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No. 63. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.

59. Şentürk, K., Sümengen, M., Terlemez, İ., ve Karaköse, C., 1998b. Çanakkale-D3 Paftası, 1: 100.000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 64. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.
60. Duman, T.M., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, O., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H., Gökmenoğlu, O., 2004. İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri, Özel Yayın Serisi-3, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.
61. Ternek, Z., 1949. Geological Study of the Region of Keşan-Korudağ, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Neşriyatı, D12, 78.
62. Kopp, K.O., Pavoni, N., Schindler, C., 1969. Geologie Thrakiens IV. Dars Ergene-Becken, Bei-h zum Geol. Jahrb., Heft 76, 136, Hannover.
63. Aslaner, M., 1956. Tozaklı, Poyralı Linyitleri ve Pınarhisar Civarının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 66, 126-142.
64. Çağlayan, M.A., Yurtsever, A., 1998. Burgaz-A3, Edirne-B2, ve B3, Burgaz-a4 ve Kırklareli-B4, Kırklareli-B5 ve B6, Kırklareli C6 paftaları, 1: 100000 ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 20, 21, 22, 23., Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.
65. Kemper, E., 1961. The Kırklareli Limestone (Upper Eocene) of the Northern Basin Rim. G. Deilman Bergbau GMBH Jeolojik Raporu, T37.
66. Kasar, S. ve Eren, A., 1986. Kırklareli-Saray-Kıyıköy Bölgesinin Jeolojisi, TPAO Arama Grubu Arşivi, (Yayımlanmamış) Rapor No, 2208, 45, Ankara.
67. Kasar, S., 1987. Edirne-Kırklareli-Saray (Kuzey Trakya) Bölgesinin Jeolojisi, Türkiye 7. Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, 281-291.
68. Ünal, O.T., 1967. Trakya Jeolojisi ve Petrol İmkanları, TPAO Arama Grubu Arşivi, (Yayımlanmamış) Rapor No, 391, 80, Ankara.
69. Turgut, S., Siyako, M., Dilki, A., 1983. Trakya Havzasının Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni, 4, 35-46.
70. Şentürk, K., Karaköse, C., 1987. Çanakkale ve Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (Yayımlanmamış) Rapor No: 371, 207.
71. Bremer, H., 1978. Paleontoloji, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitapları Serisi, No. 46, Bornova-İzmir.
72. Keij, A., 1957. Eocene and Oligocene Ostracoda of Belgium, Institut Royale Science Naturelles Belgique, Brussels, Mémoires No. 136:1-210.
73. Lienenklaus, E., 1905. Die Ostrakoden des Mainzer Tertiärbeckens, Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft, 1-67.
74. Apostolescu, V., 1964. Répartition Stratigraphique Générale des Ostracodes du Paléogene des Bassins de Paris et Bruxelles, Collogue Paléogene, Mémoires. B.R.G.M., no. 28.
75. Estéoule-Choux, J., Margerel, J-P., Guernet, C. et Rivoalland, H., 1986. Données sur le Bassin Stampien de Quessos (massif armoricain), Etude Sédimentologique et Micropaléontologique du Gisement du Moulin de Boguet, Revue de Micropaléontologie, V. 28, N. 4, p.243-254, Paris.
76. Şafak, Ü., 1997. Bakırköy Havzası (İstanbul) Tersiyer Çökellerinin Ostrakod Faunası, Yerbilimleri, 30, 255-285.
77. Şafak, Ü., Güldürek, M., 2014. KB Trakya Eosen-Oligosen geçişinin ostrakod topluluğu: Kırklareli -Edirne yöresi / KB Türkiye, 67thTürkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 726-727, Ankara.
78. Şafak, Ü., Öz-sarı, F., Yıldız, C.E., 2015. Tekirdağ Yöresi Oligosen Çökellerinin (Hacı-sungurlu Sondajı) Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri, 68thTürkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 552-553, Ankara.
79. Oertli, H.J., 1956. Ostrakoden aus der Oligozänen und Miozänen Molasse der Schweiz. Abhandlungen der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft, 74: 1-119, Basel.
80. Haskins, C.W., 1969. Tertiary Ostracoda from the Isle of Wight and Barton, Hampshire, England, Revue de Micropaléontologie, Part IV, N. 3, Paris.
81. Oertli, H.J., 1985. Atlas des Ostracodes de France. Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Mem. 9. Pau 1985. Mémoires Elf-Aquitaine, 9, p.17-311 Paléogène.
82. Şafak, Ü., 1990. Malatya Kuzeybatısının (Medik-Ebreme yöresi) Üst Lütésiyen Ostrakod Faunası, Ç.Ü. Müh-Mim Fak. Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, 135-149, Adana.
83. Nazik, A., 1993. Darendé Havzası Tersiyer İstifinin Mikropaleontolojik (Ostrakod ve Foraminifer) İncelenmesi, TJK Bülteni, Cilt 36, Sayı 1, Ankara.
84. Şafak, Ü., Oçakoğlu, F., and Açıkalin, S., 2013. Ostracod Associations and Depositional Environments Of Eocene Sections in the

- Central Sakarya Region (NW Anatolia). 17 th International Symposium on Ostracoda, IL Naturalista Siciliano Vol. XXXVII, N:1, pp.333-334, Roma, Italy.
85. Keen, M.C., 1972, The Sannoisian and Some other Upper Palaeogene Ostracoda from North-west Europe, *Palaeontology*, V. 15, Part 2, London.
86. Monostori, M., 1983. Ostracodes of Eocene/Oligocene Boundary Profiles in Hungary, *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Roland. Eötvös Nominatae Sectio Geologica Tomus XXV*.
87. Jiricek, R., 1983. Redefinition of the Oligocene and Neogene Ostracod Zonation of the Paratethys, *Knihovnicka Zemniho Plynu a Nafyt (Nr.4)* pp. 195-236/6, Hodonin.
88. Şafak, Ü., 1993. Karsanti Yöresinde/KKD Adana Yüzeyleyen Tersiyer İstifinin Ostrakod Dağılımı ve Ortamsal Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36,1.
89. Şafak, Ü., Kelling, G., Gökçen, N.S., Gürbüz, K., 2005. The Mid-Cenozoic Succession and Evolution of the Mut Basin, Southern Turkey, and its Regional Significance, *Sedimentary Geology*, 173, p. 121-150.
90. Tanar, Ü., Gökçen, N., 1990. Mut-Ermenek Tersiyer İstifinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojisi, *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, 110, 175-181, Ankara.
91. Triebel, E., 1963. Ostrakoden aus dem Sannois und Jungeren Schichten des Mainzer Beckens: 1. Cypritidae, *Senckenbergiana*, Bd. 44, Frankfurt.
92. Carbonnel, G., Ritzkovski, S. 1969. Ostrocodes Lacustres de l'Oligocene (Melanienton) de la Hesse (Allemagne). *Arch.Sc.*, Geneve, 22:1, 55-82.
93. Carbonnel, G., Weidmann, M., Berger, J.P., 1985. Les Ostrakodes Lacustres et Saumatres de la Molasse de Suisse Occidentale. *Revue de Paleobiologie*, 4:2, 215-251.
94. Ünlügenç, U.C., Demirkol, C., Şafak, Ü., 1991. Adana Baseni K-KD'nda yer alan Karsanti Baseni Çökellerinin Stratigrafik-Sedimentolojik Nitelikleri, A. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu (2-5 Eylül 1991) Bildirileri 1993, 215-227, Ankara.
95. Meisch, C., 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe, *Süßwasserfauna von Mitteleuropa* 8/3, Akademischer Verlag, Heidelberg.
96. Krstic, N., 1972. Neue Ostracoden aus der Obermiozän von Donja Mutnica (Paracin, Serbien), *Bulletin Scientifique* A17, 153-155.
97. Pipik, R., 2001. Les Ostracodes d'un lac Ancien et ses Paléobiotopes au-Mioène Supérieur: Le Bassin de Turiec (Slovaquie), *Thèse Université Claude Bernard Lyon*, 337.
98. Witt, W., 2003. Freshwater Ostracods from Neogene Deposits of Develiköy (Manisa, Turkey), *Zitteliana* A43, 93-108.
99. Matzke-Karasz, R., Witt, W., 2005. Ostracods of the Paratethyan Neogene Kılıç and Yalakdere Formations near Yalova (İzmit Province, Turkey), *Zitteliana*, A45, 115-133, 2 figs, 3pls, 1 tab, München.
100. Nazik, A., Türkmen, İ., Koç, C., Aksoy, E., Avşar, N., Yayık, H., 2008. Fresh and Brackish Water Ostracods of Upper Miocene Deposits, Arguvan/Malatya (Eastern Anatolia), *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 17, pp. 481-495.
101. Şafak, Ü., Avşar, N., Meriç, E., 1999a. Ostracoda and Benthic Foraminifera of Tertiary Sequence of Western Part of İstanbul, *Yerbilimler Dergisi*, 4th European Ostracodologists Meeting, No:35, p. 173-201, Adana.
102. Şafak, Ü., Avşar, N., Meriç, E., 1999b. Batı Bakırköy (İstanbul) Tersiyer Çökellerinin Ostrakod ve Foraminifer Topluluğu, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, No. 121,17-33, Ankara.
103. Şafak, Ü., Nazik, A., Şenol, M., 1992. Kayseri Güneydoğusu (Sarız) Pliosen Ostrakod ve Gastropod Faunası, *Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1,171-195, Adana.
104. Nazik, A., Şafak, Ü., Şenol, M., 1992. Mikropaleontolojik İnceleme (Ostracoda) of the Pliocene sequence of the Tufanbeyli (Adana) Area, *Yerbilimleri*, 1992 1st International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, proceedings and abstracts, 281-304, Adana.
105. Şafak, Ü., 2003. Yumurtalık Koyu (Adana) Ostrakod Topluluğu, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 126, 1-10, Ankara.

LEVHA I

- 1-2. *Cytheromorpha zinndorfi* (Lienenklaus)
1. Kabuk, sol dış görünümü, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 8₃ nolu sondajı, 2 nolu örnek
 2. Kabuk, sol dış görünümü, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 8₃ nolu sondajı, 2 nolu örnek
- 3-4. *Hemicyprideis montosa* (Jones ve Sherborn)

3. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Keşan-Merkezköy 205 nolu Sondajı, 13 nolu örnek
4. Sağ kapak, dıştan görünüm, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8 nolu Sondajı, 8 nolu örnek
- 5-6.** *Cytheridea pernota* Oertli ve Keij
5. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Keşan-Merkezköy 205 nolu Sondajı, 13 nolu örnek
6. Sağ kapak, dıştan görünüm, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajı, 2 nolu örnek
- 7-8.** *Neocyprideis williamsoniana* (Bosquet)
7. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13 nolu Sondajı, 8 nolu örnek
8. Kabuk, sol dış görünümü, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 8 nolu Sondajı, 12 nolu örnek

LEVHA II

1-2. *Neocyprideis apostolescui* (Keij)

1. Kabuk, sol dıştan görünüm, Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye Sondajı, 15 nolu örnek

2. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye Sondajı, 14 nolu örnek

3-4. *Heterocypris salina* (Brady)

3. Kabuk, sağ dıştan görünüm, Edirne-Meriç-Küçükdoğanca 13 nolu Sondajı, 1 nolu örnek
4. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajı, 1 nolu örnek

5. *Candona (Pseudocandona) fertilis* Triebel,

5. Sol kapak, dıştan görünüm, Edirne-Uzunköprü-Süleymaniye Sondajı, 7 nolu örnek

6. *Ilyocypris boehli* Triebel

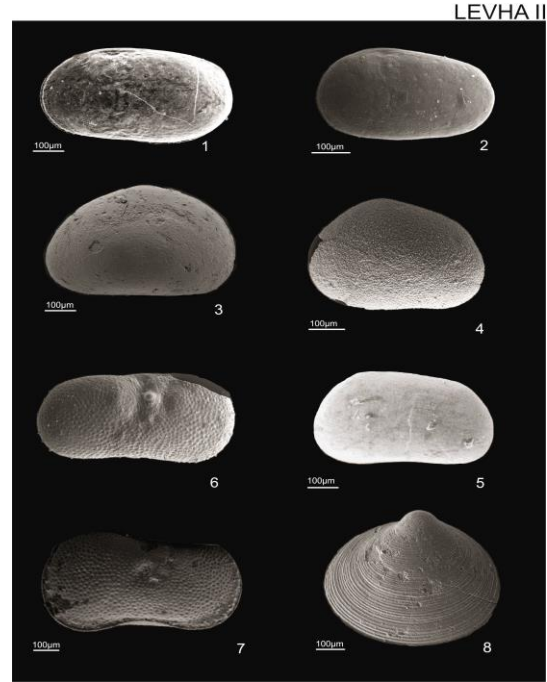
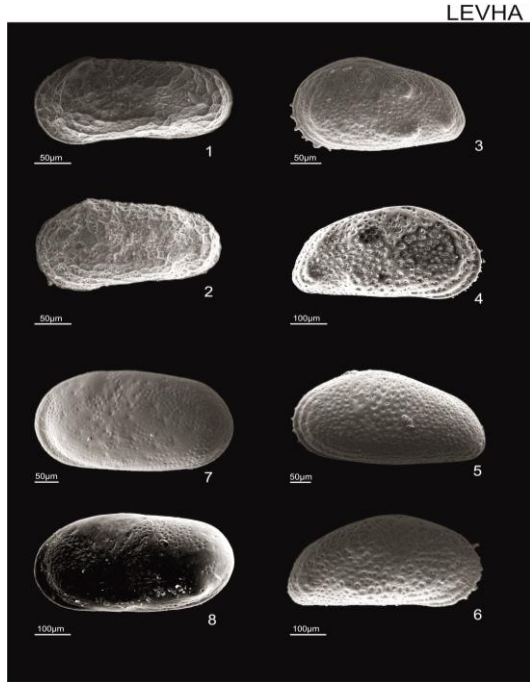
6. Sağ kapak, dıştan görünüm, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajı, 2 nolu örnek

7. *Ilyocypris cf. bradyi* (Sars)

7. Kabuk, sağ dıştan görünüm, Edirne-Süloğlu-Geçkinli 83 nolu sondajı, 1 nolu örnek

8. *Avimactra* sp.

8. Kapak, dıştan görünüm, Edirne-Keşan-Merkezköy 205 nolu sondajı, 13 nolu örnek



Eşik Mansabındaki Kritik Üstü Açık Kanal Akımının Deneysel ve Sayısal Analizi

N. Göksu SOYDAN¹, Oğuz ŞİMŞEK¹ ve M. Sami AKÖZ^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Açık kanalda eşik sonrası oluşan kritik üstü açık kanal akımının hız alanı, laboratuvar ortamında Lazer Doppler Anemometresi (LDA) ile ölçülmüş ve deney ile aynı koşullardaki akım için temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent paket programı ile üç boyutlu olarak çözülmüştür. Sayısal hesaplamalarda, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerine dayalı *Realizable k-ε* türbülans kapatma modeli ve *Large Eddy Simülasyon* (LES) modeli kullanılmış, su yüzü profili Akışkan Hacimleri Yöntemi ile hesaplanmıştır. Sayısal modellerden elde edilen akım hızları ve su yüzü profilleri deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Farklı iki modelin deneysel olarak doğrulanması amacıyla yapılan karşılaştırmalarda, *Realizable k-ε* türbülans kapatma modelinin, hız alanının hesaplanmasında ve su yüzünün belirlenmesinde LES modeline göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hız profili, Kritik üstü akım, LES, RANS, Su yüzü profili, VOF

Experimental and Numerical Analysis of Supercritical Open Channel Flow Downstream of a Sill

Abstract

The velocity field of supercritical open channel flow downstream of a sill is measured using Laser Doppler Anemometry (LDA). Basic equations of the problem are solved by ANSYS-Fluent program package based on finite volume method for the flow case having the same experimental conditions. In the numerical simulations, *Realizable k-ε* turbulence closure model based on the Reynolds Average Navier Stokes Equations and *Large Eddy Simulation* model are used for the simulation of turbulence, and the flow profile is computed using Volume of Fluid Method. Computational results for velocities and free surface profiles are compared with measured data. Experimental validations of the turbulence models show that the *Realizable k-ε* turbulence model is more successful than LES in predicting the velocity field and free surface profiles under the present flow conditions.

Keywords: Velocity profile, Supercritical open channel flow, LES, RANS, Free surface profile, VOF

* Sorumlu yazar (Corresponding author): M. Sami AKÖZ, msa@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Açık kanal içerisine bir yapının yerleştirilmesi durumunda akımda bir rejim değişikliği; kritik altı durumdan kritik üstü duruma geçiş süreci, yaşanır. Kritik üstü akımlar, kritik altı akımlara nispetle hızın daha yüksek buna mukabil su derinliğinin daha az olduğu akım koşullarına haizdirler. Yüksek akım hızına sahip kritik üstü akımların görüldüğü nehir yataklarında veya açık kanal akımlarında, kanal kaplamasında veya nehir yatağında aşınmalar söz konusu olabilmektedir. Özellikle nehir yataklarında meydana gelen aşınma ve erozyon üzerinde türbülans ve akım topolojisi önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda, akımla etkileşime giren bu tür yapıların mansabında oluşan türbülanslı kritik üstü akımların karakteristik özelliklerinin detaylı bir şekilde bilinmesi lüzumu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, yapı ile etkileşime giren akımların analizine yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Balen ve arkadaşları [1], kavisli açık kanal modelinde birincil ve ikincil akışın türbülans karakterlerini belirlemek için sayısal ve deneysel modelleme çalışmaları yapmışlardır. Large Eddy Simülasyon (LES) ve Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) modelleri kullanılarak elde edilen sayısal model sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda LES modelinden elde edilen sonuçların RANS modeline göre deneylerle daha uyumlu olduğunu, LES modelinin dirsek akımını modellemede daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Azimi ve arkadaşları [2], çalışmalarında dairesel kesitli kanalda yan savak üzerinden geçen serbest yüzeyli kritiküstü akımı sayısal olarak modellemişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğine dayalı sayısal analizlerde, akım alanını ve akım türbülans karakteristiklerini belirlemek için Renormalization Group $k-\varepsilon$ (RNG) türbülans kapatma modelini ve serbest su yüzü profilinin hesabında ise akışkan hacimleri yöntemini kullanmışlardır. Sayısal hesaplamalardan elde edilen su yüzü profili, savaktan tahliye edilen debi, debi katsayısı ve yan savak başlangıcındaki toplam enerji değerleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, RNG $k-\varepsilon$ türbülans

kapatma modeli ile elde edilen bulguların deneylerle oldukça uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Günümüzdeki teknolojik gelişmelere paralel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile ilgili önemli gelişmeler kaydedilmiş, HAD ile ilgili birçok paket program araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Sanayi sektöründe ve bilimsel çalışmalarda bu paket programlar, fiziksel model deneylerine göre daha ekonomik ve hızlı sonuç vermesi nedeniyle birçok problemin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, sayısal model deneyleri fiziksel model deneylerine kıyasla akımın birçok karakteristik özelliği hakkında detaylı bilgi elde etme imkânı sunmakta, farklı akım koşullarında farklı parametrelerin akıma olan etkisini daha kolay ve daha hızlı bir biçimde elde etme ve analiz etme olanağı vermektedir. HAD yöntemlerinde, türbülanslı akımın hareketini idare eden temel denklemlerin sayısal olarak hesaplanmasında kullanılan farklı türbülans kapatma modelleri mevcuttur. Bu türbülans kapatma modellerinin doğrulanması için deney sonuçları ile karşılaştırılması gerekmektedir. Literatürde bu amaca yönelik yapılan çalışmalar mevcuttur [3-6]. Farklı sayısal yöntemlerin uygulandığı bu çalışmalarda, genellikle türbülans modellerinin performansları ve ağ yapısının çözümler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Serbest su yüzü profilinin hesabı için Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid- VOF) kullanılmıştır [7-10].

Bu çalışmada, eşik sonrası oluşan kritik üstü açık kanal akımına ait farklı kesitlerdeki hız profilleri tek boyutlu Lazer Doppler Anemometresi (LDA) ile ölçülmüştür. Türbülanslı kritik üstü akımın hareketini idare eden temel denklemler, ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak deney ile aynı akım koşulları altında sayısal olarak çözülmüştür. Sayısal çözümlerde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemlerine dayalı çözüm yapan Realizable $k-\varepsilon$ türbülans kapatma modeli ve Large Eddy Simülasyon modeli kullanılmıştır. Sayısal modellemede kullanılan hesaplama ağ yapısının sayısal çözümler

üzerindeki etkisini araştırmak için Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) yöntemi kullanılmıştır. Sayısal hesaplamalardan elde edilen çeşitli kesitlerdeki hız ve su yüzü profilleri deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış, bu çalışmada kullanılan modellerinin, hız alanının ve serbest su yüzünün belirlenmesindeki başarısı irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneysel

Deneysel, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında bulunan uzunluğu 8,0 m, genişliği ve yüksekliği 0,3 m olan cam duvarlı bir açık kanalda yapılmıştır (Şekil 1). Hazneden deney kanalına suyun iletilmesi bir pompa yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Akımın hızını arttırmak için mansap eğimi 1/5 ve kret yüksekliği 0,075 m olan eşik kullanılmış ve eşik sonrasında kritik üstü akım koşulları sağlanmıştır. LDA ile yapılan hız ölçümleri, akımın debisinin $Q=0,0142 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu akım koşulunda gerçekleştirilmiştir. Eşik üstündeki su derinliği $h_0=5,72 \text{ cm}$, kesit ortalama hızı $V_0=0,82 \text{ m/s}$, Froude sayısı 1,06 ve Reynolds sayısı 119.000 olarak belirlenmiştir.

Hız alanın ölçülmesinde Dantec® LDA62N04 hız ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, ölçüm bölgesine gönderilen iki lazer ışınının kesiştiği noktadan geçen parçacıklar yardımıyla o noktadaki lazer ışınları düzlemindeki anlık akım hız bileşeninin belirli zaman aralıklarında ölçülmesini sağlamaktadır. Zaman serisi olarak kaydedilen anlık hız değerlerinden, o noktaya ait zamansal ortalama akım hızı, türbülans hız sapıncıları, türbülans şiddeti gibi çeşitli türbülans karakteristiklerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. LDA sistemi, ortalama hız ve hız sapıncı değerlerini %95 doğruluk mertebesinde belirlemektedir. Akımın su yüzü profili limnometre kullanılarak ölçülmüştür.

2.2. Temel Denklemler

Üç-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı açık kanal akımının hareketini idare eden temel denklemler, kütle ve momentumun korunumu (Reynolds-ortalama Navier-Stokes) denklemleri Eşitlik 1 ve 2'de verilmiştir.

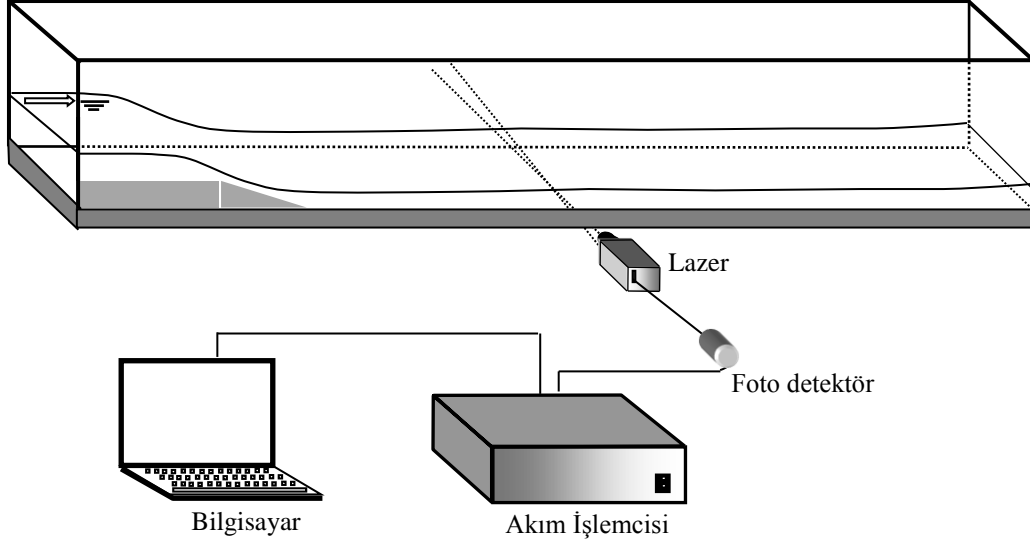
$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

(1) ve (2) denklemlerinde u_i , x_i doğrultusundaki hız bileşeni, g yer çekimi ivmesi, p basınç, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu ve τ_{ij} türbülans (Reynolds) gerilmeleridir. Bu çalışmaya konu olan üç boyutlu akımı idare eden yukarıdaki 4 adet denklem 10 adet bilinmeyen içermektedir, bunlar: üç hız bileşeni \bar{u}_i , basınç \bar{p} ve 6 bağımsız Reynolds gerilmesidir ($\rho \overline{u_i u_j}$). Böylece, denklem sisteminin çözülebilmesi için türbülans gerilmelerinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorun, yukarıdaki zamansal-ortalama denklemlerin sayısal çözümü sürecinde, denklemlerde yer alan türbülans gerilmelerinin uygun türbülans kapatma modelleriyle tanımlanmasını gerektirmektedir. Türbülans viskozitesinin doğrusal olarak ifade edilmesini esas alan Boussinesq yaklaşımına göre (2) denklemindeki türbülans kayma gerilmeleri bünye denklemi ile, sıkışmayan akımlar için Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

burada u_i' ve u_j' yatay ve düşey türbülans hız sapıncıları, μ_t türbülans viskozitesi, $k (= \overline{u_i' u_i'} / 2)$ türbülans kinetik enerjisi ve δ_{ij} Kronecker deltasıdır.



Şekil 1. Deney düzeneği

2.3. Sayısal Modeller

Denklem (3)'te görülen μ_t türbülans viskozitesinin hesaplanmasında birçok türbülans kapatma modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada, μ_t 'nin hesabında Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemlerinin (RANS) çözümüne dayalı $k-\varepsilon$ tabanlı Realizable $k-\varepsilon$ türbülans kapatma modeli (RKE) ve Large Eddy Simülasyon (LES) modeli kullanılmıştır.

2.3.1 Realizable $k-\varepsilon$ Türbülans Modeli (RKE)

Akım alanındaki yüksek şekil değiştirme hızlarının ve sınır tabakası ayrılmasının mevcut olduğu karmaşık akım durumlarında Standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli (SKE) üzerinde, performans artırıcı olarak RKE modeli adı altında şu iyileştirmeler yapılmıştır: (a) türbülans viskozitesi, μ_t , ifadesinde, sabit bir değer yerine değişken C_μ terimi kullanılarak SKE modelindeki katı yüzeye dik şekil değiştirme bileşenlerinin değeri küçültülmüş, ve (b) ε transport denkleminde yerel şekil değiştirme hızını esas alan farklı bir kaynak terimi kullanılmıştır. Shih ve arkadaşları [11] C_μ^* için aşağıdaki formülü vermişlerdir (Eşitlik 4 ve 5).

$$C_\mu^* = \frac{1}{A_o + A_s \frac{U^* k}{\varepsilon}} \quad (4)$$

Burada, $A_o = 4$, $A_s = \sqrt{6} \cos \phi$,

$$\phi = \frac{1}{3} \arccos(\sqrt{6}W), \quad W = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{\tilde{S}^3}, \quad \tilde{S} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}},$$

$$U^* = \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij} \tilde{\Omega}_{ij}}, \quad \tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk} \omega_k^*,$$

$$\Omega_{ij} = \bar{\Omega}_{ij} - \varepsilon_{ijk} \omega_k^*, \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} (\bar{u}_{i,j} - \bar{u}_{j,i})$$

$\bar{\Omega}_{ij}$, ω_k^* açısız hızı ile dönen eksen takımına göre ölçülen ortalama rotasyon hızı tansörüdür.

ε -denklemini aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \bar{u}_j \frac{\partial (\rho \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \quad (5)$$

Model sabitleri aşağıdaki gibi önerilmiştir:

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, \quad S = \sqrt{S_{ij} S_{ij}},$$

$$C_2 = 1.9, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.2$$

RKE modelinin, ivmelenen, eğrisel, sınır tabakasının ayrıldığı, ikincil akımların var olduğu akımlarda SKE modeline göre daha başarılı olduğu ifade edilmiştir [11].

2.3.2. Large Eddy Simülasyon (LES) Modeli

Large Eddy Simülasyon modeli, büyük çalkantıların direk olarak çözüldüğü ve küçük çalkantıların ise modellendiği bir türbülans modelidir. LES modelinde momentum, kütle, enerji ve pasif skalerler büyük çalkantılar tarafından taşınmaktadır. Büyük çalkantıların çözümü daha büyük problemler içerir. Bu büyük çalkantılar akımın başlangıç ve sınır koşulları ile belirlenirler. Küçük çalkantıların akımın geometrisine bağlılığı çok azdır, izotropik yapıda olma eğilimindedirler, dolayısıyla daha evrenseldirler. Küçük çalkantıların evrensel bir türbülans modeli ile çözümü mümkündür. Burada belirtilmesi gereken önemli ayrıntı küçük ölçekli çalkantıların filtrelenmesi ağ yapısındaki hücrelerin boyutlarına bağlıdır. Kullanılan ağ hücrelerinin boyutlarının artması filtrelenen çalkantıların boyutlarını da artırmaktadır. LES modelinde filtrelenen bileşen Eşitlik 6'da verildiği gibi ifade edilir.

$$\bar{f}(x) = \int_D f(x') G(x, x') dx', \quad f'(x) = f(x) - \bar{f}(x) \quad (6)$$

Burada $f(x')$, $f(x)$ ve $G(x, x')$ sırasıyla filtrelenmeyen fonksiyonu, alt grid ölçekli çalkantı kısmını ve filtrelenen fonksiyonu göstermektedir. Filtrelenen fonksiyon $G(x, x')$ şu özelliğe sahiptir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} G(x, x') = 1 \quad (7)$$

Sıkışmayan akımlar için filtrelenmiş Navier Stokes denklemleri (Eşitlik 8):

$$\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_i \partial x_j} \quad (8)$$

ve süreklilik denklemi (Eşitlik 9):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir.

LES modeli, herhangi bir RANS türbülans modeline göre çözüm için daha sık bir ağ yapısına ihtiyaç duymaktadır. Buna bağlı olarak stabil bir çözüm sonucuna ulaşabilmek için LES hesaplamaları daha fazla zaman gerektirmektedir. Bu durumun sonucu olarak LES ile yapılan hesaplamalar RANS modelleri ile yapılan hesaplamalara göre daha fazla kayıt hafızasına ihtiyaç duymaktadır.

RANS modellerinde de olduğu gibi LES modelinde de alt grid ölçek türbülans kayma gerilmeleri (Eşitlik 10):

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2\mu_t \bar{S}_{ij} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, μ_t türbülans viskozitesini, τ_{kk} alt grid ölçek gerilmesinin izotropik kısmını göstermektedir ve modellenmemektedir, ancak statik basınç terimine eklenmektedir. \bar{S}_{ij} ise şekil değiştirme terimini göstermektedir ve Eşitlik 11'de verildiği gibi ifade edilir [12]:

$$\bar{S}_{ij} \equiv \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (11)$$

Bu çalışmada, LES modelinde alt grid ölçek modeli olarak Smagorinsky-Lily modeli kullanılmıştır.

Smagorinsky-Lily modeli: Bu model ilk olarak Smagorinsky (1963) tarafından öne sürülen basit bir modeldir. Smagorinsky Lily modelinde türbülans viskozitesi (Eşitlik 12):

$$\mu_t = \rho L_s^2 |\bar{S}| \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada L_s alt grid ölçek için karışma boyunu ve $|\bar{S}| \equiv \sqrt{2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij}}$ 'yi göstermektedir. ANSYS Fluent programında L_s Eşitlik 13'te verildiği gibi hesaplanır.

$$L_s = \min(\kappa d, C_s \Delta) \quad (13)$$

Burada κ von Karman sabitini, d katı sınıra en yakın ağ yüksekliğini, C_s Smagorinsky sabitini ve Δ ise yersel ağ büyüklüğünü göstermektedir. ANSYS Fluent programında Δ hesaplama ağının hacmine göre hesaplanır (Eşitlik 14).

$$\Delta = V^{1/3} \quad (14)$$

2.4. Akışkan Hacimleri Yöntemi (VOF)

Birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası ara yüzeyin şekli ve oluşumu incelenmek istendiğinde genellikle sabit bir Eulerian çözüm ağına uygulanabilen VOF modeli kullanılmaktadır [13]. Bu çalışmada su-hava ara kesitinin hesabında akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid, VOF) kullanılmıştır. VOF yöntemi hücrelerin boş, kısmen ya da tam suyla dolu olduğunu belirlemede kullanılmaktadır. Hacimsel doluluk oranını temsilen bir akışkan hacmi (F) tanımlanır. $F=1$ için ağ elemanı tam dolu, $F=0$ için boş (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için ağ elemanı kısmen dolu olmaktadır. Akışkan Hacimleri Yöntemi ile serbest su yüzünün hesaplanmasında "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır [12]. Bu yaklaşıma göre, öncelikle, kısmen dolu her bir hücrenin, doluluk oranı ve onun türevleri ile ilgili bilgilere dayanılarak, hava-su doğrusal ara yüzünün hücre ağırlık merkezine göre yeri belirlenir. Bir sonraki adımda, hesaplanmış doğrusal ara yüzün yeri ve eleman yüzeylerinde hesaplanmış normal ve teğetsel hız bilgileri kullanılarak her bir eleman yüzeyinden

taşınan akışkan miktarları hesaplanır. Son olarak, bir önceki adımda hesaplanan akışkan miktarları göz önüne alınarak, süreklilik denklemi ile her bir hücrenin hacimsel doluluk oranı belirlenir.

Şekil 2 çalışma alanında belirli bir bölgedeki su-hava arakesitinin doluluk oranına örnek teşkil etmektedir. Şekil üzerindeki sayısal değerler, çalışmada gerçek bir kesitteki F doluluk oranlarının sayısal değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. Ağ elemanlarının doluluk oranı

2.5. Çözüm Bölgesinin Sınır Şartları

Şekil 3, eşik sonrası oluşan kritik üstü açık kanal akımının sayısal modeli için kullanılan çözüm bölgesini, sınır şartlarını ve alt bölgeleri göstermektedir. Kullanılan koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Şekil 3'de verilen çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı sıfır basınç ($p=0$), kanal tabanında ve savak alt tabanında sıfır hız sınır şartı, yani $u=0$, $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Akım durumunda sayısal modelde giriş sınır şartı olarak yatay hız bileşeni için deneysel hız profilleri kullanılmıştır. Düşey hız bileşeni ise $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Zamana bağlı çözüm sürecinde, başlangıç şartı olarak, çözüm bölgesinin giriş sınırında doluluk oranı $F=1$, diğer bölgeler ve çözüm bölgesinin çıkış sınırında ise $F=0$ alınmıştır.

Sayısal modellemede kullanılan tüm türbülans modelleri için zaman adımı $\Delta t=0.001$ s olarak seçilmiş ve sayısal çözümün kararlı hale geldiği 30 s kadar çözüm yapılmıştır. RKE modelinde, kanal tabanında katı sınıra yakın akım bölgesinin modellenmesinde Chen ve Patel [14] tarafından önerilen iki-tabakalı çözümü esas alan ve genişletilmiş iki-tabakalı duvar-yakını modellemesi olarak anılan yöntem kullanılmıştır. LES modelinde ise katı sınıra yakın bölgeler Smagorinsky-Lily modeli seçilerek hesaplanmıştır. (1) ve (2) temel denklemlerinin, Şekil 3'te görülen sınır şartlarına göre \bar{u} , \bar{v} ve \bar{p} için sayısal çözümü, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent® v.12.1 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

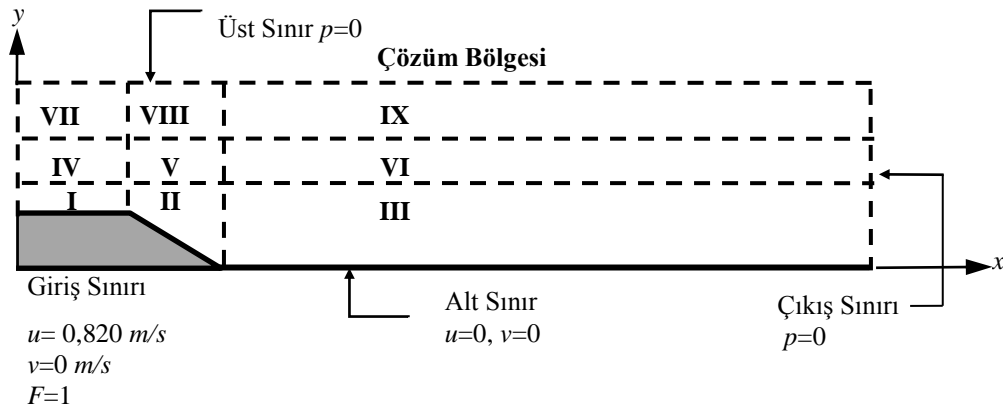
2.6. Hesaplama Ağının Tasarımı

Yapı ile etkileşiminin söz konusu olduğu akım problemlerinin sayısal hesaplamalarında, hesaplama ağı yapısının sonuçlar üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmadaki probleme uygun hesaplama ağının oluşturulmasında, edinilen deneyimlere bağlı olarak, katı sınırlara doğru ve yüzey profilinde hızlı değişimin söz konusu olduğu bölgelerde hesap ağı sıklaştırılmıştır. Akımın karakteri göz önüne alınarak, Şekil 3'te verilen sayısal çözüm bölgesi, Şekil 4'te görüldüğü gibi, 9 alt bölgeye ayrılmıştır. Üç boyutlu hesaplamalarda kullanılmak üzere modellenen ve şekilde verilen ağ yapısı z doğrultusu boyunca kanal genişliğine eşit şekilde

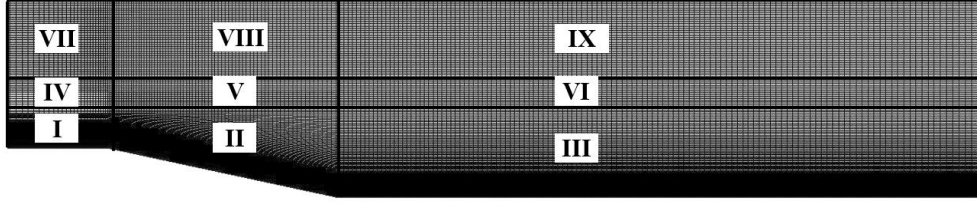
(30 cm) uzatılmış ve 80 eş parçaya bölünmüştür. Her bir alt bölgede eleman sayısı yaklaşık olarak %50 ve %75 artırılmak suretiyle, lineer dörtgen elemanlardan oluşan 3 farklı yoğunluğa sahip ağ yapıları (Ağ-1, Ağ-2, Ağ-3) elde edilmiştir.

Sayısal çözüm alanındaki ağ yapısının yeterli sıklıkta olup olmadığı, bir başka ifadeyle ağ yapısından bağımsız sayısal çözümler elde etmek amacıyla ele alınan üçlü ağ sisteminde yapılan sıklaştırmanın uygunluğu, Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) yöntemiyle test edilmiştir [15,16]. Ağ-3 sistemiyle, akım hızlarındaki hataların kabul edilebilir bir sınır olan %2'den küçük olduğu görülmüş ve hesaplama hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı kanaatine varılmıştır.

Çizelge 1'de Ağ-3 sistemi için alt bölgelerde bulunan eleman sayıları ve en sıkı ağ yani Ağ-3 için en küçük ağ elemanın yüksekliği ve maksimum y^+ değerleri verilmiştir. Şekil 5'te RKE türbülans modeli ile elde edilen y^+ değerlerinin kanal boyunca değişimini göstermektedir. Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu [17], $y^+ (=u^*y/v)$ değerinin 10'dan küçük olması halinde hız dağılımının, viskoz alt tabakadaki lineer dağılıma uyduğunu rapor etmişlerdir. (u^* =kayma hızı; y : yükseklik; v =suyun kinematik viskozitesi). Grafik incelendiğinde y^+ değerinin kanal boyunca 10 değerinin altında olduğu yani ilk ağ elemanının viskoz alt tabaka içerisinde kaldığı görülmektedir.



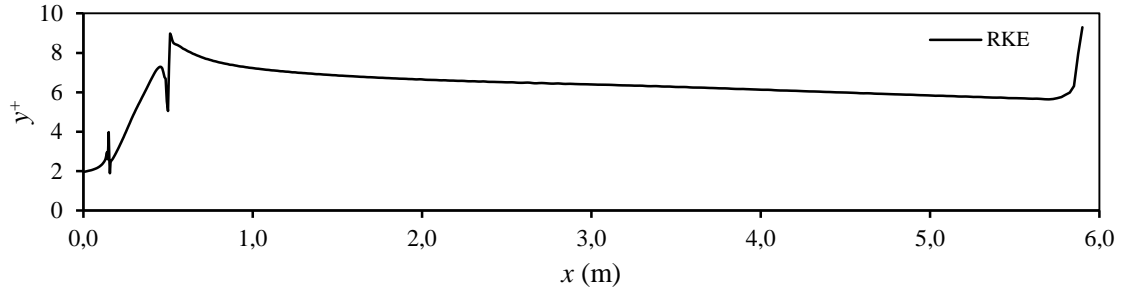
Şekil 3. Sayısal çözüm bölgesi ve sınır şartları



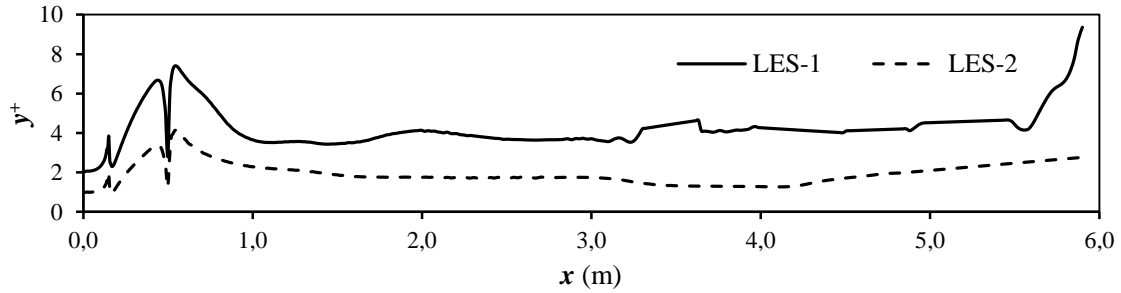
Şekil 4. Sayısal modelde kullanılan hesaplama ağı ve alt bölgeleri

Çizelge 1. Ağ-3'ün eleman sayıları ve bazı değerler

Bölge	Eleman Sayısı	Min h (m)	Max y^+	Bölge	Eleman Sayısı
I	50x120	0,000088	3,97	VI	400x10
II	70x120	0,000089	7,29	VII	50x40
III	400x120	0,000209	8,98	VIII	70x40
IV	50x10			IX	400x40
V	70x10				



Şekil 5. RKE ile elde edilen y^+ değerleri



Şekil 6. LES-1 ve LES-2 ile elde edilen y^+ değerleri

Sayısal hesaplamalarda LES modeli, RANS tabanlı modellere göre daha sıkı ağ yapısına ihtiyaç duymaktadır [12]. Bu sebeple LES-1 ve RKE modelinde kullanılan hesaplama ağı %75 oranında sıkılaştırılarak LES-2 modeli için yeni bir ağ elde edilmiştir. Dolayısıyla RKE modeli ile aynı hesaplama ağına sahip LES-1

hesaplamalarının yanı sıra daha sıkı bir ağ yapısının LES modeli ile elde edilen çözümler üzerindeki etkisi araştırılmış ve kullanılan tüm numerik model sonuçları deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da LES-1 ve LES-2 modellerine ait y^+ değerleri sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi y^+ değerleri ağ yapısının

sıkılaştırılması ile birlikte mansap bölgesinde 4, eşik bölgesinde ise 2 değerinin altına düşmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel ve Hesaplanan Hız Profilleri

Bu çalışmada kullanılan RKE ve LES modellerinin başarılarının kıyaslanması bağlamında, deneysel ve sayısal hesap bulgularının niceliksel olarak karşılaştırılmasında, hız ve su yüzü profilleri için sırasıyla Eşitlik 15 ve 16'da verilen *Ortalama Karesel Hata* (OKH) ve *Ortalama Mutlak Göreceli Hata* (OMGH) değerleri ölçüt olarak alınmıştır:

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (v_d - v_h)^2 \quad (15)$$

$$OMGH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{v_d - v_h}{v_d} \right| \times 100 \quad (16)$$

Burada, v_d ve v_h sırasıyla deneysel ve hesaplanan hız değerlerini, N işlem yapılan hız profilinde ele alınan nokta sayısını göstermektedir.

Çizelge 2'de, RKE türbülans modeli ve LES modelleri kullanılarak, LES-1 ve LES-2, farklı kesitlerden elde edilen sayısal hız profillerinin deneysel bulgularla karşılaştırılmasından elde edilen OKH ve OMGH değerleri verilmiştir. Çizelgenin son satırında, tüm kesitler göz önünde bulundurularak elde edilen ortalama OKH ve OMGH değerleri sunulmuştur. Bu değerler incelendiğinde, tüm çözüm bölgesini kapsayacak şekilde, RKE türbülans modelinin ölçüm yapılan kesitlerin tümünde hem OKH hem de OMGH değerlerine göre, LES modellerinden daha başarılı olduğu açıkça görülmektedir. Buna ilave olarak, LES modelinde hesaplama ağında yapılan sıkılaştırmanın numerik sonuçlar üzerinde çok da fark yaratacak şekilde bir iyileştirme yapmadığı görülmektedir. Sonuç olarak eşik sonrası kritik üstü türbülanslı akımın sayısal modellenmesinde RKE türbülans modelinin, büyük çalkantıların

direkt olarak çözüldüğü ve küçük çalkantıların ise modellendiği LES modeline göre deneylerle daha uyumlu olduğu belirlenmiştir.

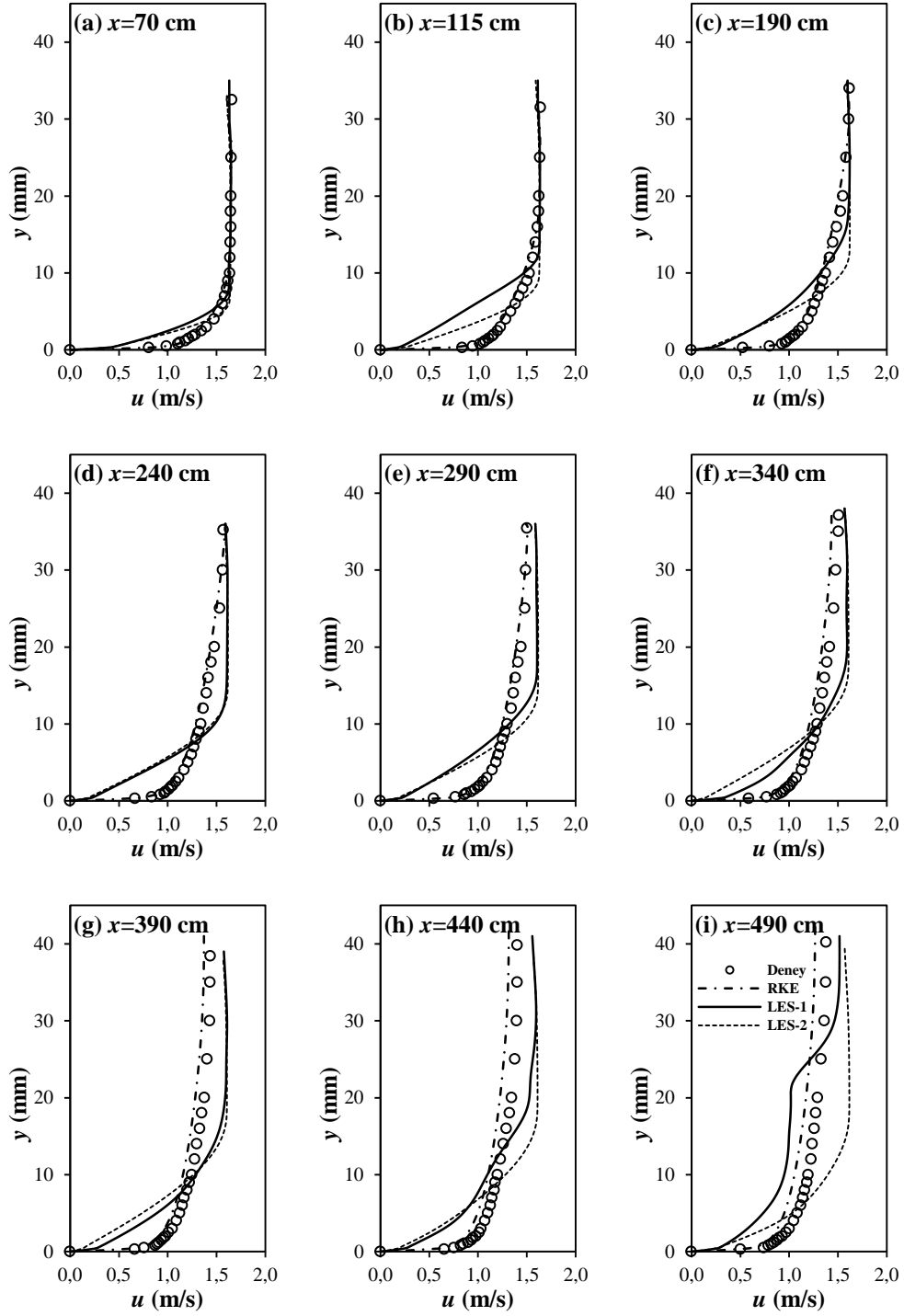
Şekil 7'de kanalın farklı kesitlerinde RKE, LES-1 ve LES-2 modellerinden hesaplanan sayısal hız profilleri ile deneysel olarak ölçülen hız profilleri sunulmuştur. Bu grafiklerden, $x=70$, 115 ve 190 cm kesitlerinde katı sınıra yakın bölgede LES-1 ve LES-2'den elde edilen bulguların, RKE modeli ile kıyaslandığında daha başarısız olduğu açıkça görülmektedir. Katı sınırdan serbest yüzeye yaklaştıkça, LES modelleri deneylerle daha uyumludur. Diğer yandan, $x=240$, 290, 340, 390, 440 ve 490 cm kesitlerinde ise LES modelleri hem katı sınıra yakın hem de serbest yüzeye yakın bölgelerde deneylerle daha uyumsuzdur. Daha yoğun ağ yapısı kullanılmasının sonuçlar üzerinde belirgin bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Bununla birlikte RANS tabanlı RKE türbülans modeli kanalın tüm kesitlerinde oldukça başarılıdır.

3.2. Deneysel ve Hesaplanan Su Yüzü Profilleri

Çizelge 3'te RKE ve LES modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerine ait OKH ve OMGH değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerlerden, hız profillerinde olduğu gibi, RKE modeli ile elde edilen su yüzü profilinin, LES modellerine göre deneysel ölçümlere daha fazla yakınsadığı görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 8'den de görüleceği üzere LES-1 ve LES-2 modelleri de su yüzü profilini tahmin etmede oldukça başarılıdır. Bu başarı, Şekil 9'da verilen RKE ve LES modellerinden elde edilen üç boyutlu su yüzü profillerinden de açıkça görülmektedir.

Çizelge 3. Farklı türbülans modelleri ile hesaplanan su yüzü profilleri için OKH (m^2) ve OMGH (%) değerleri

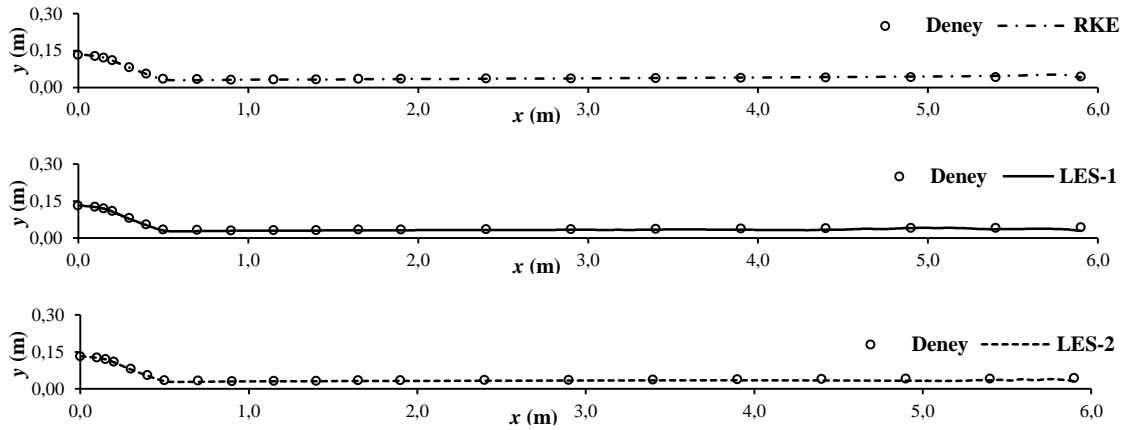
	RKE	LES-1	LES-2
OKH	$0,867 \times 10^{-5}$	$1,28 \times 10^{-5}$	$1,60 \times 10^{-5}$
OMGH	4,52	6,90	7,69



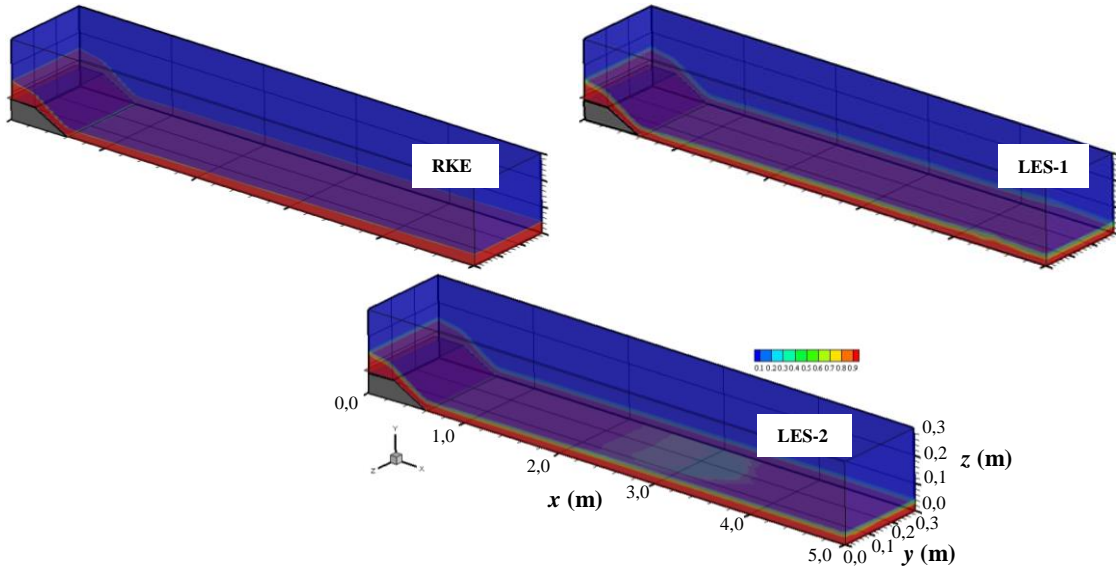
Şekil 7. Kanal boyunca farklı kesitlerde deneysel ve farklı modeller ile hesaplanan hız profilleri

Çizelge 2. Hesaplanan hız profilleri için OKH (m^2/s^2) ve OMGH (%) değerleri

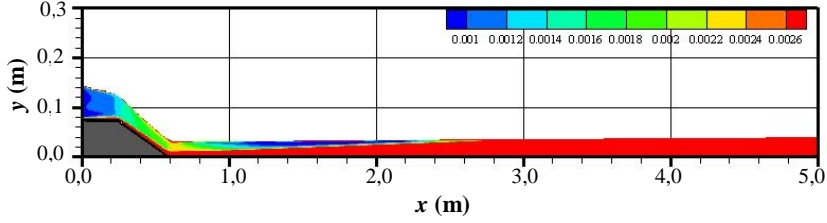
x (cm)	RKE		LES-1		LES-2	
	OKH	OMGH	OKH	OMGH	OKH	OMGH
70	0,002	1,567	0,019	4,663	0,015	4,320
115	0,001	1,717	0,079	12,475	0,033	7,750
190	0,001	2,137	0,040	10,575	0,043	11,468
240	0,002	2,760	0,049	13,349	0,054	13,973
290	0,001	2,636	0,054	15,641	0,058	16,317
340	0,005	5,388	0,031	12,253	0,066	17,082
390	0,007	6,332	0,047	15,793	0,074	19,335
440	0,011	8,158	0,044	15,571	0,068	19,683
490	0,015	10,020	0,059	18,868	0,068	20,241
Ort.	0,005	4,524	0,047	13,243	0,053	14,463



Şekil 8. Deneysel ve farklı çözüm modelleri ile hesaplanan su yüzü profilleri



Şekil 9. RKE ve LES modelleri ile hesaplanan üç boyutlu sayısal su yüzü profilleri



Şekil 10. RKE türbülans modeli ile hesaplanan türbülans kinetik enerjisi

3.3. Türbülans Kinetik Enerji Dağılımı

Şekil 10'da, RKE modeli kullanılarak elde edilen türbülans kinetik enerjisinin (TKE) kanal boyunca değişimi verilmiştir. Kanal tabanından su yüzüne doğru ilerledikçe TKE'nin şiddeti gittikçe azalmaktadır. Sınır tabakası içinde, katı sınıra yakın bölgedeki türbülanslı iç bölgede ise TKE en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Eşik kretinden başlayarak sınır tabakasının gelişimi ile birlikte TKE'nin rölatif olarak daha etkili olduğu bölgenin kalınlığı da artmaktadır. TKE'nin minimum değeri $0.001 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değeri iken, maksimum değeri ise $0.0026 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olmaktadır.

4. SONUÇ

Eşik mansabında oluşan türbülanslı kritik üstü açık kanal akımının hareketini idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent programı kullanılarak çözülmüştür. Üç boyutlu sayısal modellemelerde RANS denklemlerine dayalı Realizable $k-\varepsilon$ modeli ve LES modeli kullanılmıştır. Serbest su yüzünün profili VOF yöntemi ile belirlenmiştir. Hesaplama ağ yapısının, sayısal çözümler üzerindeki etkisini incelemek üzere, Ağ Yakınsama İndeksi (GCI) ölçütü olarak kullanılmış ve hesaplama hatasının % 2'nin altında kaldığı tespit edilmiştir. Deneysel ölçümler ile yapılan karşılaştırmalardan, Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modelinin LES modeline göre hız profillerini daha başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür. Kanal boyunca su yüzü profilinin belirlenmesinde ise bu çalışmada kullanılan modeller oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ikinci yazarı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından yurtiçi doktora bursiyeri olarak desteklenmektedir. İkinci yazar TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkürlerini sunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Van Balen, W., Blanckaert, K., Uijtewaal, W.S.J., 2010. Analysis of the Role of Turbulence in Curved Open-Channel Flow at Different Water Depths by Means of Experiments, LES and RANS, Journal of Turbulence, 11(12):1-34.
2. Azimi, H., Shabanlou, S., Salimi, M.S., 2014. Free Surface and Velocity Field in a Circular Channel along the Side Weir in Supercritical Flow Conditions, Flow Measurement and Instrumentation, 38: 108-115.
3. Kırkgöz, M.S., Aköz, M.S., Öner, A.A., 2008. Experimental and Theoretical Analyses of Two-Dimensional Flows Upstream of Broad-Crested Weirs, Canadian Journal of Civil Engineering, 35(9): 975-986.
4. Öner, A.A., Aköz, M.S., Kırkgöz, M.S., Gümüş, V., 2012. Experimental Validation of Volume of Fluid Method for a Sluice Gate Flow, Advances in Mechanical Engineering, 2012: 10.
5. Gümüş, V., Aköz, M.S., Kırkgöz, M.S., 2013. Experimental and Numerical Modeling of Submerged Hydraulic Jump Downstream of a Sluice Gate, Teknik Dergi, 24(2): 6379-6397.
6. Kırkgöz, M.S., Aköz, M.S., Öner, A.A., 2009. Numerical Modeling of Flow over a Chute

- Spillway, Journal of Hydraulic Research, 47(6): 790-797.
7. Ramamurthy, A.S., Qu, J.Y., Vo, D., 2006. VOF Model for Simulation of a Free Overfall in Trapezoidal Channels, Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE, 132(4): 425-428.
 8. Aydın, M.C., 2012. CFD Simulation of Free-Surface Flow over Triangular Labyrinth Side Weir, Advances in Engineering Software, 45(1): 159-166.
 9. Haun, S., Olsen, N.R.B., Feurich, R., 2011. Numerical Modeling of Flow over Trapezoidal Broad-Crested Weir, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 5(3): 397-405.
 10. Öner, A.A., Aköz, M.S., Kırkgöz, M.S., Gümüş, V., 2012. Experimental Validation of Volume of Fluid Method for a Sluice Gate Flow, Advances in Mechanical Engineering, 4:461708.
 11. Shih, T.H., Liou, W.W., Shabbir, A., Yang, Z., Zhu, J., 1995. A New $k-\epsilon$ Eddy Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows, Computers & Fluids, 24(3): 227-238.
 12. ANSYS., 2012. FLUENT Theory Guide, USA: ANSYS Inc.
 13. Hirt, C.W., Nichols, B.D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, Journal of Computational Physics, 39(1): 201-225.
 14. Chen, H.C., Patel, V.C., 1988. Near-Wall Turbulence Models for Complex Flows Including Separation, Aiaa Journal, 26(6): 641-648.
 15. Roache, P.J., 1998. Verification of Codes and Calculations, Aiaa Journal, 36(5): 696-702.
 16. Çelik, I.B., Ghia, U., Roache, P.J., Freitas, C.J., 2008. Procedure for Estimation and Reporting of Uncertainty due to Discretization in CFD Applications, Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme, 130(7).
 17. Kırkgöz, M.S., Ardiclioğlu, M., 1997. Velocity Profiles of Developing and Developed Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering, 123(12): 1099-1105.

Improving the Performance of Construction Projects by Employing Concurrent Engineering

Hilmi COŞKUN¹, Ercan ERDİŞ¹, Olcay GENÇ^{*1}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 01.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

In a construction project, various types of contractual agreements are applied. In many of these contract types the different parties, such as owners, architectural and engineering consultants, contractors, and users, are involved in different phase of project. This involvement of many stakeholders at different phases usually result dissatisfaction by these parties. Concurrent engineering concept can provide an answer to undesirable outcomes, such as increased project duration and reduced customer satisfaction, by providing an open platform for all involved stakeholders. In this study, the positive effects of concurrent engineering in construction projects from architects' point of view are investigated. A questionnaire survey was carried out among architects in Turkish industry. The sample of the study consist 97 respondents and it is a pilotstudie. The most likely benefit from applying the concurrent engineering is the reduction in project duration followed by reduced project cost overruns. The most important stakeholder for the success of project is the owner be either his/her involvement in preparation of specifications and plans or his/her interventions during construction. The difficulties encountered by the respondents in their previous projects and their relations to the expected project outcomes are also studied.

Keywords: Owner, Subcontractors, Customer satisfaction, Quality, Suppliers

Eşzamanlı Mühendislik İstihdamının İnşaat Projelerinin Performansına Etkisi

Öz

İnşaat projelerinde çeşitli sözleşmeler uygulanmaktadır. Bu sözleşme türlerinin çoğunda iş sahipleri, mimarlar, mühendisler ve müteahhitler gibi farklı taraflar projenin farklı aşamalarına dahil olurlar. Bir çok paydaşın farklı aşamalardaki dahiliyeti ise genelde bu paydaşların memnuniyetsizliği ile sonuçlanır. Eşzamanlı mühendislik kavramı tüm paydaşlar için açık bir platform sunarak, artan proje süresi ve yetersiz müşteri memnuniyeti gibi istenmeyen sonuçlar için bir çözüm sunabilir. Bu çalışmada, eş zamanlı mühendisliğin inşaat projelerine olumlu etkisi, mimarların bakış açısından araştırılmıştır. Türk inşaat endüstrisinde çalışan mimarlara bir anket uygulanmıştır. Çalışmanın örneklem sayısı 97 kişiden oluşup, pilot çalışma niteliğindedir. Eş zamanlı mühendisliğin en önemli faydası proje süresinde ve maliyetinde azalma olarak tespit edilmiştir. En önemli paydaş olarak, gerek plan ve şartnamelerin hazırlanmasına katkısı gerekse inşaat süresince bulunduğu müdahalelerle iş sahibi olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İş sahibi, Taşeronlar, Müşteri memnuniyeti, Kalite, Tedarikçiler

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Olcay GENÇ, olcay.genc@iste.edu.tr

1. INTRODUCTION

Concurrent Engineering (CE) is a systematic approach for the simultaneous and integrated design of products, process, and support services to fulfill the requirements of quality, cost, time, and user needs [1-10]. The means of CE were studied over a wide range in the literature [11-13]. Further developments have since been realized in the CE technique, and the methodology has been used in the fields of apparel [14], automotive industry [15], product development [16], chemical [17], and construction [4-12].

CE was described as tactical when the tools and techniques used and the organizational structure of the firm are considered. It was described as strategic when each and every phase of product is considered in parallel. CE was described as objective when the improvements of work performance are considered [13]. CE is affected by many factors, such as, parallel tasks, cross-functional teams, multi-disciplinary work groups, used quality control techniques (for example, QFD: Quality Function Deployment, SPC: Statistical Process Control, Taguchi, DFM: Design for Manufacture, DFA: Design for Assembly, and DFX: Design for Excellence), integrated Computer Aided Engineering (CAE), and design techniques for production [5,18-20]. In another study, however, the forces that affect CE were defined as tasks, teams, techniques, technology, time, and tools leading to "7T concept" [21]. Prasad [21,22] also placed CE on 8 basic principles, such as, early problem discovery, early decision-making approach, the systematic structuring of work, the spirit of teamwork, benefiting from information technologies, common understanding, a sense of ownership, and continuity of purpose.

Within the framework of concurrent engineering definition, the applicability of the concept in the Turkish construction sector and the tactic, strategic and objective perspectives of architects needed to be identified. The difficulties encountered by the architects are important to proceed in the construction process with the least hitches. The architects' points of view are important because

the process usually starts from them. In general, an owner wants something to be built then s/he consults usually with an architect for concept generation. An architect also involves in various stages of construction at different levels. Integration between many disciplines is crucial to get the construction jobs done properly. If the patterns in this process were identified correctly, then any bottlenecks and good applications could become obvious and these efforts in turn aid the construction process.

2. MATERIAL AND METHODS

A questionnaire was prepared and distributed to various regions of Turkey. The results from the architects are returned in paper form. In total, 97 (ninety-seven) questionnaires were returned. The answers are evaluated in basic statistical values, namely arithmetic averages and standard deviations. Since the main purpose is to identify difficulties or opportunities in getting better application of concurrent engineering, these metrics should well serve the purpose. These should provide the base for further investigations.

The questions are divided into two major groups; the first group contains the demographics and main attributes of the respondents; the second group is oriented to answer concurrent engineering issues. The statistical evaluations are also aimed to find any possible relationships between the attributes of respondents and their attitudes about concurrent engineering. This is done by grouping the answers for the question at a time and calculating the statistical values. The survey participants are finally asked to rank the disruptions caused by not implementing concurrent engineering from 1(one) as the most likely to 5(five) as the least likely.

3. GENERAL OBSERVATIONS

In this part of the study, the results will be evaluated.

When the question of "which of the following stakeholders have you had in your realized projects during the design phase of projects" is asked, the evaluation of answers is given in Table 1.

Table 1. The attended stakeholders during the design phase of the previous realized projects

Stakeholders	f (Yes)	St. Dev.
Owner	82	0,36
Civil Engineers	67	0,46
Users	65	0,47
Mechanical Engineers	39	0,49
Electrical Engineers	39	0,49
Subcontractors	38	0,49
Material Providers (Suppliers)	27	0,45
Occupational Health and Safety Specialist	8	0,28
Apartment / Complex Manager	5	0,22
Other	3	0,17

From Table 1, it is seen that in the design timeframe, architects are contacting many disciplines, as it should be. Owners and civil engineers are main players in the design process along with the architects. The role of customers and users may need a clarification in the table. In some projects, the land developer and users could be different such as retail stores and shopping malls.

When the question of “how many times the meetings were made with stakeholders in the design process of your previous projects” was asked, their responses were concluded as follows; once a week (44/97= %45); once in every two weeks (23/97= %24); during startup of design phase (16/97= %17); once during design phase (11/97= %11); there is no meeting (3/97= %3). Of course any two projects and their development could not be the same. Some projects are complex therefore requiring inputs from stakeholders every now and then. Meanwhile some projects are simple thus little inputs suffice. Therefore the given ratios essentially reflect the work undertaken by the architects. Since design process can be a tedious one it may require several changes back and forth between disciplines and stakeholders.

Following the question about the number of meeting during design process the surveyed people are asked about the participated groups in those meetings.

The Table 2 presents the participation ratios of some groups to design decision meetings. At the top row of the table, the total numbers of meetings are given as the same in the previous paragraph. The answers are broken down according to the type participated group, such as owner, civil engineer, mechanical engineers, and so. The bold numbers are the counted answers. These numbers are divided both to the number in each group and to the total answer number. The first percentage calculation is done considering the group answer while the percentage calculations in italic at the bottom rows are done considering whole questionnaire results (all 97 respondents' answers). According to Table 2 in weekly meetings, most of time the owner participates. Similarly in meetings, which held in every two weeks, mostly owners, civil engineers, and users participate. The owner mostly exists in the meeting regardless of how many times the meetings are held. According to the table, mechanical and electrical engineers participate about the same amount. An interesting point surfaces when we look at the mechanical and electrical engineers. The participation of these engineering groups are very high in weekly meetings but their participations become much less in other cases. The same can also be said about the participation of subcontractors.

When the question of “do you experience a demand for project modification during the implementation phase frequently” is asked, the results are obtained as follows: No, never happens: %5 (5/97); Yes, very rare: %18 (17/97); Yes, sometimes: %53 (52/97); Yes, very often: %24 (23/97). The requests for project changes after the design stage is completed are not unusual. These requests can be instigated from various reasons, such as soil conditions and unavailability of specified material.

Table 2. The major participated groups to design decision meetings

	Once a week (44/97=%45)	Once in every two weeks (23/97=%24)	During startup of design phase (16/97=%17)	Once during design phase (11/97=%11)	There is no meeting (3/97=%3)
Owner	36 (36/97=%37)	19 (19/97=%20)	16 (16/97=%16)	9 (9/97=%9)	2 (2/97=%2)
Civil Engineer	30 (30/97=%31)	16 (16/97=%16)	10 (10/97=%10)	9 (9/97=%9)	2 (2/97=%2)
Customers / Users	34 (34/97=%35)	13 (13/97=%13)	11 (11/97=%11)	7 (7/97=%7)	0 (0/97=%0)
Mechanical Engineers	18 (18/97=%19)	7 (7/97=%7)	6 (6/97=%6)	6 (6/97=%6)	2 (2/97=%2)
Electrical Engineers	18 (18/97=%19)	7 (7/97=%7)	7 (7/97=%7)	5 (5/97=%5)	2 (2/97=%2)
Subcontractor	20 (20/97=%21)	8 (8/97=%8)	7 (7/97=%7)	2 (2/97=%2)	1 (1/97=%1)

The respondents are asked the question of “do you experience changes that have been made without informing you in the project during the implementation.” The answers are as follows: No, never happens: %18 (17/97); Yes, very rare: %30 (29/97); Yes, sometimes: %38 (37/97); Yes, very often: %14 (14/97). These results indicate that changes to the project happen without notifying the architect. If we consider these results along with the previous question, we see that even the requests for changes occur very frequently, the implemented changes without notification do occur less frequently.

Following the previous questions, the subsequent question of “when you notice that your project is being implemented with some changes, what justification is given (you may select more than one)” is asked. The choices are arranged according to the calculated values of “yes” responses:

- ✓ (77) Request for changes by the owner,
- ✓ (37) Inapplicability of architectural details by the subcontractor,
- ✓ (24) The architectural design with the static project mismatch,
- ✓ (21) Unavailability of a material given in architectural plans,
- ✓ (17) The architectural plan does not contain enough detail,

- ✓ (16) Details in the architectural plans are vague,
- ✓ (11) The architectural design with the mechanical project mismatch,
- ✓ (10) The architectural design with the electrical project mismatch.

These answers indicate that the participation of owner in design phase and clarifying many grey areas during the preparation of plans are important to avoid subsequent changes during implementation as much as possible. Actually who requests the changes are somewhat related to the percentage of participants during the design phase. For example, owner participation is %85 in design phase (see Table 1) and %79 percent change orders originated from the owner. Similar things can be said about civil engineering, and subcontractors.

The survey participants are finally asked to rank the disruptions caused by not implementing concurrent engineering from 1(one) as the most likely to 5(five) as the least likely. The results are given in Table 3.

The letters next to the choices are showing the positions of choices in the questionnaire. According to the results in Table 3, the most likely outcomes are the increase in the project and the increase in the project cost. Reduced customer

satisfaction is the least likely outcome according to the results.

Table 3. Ranking the outcomes resulted by not implementing the concurrent engineering

	Average	St. Dev.
Increase in the project duration	2.45	1.24
Increase in the project cost	2.82	1.44
Decreased level of capacity and competitiveness of the firm	3.07	1.34
Lower quality production	3.12	1.48
Reduced customer satisfaction	3.53	1.36

4. RESULTS RELATED TO CONCURRENT ENGINEERING CONCEPTS

In this section, the questionnaire results are analyzed according to the expected outcomes if the concurrent engineering concepts are employed. The outcome of a project can be affected by many variables. The studied factors in this study are; (i) the frequency of meetings during design stage, (ii) implemented changes in design specifications, (iii) the activities performed by the respondents in their previous projects, and (iv) the difficulties encountered by the respondents in their previous projects.

4.1. The Relationships Between the Likely Outcomes of Projects and Frequency of Meetings During Design Stage

Figure 1 shows the effects of the frequency of meetings during design phase on the likelihoods of outputs resulted by not implementing the concurrent engineering. As seen, the project duration is likely to increase if meeting are less frequent. The project cost, however, tends to decrease with less number of held meetings during design. More meeting means that many bottlenecks are resolved during design so that problems are less occurred during the

implementation hence less likely for an increase in project duration. There is sharp contrast between choice “e” and choice “d”. Since no logical explanation could be given for these behaviors, better clarifications are left to future studies on this issue.

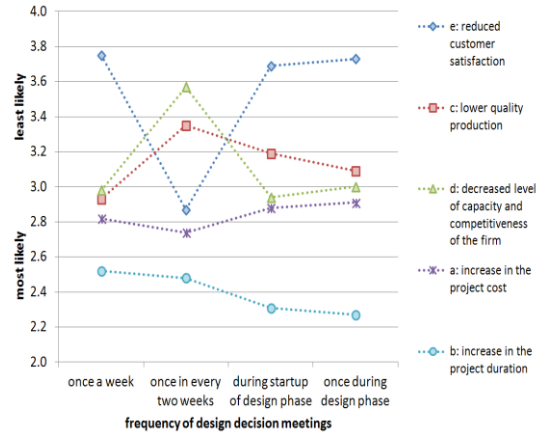


Figure 1. The relationship between frequency of design decision meetings and outcomes of projects

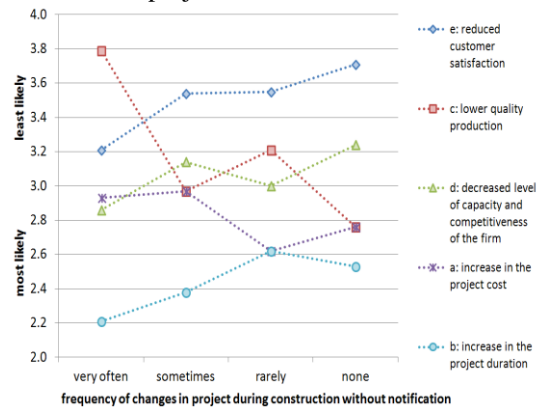


Figure 2. The relationship between frequency of change demand during construction and project outcomes

From Figure 2 it is seen that an increase the project cost and duration behave in opposite directions. For example, if there is no demand for a change during construction then project cost is less likely to increase while project duration is more likely to

increase. Additionally, in other cases for frequency for change demands during construction there are opposite behaviors for these two outcomes.

From Figure 2, the frequency for change demands during construction does not have a pronounced effect on quality and competitiveness. It is interesting to note that very often made demands for changes during construction is likely to increase project duration and less likely to an increase in project cost. If the choice “none” is put aside, it can be said that the less demand for change the less likelihood for an increase in project duration. But the less likelihood of an increase in project duration comes with a price; the more likelihood of an increase in project duration. The best solution could be interacting with other stakeholders only when needed which means change demand should be only at “sometimes” thus the output results with more customer satisfaction. From other point of view, the intervention during construction should only be when it is really necessary. The possible reasons for a change demand but not limited to are; owner request, production and technological requirements, mismatches between different project blueprints, and insufficiency in some project plans.

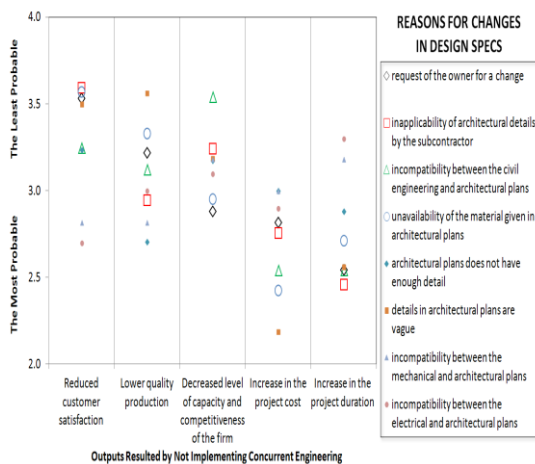


Figure 3. The relationship between frequency of changes in project during construction without notification and project outcomes

Having very frequent changes in project during construction without notification means there has been very little interaction or not enough thinking before construction or during design phase (see Figure 3). If all the possible issues are considered before construction begins then the requests for changes in project can be minimized. Frequent changes without notification can easily result reduced customer satisfaction along with an increase in project duration. One positive effect could be that the construction have less likely of low quality production.

4.2. The Relationships Between the Likely Outcomes of Projects and Implemented Changes in Design Specifications

In this section, the relationships between the likely outcomes when the concurrent engineering concepts are not applied and implemented changes in design specifications are given. For this analysis, the data is arranged in such a way that the outcomes related to concurrent engineering applications are sorted according to their values, namely from 1 to 5 for each and every case and the arithmetic means for those groups are calculated for all choices. The Figure 4 shows the results for each choice in the question of likelihood of an output if CE is not implemented.

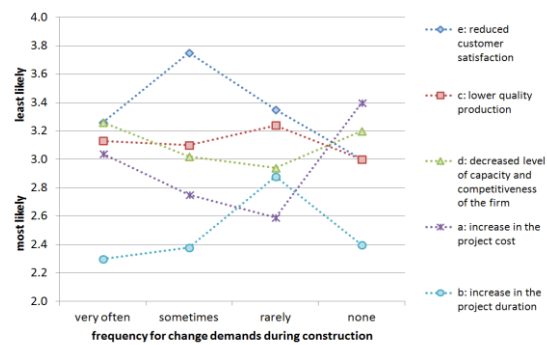


Figure 4. The relations between the likely outcomes resulted by not implementing concurrent engineering and the reasons for changes in design specifications

Incompatibility between the mechanical and mechanical with electrical plans and architectural plans greatly affects the customer satisfaction as the most likely cause. The causes for lower quality production may most likely stem from not having enough details in architectural plans, having incompatibility between the mechanical and architectural plans and inapplicability of architectural details by the subcontractor. The incompatibilities between the mechanical and electrical and architectural plans tend to have the similar effects on the outputs. Decreased level of capacity and competitiveness of the contractor firm is largely affected by request of the owner for a change and also by the unavailability of the material given in architectural plans.

The vagueness of details in architectural details, unavailability of the material specified in architectural plans, and incompatibility between the civil engineering and architectural plans are more likely to cause an increase in the project cost. The project duration is likely to increase because of the inapplicability of architectural details by the subcontractor, incompatibility between the civil engineering and architectural plans and vagueness of details in architectural plans. In other words, it can be said that vagueness of details in architectural plans likely to cause an increase in the project cost and duration. The unavailability of material specified in architectural plans likely to cause decreased level of capacity and competitiveness of the firm.

4.3. The Relationships Between the Activities Performed by the Respondents in Their Previous Projects and the Disruptions Caused by not Implementing Concurrent Engineering

The respondents are asked about which activities they performed in their previous projects. The results are given in Table 4.

According to Table 4, respondents mostly performed “the minimization of design changes before construction” and “adoption of a collaborative form of business” in their previous projects. In fact, the minimization of design changes before construction can be made possible by adopting a collaboration of various disciplines as seen from Table 4. The least performed activities are special management functions as shown in Table 4. These least performed activities, such as “b”, “c”, and “g” are generally related to managerial or organization structure. The changes in managerial structure are more radical than applying small steps toward concurrent engineering. In other words, there may be no need for formal and radical changes in managerial structure to appropriately apply concurrent engineering concepts.

The results about the activities performed by the respondents in their previous projects given in Table 4 reflect the general opinions of respondents. The relationships between the activities performed by the respondents in their previous projects and the outputs resulted by not implementing concurrent engineering are also investigated. For this purpose, the questionnaire results are grouped according to answers (0:’no’; 1:’yes’) in each choice for the question of efforts spent on previous projects. Then again for the "yes" group the arithmetic averages for the outputs caused by not implementing CE are calculated. The results are given in Figure 5.

According to Figure 5, the outputs resulted by not implementing CE are about in the same order as in Table 4. The increase in the project duration is the most likely and reduced customer satisfaction is the least likely output resulted by not implementing the CE. However, these outputs are in differing degrees are affected by the efforts spent in previous projects. The most considerable changes are observed about the choices of “lower

quality production” and “decreased level of capacity and competitiveness of the firm”.

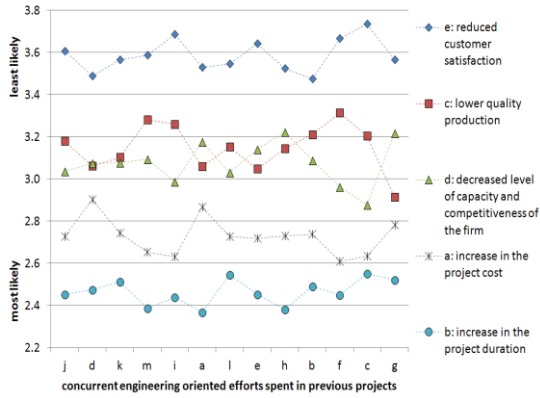


Figure 5. The relationship between efforts spent in previous projects and project outcomes

The most probable outcome is the increase in the project duration as shown in Table 4. This outcome is, however, aggravated by some efforts,

such as “m: lessons learnt”, “a: leader profile to promote managerial structure” and “h: development of computer based systems”, that seem more important than others. As an another example for those more important factors than others, “m”, “i”, “f” and “c” can be mentioned for the increase in the project cost outcome.

There is also another way to see the data in Figure 5 for possible improvements. For example, customer satisfaction is lessened by focusing on choices of “i: using new materials and technologies for the success of design and construction”; “f: creation of multi-disciplinary, cross-functional, and continuously-learning teams to bear full responsibility of new products from conceptualizing to manufacturing”; and “c: benchmarking the design and construction implementations of the last project or recent projects”.

Table 4. Performed activities in previous projects

		f of “YES”	St.Dev. of “YES”
j	The design changes before manufacturing/construction were minimized?	84	0,34
d	A collaborative form of business was adopted?	82	0,36
k	Activities of various disciplines involved in the project were integrated?	78	0,40
m	Processes to be used in product development projects were developed along with the lessons learned from previous phases and experiences?	75	0,42
i	For the success of design and manufacturing/construction, new materials and technologies were used?	73	0,43
a	A leader profile that provides the foundation and support for a change in the managerial structure was created?	68	0,46
l	Strategic relationships with material and component suppliers and subcontractors were established?	64	0,47
e	To manage the project, a general framework for concurrency was developed?	64	0,48
h	For the success of design and construction stages, appropriate computer-based systems (such as CAD / CAE / CAM software) were developed?	63	0,48
b	A preparatory work was included to understand and persuade this change in managerial structure?	57	0,49
f	To bear full responsibility of new products from conceptualizing to manufacturing, multi-disciplinary, cross-functional, and continuously-learning teams were created?	51	0,50
c	The design and construction implementations of the last project or recent projects were benchmarked based on competition?	49	0,50
g	To ensure parallelism and overlapping in design and construction activities, modern project management techniques which are based on POCCC (Planning, Organization, Coordination, Command, and Control) management functions were utilized?	46	0,50

The data in the figure is also commented as follows: Let us take choice “i” (*for the success of design and manufacturing/construction, new materials and technologies were used: Yes{1}/No{0}*) as an example. Spending less effort for this choice result reduced customer satisfaction quite probably. Meanwhile spending more effort for this choice results reduced customer satisfaction to be less likely. Thus it can be said that for more customer satisfaction, more efforts should be spent for this choice. In short, the efforts which cause reduced customer satisfaction most probably should be lessened. As an another example let us take choice “j” (*The design changes before manufacturing/construction were minimized: Yes {1}/No{0}*). As expected more efforts for this choice should cause less likelihood for reduced customer satisfaction. The results are found to be along this expectation.

4.4. The relationships between the difficulties encountered by the respondents in their previous projects and the disruptions caused by not implementing Concurrent Engineering

The best results can be achieved by focusing on the choices with likelihood is sorted from most to least. In some choices the results of less/little likelihoods and most/quite likelihoods are overlapping. Since these choices do not provide a clear picture of what should be done, these choices should be left aside. For example let us consider choice “i” (*for the success of design and manufacturing /construction, new materials and technologies were used: Yes{1}/No{0}*) and “m” (*processes to be used in product development projects were developed along with the lessons learned from previous phases and experiences: Yes{1}/No{0}*). If efforts were spent about them, there is no much difference for a change in quality production. Since there are thirteen choices as efforts performed in the previous projects more discussion can be done related to other outputs resulted by not implementing concurrent engineering.

The respondents are asked about the difficulties encountered during the implementation of concurrent engineering. The choices and results are given in Table 5.

Table 5 shows the possible difficulties encountered by the respondents while implementing the concurrent engineering. According to the table, the most important factor is the insufficient knowledge about the concurrent engineering against the implementation of CE. Hurdles related to teams and stakeholders are also present challenges in various degrees for the application of concurrent engineering.

The effects of these difficulties on the outcomes resulted by not implementing concurrent engineering is also investigated. The questionnaire results are grouped according to answers (from 1: ‘least important’ to 5: ‘most important’) in each choice for the question of difficulties encountered during the possible implementation of concurrent engineering. Then for each group the arithmetic averages for the outputs caused by not implementing CE are calculated. The results are given in Figure 6.

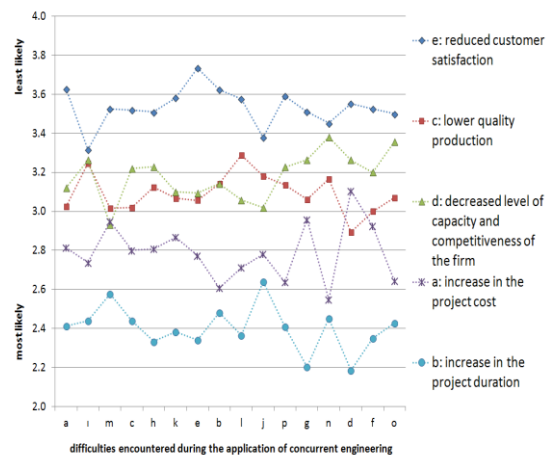


Figure 6. The relationship between difficulties encountered during the application of CE and project outcomes

Table 5. Ranking the difficulties encountered during the implementation of Concurrent Engineering according to importance: (1: least important; 5: most important)

		Average	St. Dev.
a	Insufficient knowledge about concurrent engineering concept	4.10	1.31
i	Lack of teamwork	3.75	1.26
m	Inadequacies of employees (skills, knowledge, personality, honesty, performance, and so on.)	3.69	1.26
c	In practice, the presence of a multi-disciplinary and transient organizational structure	3.62	1.10
h	Lack of participation of professional groups, which will be involved in implementation, to the design team as a result of separation of design and manufacturing phases in projects	3.62	1.19
k	Non-developed culture of information sharing and ideas between stakeholders in concurrent engineering	3.61	1.12
e	Consistence of the performed work from the successive and inter-dependent tasks	3.58	1.22
b	The lack of support from top management	3.58	1.28
l	Attitudes and behavior of owner (such as, changes in production lineage and specification, and failure in doing timely payments)	3.53	1.28
j	Uninformed and sudden changes in the project teams	3.44	1.27
p	Absence of a common database that include important decisions about the projects and that the factors affecting these decisions	3.38	1.28
g	The lack of participation of the customer to the design process	3.33	1.30
n	Mistrust, fear and the habit of not saying about the mistakes among the people who worked in the project during both the design and the construction phases	3.20	1.36
d	The production type of organization (mass production or custom-made production and such)	3.18	1.23
f	Insufficient use of computer technology in design, manufacturing, and sharing all kinds of information	3.16	1.28
o	The cultural problems among the professional groups of the project	2.84	1.31

According to Figure 6, customer dissatisfaction can be reduced by focusing on choice “e: consistence of the performed work from the successive and inter-dependent tasks”. On the other hand, lack of teamwork (choice i) and uninformed and sudden changes in the project teams (choice j) have an adverse effect on customer satisfaction.

The increase in project duration becomes more likely if choices “g” and “d” are stressed out. These choices are the lack of participation of the customer to the design process and the production type of organization (mass production or custom-made production and such). On the other hand, paying more attention to choices “m” and “j” may

result positive impact on project duration. These choices are inadequacies of employees (skills, knowledge, personality, honesty, performance, and so on) and uninformed and sudden changes in the project teams.

For the purpose of completing the project within the budget, from the figure it can be said that: the difficulties of choices “m”, “g”, and “d” should be tackled. On the other hand, if the difficulties of choices “b”, “p”, “n”, and “o” are not given enough importance then the increase in project cost becomes more likely.

These analyses should provide the emphasis areas to achieve the improvements toward the desired

output, such as, reduced project time or lowered project cost.

5. CONCLUSIONS

Concurrent Engineering provides the necessary design and production details about all requirements in construction works. Therefore, in this paper, concurrent engineering approach in terms of architects' tactical, strategic and objective viewpoints are studied. According to the analysis results, inadequate top management support, inadequate staff training and team work, failure of the stakeholders involved in the process of project design decisions and the lack of effective exchange of information between departments precluded the use of CE in construction industry widely. In addition, it can be said that concurrent engineering approach should include owner, engineers, material producers, contractors, subcontractors and similar other sector representatives.

The overall result deduced from this study is that the construction companies do not have an adequate approach to concurrent engineering concepts. The many parties involved in the sector have adopted primarily the approaches to keep their existing places (statuesque). Starting from this point on, in future studies, a model, which helps to implement a concurrent engineering approach for the construction companies, will be prepared. Also in future studies, additional surveys among the professions other than architecture will be done. With that kind of information it could be possible to correlate the problem areas. For example an architect may see a weekly meeting is sufficient however for a contractor it may not be enough or a contractor may want to involve from the concept development phase. It can be said that the increased awareness about concurrent engineering in the sector with the experiences and the knowledge about existing practices help to improve on project outcomes such as, duration, budget and quality.

6. REFERENCES

1. Winner, R.I., 1988. The Role of Current Engineering in Weapons System Acquisition, Institute for Defence Analyses, Report R-388, December.
2. Cleetus, K.J., 1992. Definition of Concurrent Engineering. CERC (Concurrent Engineering Research Center) Technical Report Series, Research Notes, CERC-TR-92003, West Virginia University.
3. Anumba, C.J., Evbuomwan, N.F.O., 1997. Concurrent Engineering in Design-Build Projects. *Construction Management and Economics*, 15(3): 271-281.
4. Love, P., Gunasekaran, A., 1997. Concurrent Engineering in the Construction Industry, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 5(2): 155-162.
5. Brookes, N.J., Backhouse, C.J., 1998. Understanding CE Implementation: A Case-Study Approach, 36(11): 3035-3054.
6. Love, P., Gunasekaran, A., Li, H., 1998. Concurrent Engineering: A Strategy for Procuring Construction Projects. *International Journal of Project Management*, 16(6): 375-383.
7. Anumba, C. J., Baldwin, A. N., Bouchlaghem, D., Parasad, B., Cutting-Decelle, A. F., Dufau, J., Mommessin, M., 2000. Integrating Concurrent Engineering Concepts in a Steelwork Construction Project. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 8(3): 199-212.
8. Kamara, J.M., Anumba, C.J., Evbuomwan, N. F.O., 2000. Establishing and Processing Client Requirements-A Key Aspect Concurrent Engineering in Construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(1): 15-28.
9. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Siemieniuch, C.E., Sinclair, M.A., 2001. Readiness Assessment of the Construction Supply Chain for Concurrent Engineering. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2): 141-153.
10. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., 2001. Development of a Readiness Assessment

- Model for Concurrent Engineering in Construction. Benchmarking: An International Journal. 8(3): 223-239.
11. De la Garza, J. M., Alcantara, P., Jr., Kapoor, M. and Ramesh, P.S., 1994. Value of Concurrent Engineering for A/E/C Industry. *J. Manage. Eng.*, 10(3): 46-55.
 12. Sekerci, B., 2008. Eszamanlı Muhendislik Kavramının Turk Insaat Sektorunde Uygulanabilirlik Duzeyinin Irdelenmesi, Cukurova Universitesi Fen Bilimleri Enstitusu Yuksek Lisans Tezi (Turkish), 142p, M.S. Thesis, Adana, Turkey.
 13. Shouke, C., Zhuobin, W. and Jie, L. 2010. Comprehensive Evaluation for Construction Performance in Concurrent Engineering Environment. *International Journal of Project Management*, 28(7): 708-718.
 14. Doris, H.K., Cynthia, R., Fay, Y.G., 2007. Concurrent Engineering for Product Development in Mass Customization for the Apparel Industry, *International Journal of Operations & Production Management*, 27: 627-649.
 15. Sapuan, S.M., Osman, M.R., Nukman, Y., 2006. State of the Art of the Concurrent Engineering Technique in the Automotive Industry, *Journal of Engineering Design*, 17: 143-157.
 16. Hong, Suk-Ki and Marc, J.S., 2000. Balancing Concurrent Engineering Environmental Factors for Improved Product Development Performance, *International Journal of Production Research*, 38: 1779-1800.
 17. Paulien, M.H. and Margot, P.C.W., 2000. A Concurrent Engineering Approach to Chemical Process Design, *International Journal of Production Economics*, 64: 311-318.
 18. Meyer, B., 1990. Sequential and Concurrent Object-Oriented Programming, *Technology of Object-Oriented Languages and Systems*, 17-28.
 19. Shina, S.G., 1991. Concurrent Engineering: New Rules for World Class Companies, *IEEE Spectrum*, 28(7): 22-26.
 20. Yang Ching-Chow, Chen Shun-Hsing, Shiau Jiun-Yan., 2006. A DFX and Concurrent Engineering Model for the Establishment of a New Department in a University, *International Journal of Production Economics*, 107: 179-189.
 21. Prasad, B., 1996. *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organizations*, Volume I., 478p, Prentice Hall PTR, New Jersey.
 22. Erdiş, E., Coskun, H., Genc, O., 2015. Architects' View of Concurrent Engineering in Construction Projects. *International Journal of Thales Engineering Sciences*, 1:1, 1-15.

Kare Temeller Altında Gerilme ve Taşıma Gücü Analizi

Yakup TÜREDİ*¹, Murat ÖRNEK¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 01.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, gevşek kum zemine oturan 4 farklı model kare temel altında meydana gelen düşey gerilme artışları ve taşıma gücü değişimleri deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. İlave düşey gerilme artışları 4 farklı derinlikte (12,5 cm, 25 cm, 37,5 cm ve 50 cm) yerleştirilen gerilme ölçer ile ölçülmüştür. Deneysel sonuçları, Newmark yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yük-oturma değerleri ise yük hücresi ve deplasman ölçerler vasıtasıyla elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, deneysel ve teorik sonuçlar arasında bir uyum olduğu gözlenmiştir. Ayrıca temel oturum alanı arttıkça taşıma gücü değerleri de artmıştır.

Anahtar Kelimeler: İlave düşey gerilme, Taşıma kapasitesi, Kare temel, Gevşek kum

Stress and Bearing Capacity Analyses under Square Footings

Abstract

In this study, the vertical stress and the bearing capacity values occurred under four different sized model square footing rested on the loose sand were investigated experimentally and theoretically. The vertical stresses were measured with transducer placed at the four different depths (12.5 cm, 25 cm, 37.5 cm ve 50 cm). The test results were compared with theoretical Newmark Method results. And also the load-settlement curves were obtained with load cell and displacement transducer. The model tests were conducted in the Geotechnical Laboratory of Civil Engineering Department of Iskenderun Technical University. It is showed that the model test results are compatible with the theoretical results. Also the bearing capacity increases with increase in the footing area.

Keywords: Vertical stress, Bearing capacity, Square footing, Loose sand

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Yakup TÜREDİ, yakup.turedi@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Gerek zemin tabakalarının kendi ağırlıklarından gerekse de uygulanan dış yükler altında zemin içinde gerilmeler oluşmaktadır. Gerilmeler uygulanan yükün şiddetine ve yükün uygulandığı alanın boyutlarına bağlı olarak değiştiğinden, gerilme dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir.

Zeminler, homojen ve izotrop olmayan malzemelerdir. Zeminlerin çok karmaşık bir yapıları olması; özellikle çevre koşullarına, jeolojik tarihçesine ve zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiğinden, zemin içerisinde gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle Elastisite Teorisi kullanılırken şu kabuller yapılmaktadır. i) Zemin elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır. ii) Zemin ortamı homojendir. iii) Zemin ortamı izotrop ve yarı sonsuzdur [1].

Keskin ve arkadaşları [2] tarafından kum zemin üzerine oturan kare temellerden oluşan ilave düşey gerilmeler deneysel ve sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar literatürde yer alan Boussinesq yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, belirli derinlik seviyelerinde deneysel, sayısal ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum gözlenmiş ve derinlik arttıkça ölçülen gerilme değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.

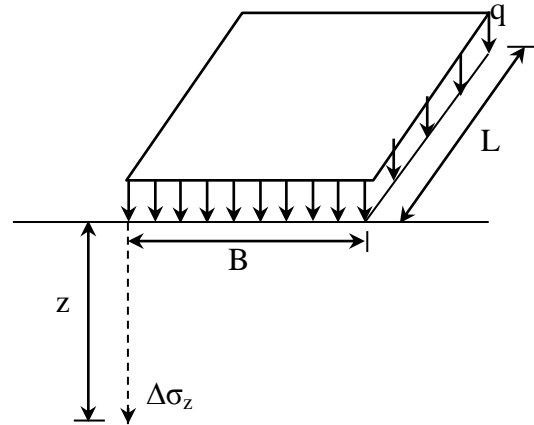
Bağrıaçık ve Laman [3] tarafından, donatısız ve geogrid donatılı kum zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zeminde meydana gelen ilave düşey gerilme davranışları araştırılmıştır. Sonuç olarak; farklı geometrilerdeki temellerde şekil etkisinin önemli mertebelerde olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular sonucunda, geogrid donatılı kum zemin olması durumunda yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin, donatısız duruma göre, yaklaşık %27 oranında azaldığı görülmüştür.

Yodsang ve arkadaşları [4] tarafından lös zemine oturan radye temeller altında oluşan gerilme

dağılımları arazi deneyi ve sayısal model ile araştırılmıştır. Ayrıca, gerilme değerleri üç farklı sayısal analiz yöntemi ile tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, sayısal yöntemlerin daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Literatürde farklı zemin ve temel türünde meydana gelen ilave düşey gerilmelerin tahmini ve tespiti, deney düzenekleri ve teknikleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [5-18].

Boussinesq [12] ifadesi L uzunluğunda ve B genişliğindeki q üniform yükü ile yüklenmiş dikdörtgen bir alanın altında oluşan gerilmelerin belirlenmesinde kullanılabilir. Dikdörtgen alanın bir köşesi altında ve z derinliğindeki bir noktada oluşan ilave düşey gerilme $\Delta\sigma_z$ Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Üniform yüklü dikdörtgen alanın bir köşesi altında gerilme artışı

İlave düşey gerilme, Newmark [19] tarafından Boussinesq [11]’in tekil yük ifadesinin integrasyonu ile,

$$\Delta\sigma_z = qI_r \quad (1)$$

Burada I_r etki faktörü ise aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$I_r = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \left(\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} \right) \right] + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \quad (2)$$

ifadede $m=B/z$ ve $n=L/z'$ dir.

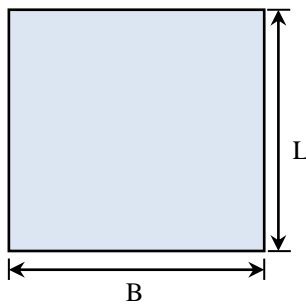
Bu çalışmada, gevşek kum zemine oturan 4 farklı kare 30 cm x 30 cm (6B x 6B), 25 cm x 25 cm (5B x 5B), 20 cm x 20 cm (4B x 4B) ve 15 cm x 15 cm (3B x 3B) model temel altında meydana gelen ilave düşey gerilme ve taşıma gücü davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. İlave düşey gerilme artışları 4 farklı derinlikte (2,5B, 5,0B, 7,5B ve 10,0B) ve her bir derinlik için yatayda temelin merkezi 0,0B, 3,0B ve 6,0B konumlarında gerilme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yük-oturma değerleri de elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada toplam 16 adet model deney yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Model deneyler, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

2.1. Model Temeller

Deneylerde kullanılan kare temellere ait ölçüler Çizelge 1'de verilmiştir. Şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir [17]. Genişlik 5cm için B cinsinden ifade edilerek temeller bu şekilde kategorize edilmiştir (Çizelge 1).



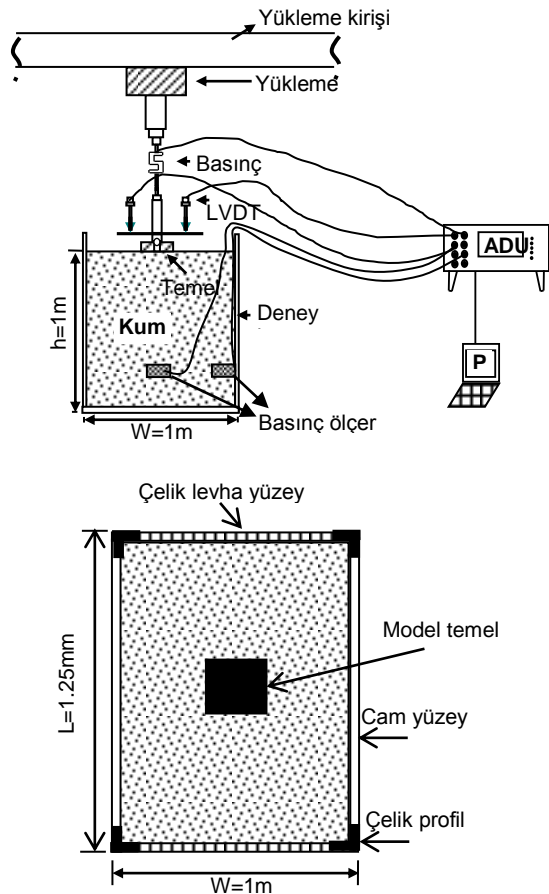
Şekil 2. Model temel

Çizelge 1. Model temellerin boyutları

K ₁ (6B)	K ₂ (5B)	K ₃ (4B)	K ₄ (3B)
BxL(cm ²)	BxL (cm ²)	BxL (cm ²)	BxL (cm ²)
30x30	25x25	20x20	15x15

2.2. Deney Kasası ve Düzenegi

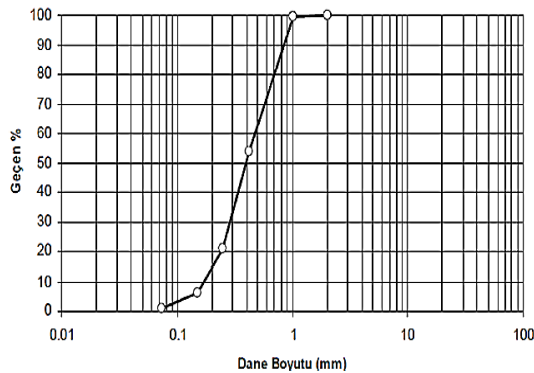
Model deneyler, ebatları 125 cm x 100 cm x 100 cm (uzunluk, genişlik, derinlik) olan dikdörtgen kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzü 10 mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban ise 3 mm kalınlığındaki metal malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan yükleme düzenegi

2.3. Deney Kumunu

Çalışmalarda, Ceyhan nehir yatağından çıkarılan kum numuneler kullanılmıştır. Kum numune, ASTM standartlarına göre elenip yıkanarak ve uygun bir alana serilerek oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kuma ait dane çapı dağılımı Şekil 4'te ve elek analizi, kesme kutusu, sıklık ve piknometre deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 2. Deney kumunun mühendislik özellikleri

Özellik	Değer
İri kum yüzdesi (%)	0,00
Orta kum yüzdesi (%)	65,00
İnce kum yüzdesi (%)	35,00
D ₁₀ (mm)	0,13
D ₃₀ (mm)	0,28
D ₆₀ (mm)	0,58
Üniformluk katsayısı, C _u	4,46
Derecelenme katsayısı, C _c	1,04
Özgül ağırlık	2,72
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)	17,11
Minimum kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)	15,44
Kohezyon, c (kPa)	0,00
İçsel sürtünme açısı, φ (derece)	36,00
Zemin sınıfı (USCS)	SP

2.3. Basınç Ölçer

Uygulamalarda yüklemeler S-tipi yük ölçer (2000 kg kapasiteli) ve deplasmanlar ise LVDT deplasman ölçerler (10cm kapasiteli) ile ölçülmüştür. Zeminde meydana gelen düşey

gerilmeleri ölçmek amacıyla 2000 kg kapasiteli gerilme ölçer kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Gerilme ölçer

2.1. Deney Yöntemi

- Deney kasasının içine yerleştirilen kumun yüzeyi su terazisi ile kontrol edildikten sonra gerilme ölçer yerleştirilmiştir.
- Daha sonra, gevşek durum için $\gamma_k=17,11 \text{ kN/m}^3$ olacak şekilde kasa içerisine beşer santim tabakalar halinde kum zemin yerleştirilmiştir.
- Düzeltilen kum zemin üzerine model temel plakası aynı şekilde teraziye alınarak yerleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Model temel plakasının yerleştirilmesi

- Deney sırasında yükleme hızı sabit tutulmuştur.
- Her yükleme kademesinde oluşan gerilmeler, 16 kanal girişli ADU (Autonomous Data Unit) veri işleme cihazından okunarak sayısal hale dönüştürülmüştür. Veri işleme ünitesinden

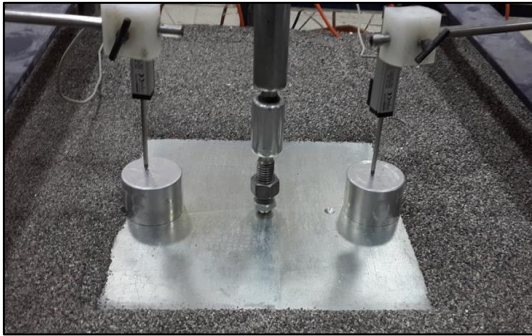
bilgisayara aktarılan değerler Geotechnical Software Ds7 yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Daha sonra da okumalar bilgisayarda Excel programıyla düzenlenerek grafik olarak sunulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

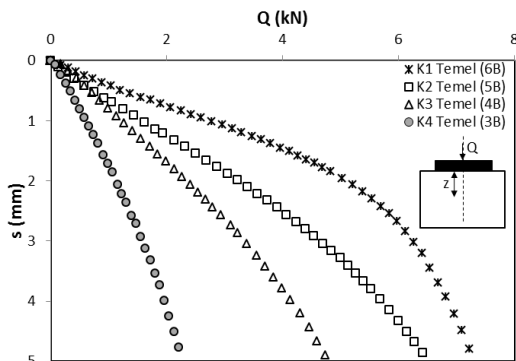
Çalışmada, gevşek kum zemine oturan 4 farklı model temel (K_1 , K_2 , K_3 ve K_4) dört farklı derinlik (2,5B, 5,0B, 7,5B ve 10,0B) için ilave düşey gerilme ve yük-oturma değerleri incelenmiştir. Her bir derinlik için yatay doğrultularda (temelin merkezi ile temelin merkezinden 3,0B ve 6,0B uzaklıktaki konumlarında yerleştirilen) gerilme değerleri elde edilmiştir.

3.1. Yük-Oturma İlişkisi

Yüklemeye düzeneği Şekil 7'de verilmiştir. Yük-oturma eğrileri ise grafik olarak Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 7. Yüklemeye düzeneği

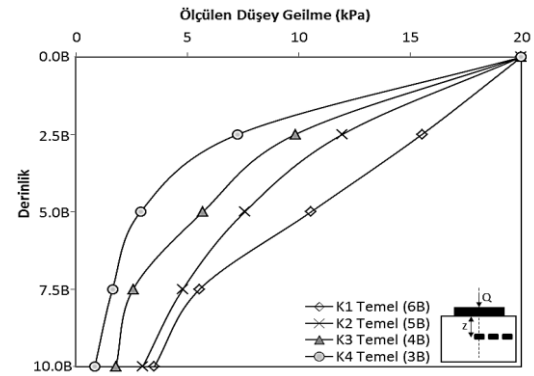


Şekil 8. Yük-oturma ilişkisi

Şekil 8'den de görüldüğü gibi, model temel boyutu arttıkça taşıma kapasitesi artmaya başlamıştır. 5 mm deplasman için taşıma yükü değerleri K_1 , K_2 , K_3 ve K_4 (6B x 6B, 5B x 5B, 4B x 4B ve 3B x 3B) temelleri için yaklaşık olarak sırasıyla 7.300 kN, 6.570 kN, 4.800 kN ve 2.280 kN değerleri olarak elde edilmiştir. Temel genişliğinin 3B'den 6B'ye artmasıyla taşıma gücünde ortalama %70 artış meydana gelmiştir.

3.2. İlave Düşey Gerilme Artışları

Dört farklı model temel için 20 kPa'lık uygulanan düşey gerilme (q) altında ölçülen gerilme değerleri 4 farklı derinlik için Şekil 9'da sunulmuştur.

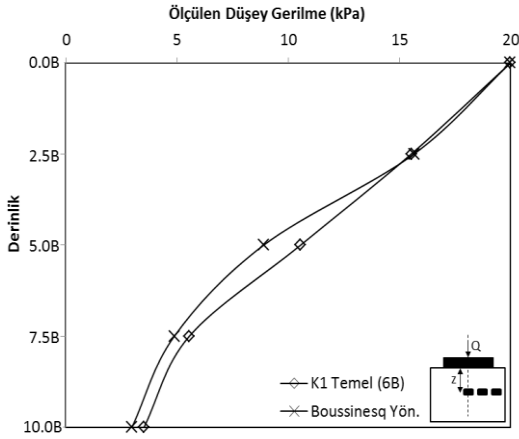


Şekil 9. Düşey gerilme dağılımı (20 kPa)

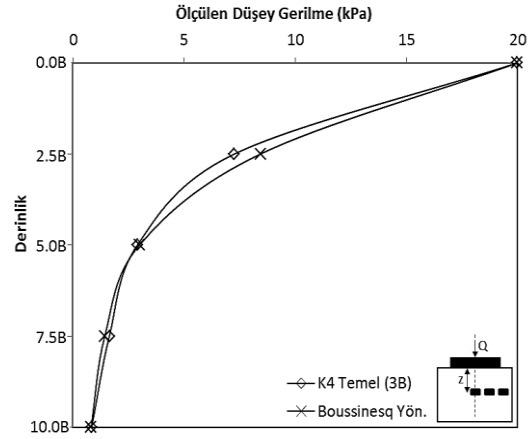
Şekil 9'da sunulan grafik incelendiğinde derinlik arttıkça tüm temeller için gerilme değerleri azaldığı görülmüştür. Örneğin, 5B derinlikte yüzeye göre bütün temellerde (K_1 , K_2 , K_3 ve K_4) sırasıyla yaklaşık %48, %63, %72 ve %85 mertebelerinde azalmalar görülmektedir.

3.2. Literatür Karşılaştırması

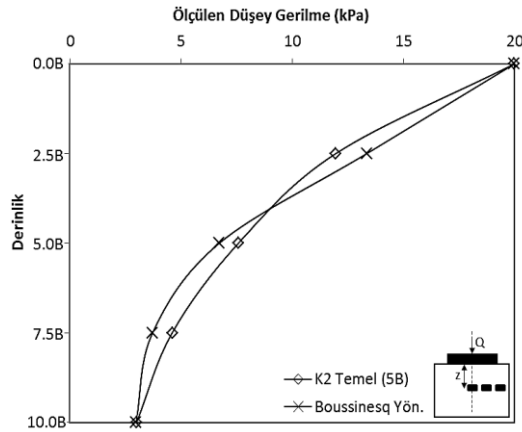
Uygulanan gerilmenin 20 kPa olması halinde, test sonuçları ile Boussinesq yöntemi ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar grafik olarak sunulmuştur (Şekil 10-13).



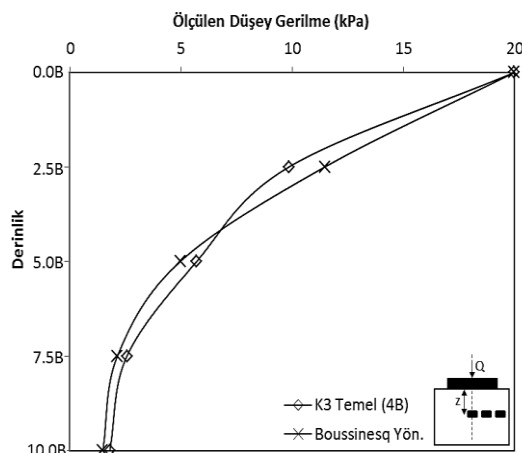
Şekil 10. K₁ temeli



Şekil 13. K₄ temeli



Şekil 11. K₂ temeli



Şekil 12. K₃ temeli

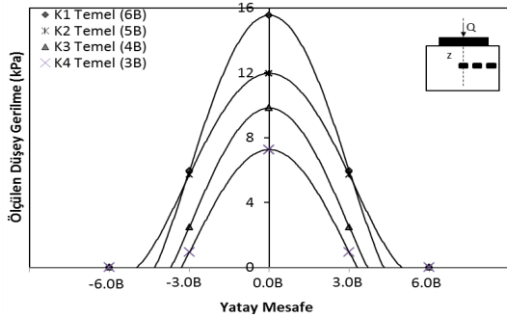
Şekil 10-13 incelendiğinde, 4 farklı kare temel boyutunda da grafik sonuçlarının benzer eğilim gösterdiği ve bazı derinliklerde hemen hemen aynı sonuçlar verdiği görülmektedir. 5B derinlikte deney ve teorik sonuçları için uygulanan gerilme (q) ve ilave düşey gerilme ($\Delta\sigma_z$) değerleri aşağıdaki Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 5B derinlik için literatür karşılaştırması

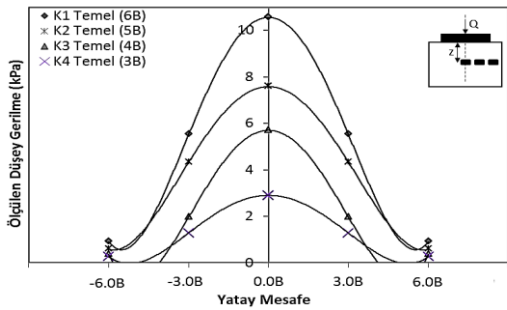
Temel	Yöntem	q (kPa)	$\Delta\sigma_z$ kPa)
K ₁ temel (6B)	Deney	20	10.560
	Boussinesq		8.900
K ₂ Temel (5B)	Deney	20	7.583
	Boussinesq		6.270
K ₃ Temel (5B)	Deney	20	5.700
	Boussinesq		4.960
K ₄ Temel (5B)	Deney	20	2.900
	Boussinesq		2.992

3.3. Yatay Mesafede İlave Düşey Gerilmeler

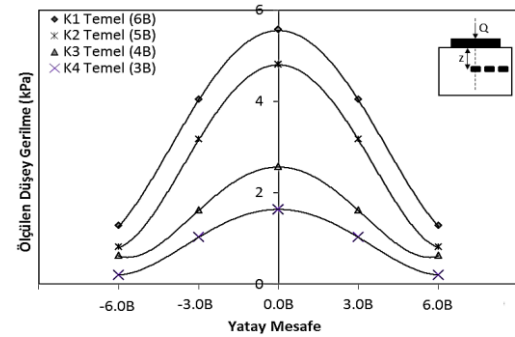
Bu bölümde 4 farklı derinlikte (2,5B, 5,0B, 7,5B ve 10,0B) ve 20 kPa uygulanan gerilme altında her bir temel için yatay mesafelerde oluşan gerilme değerleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 14-17'de sunulmuştur.



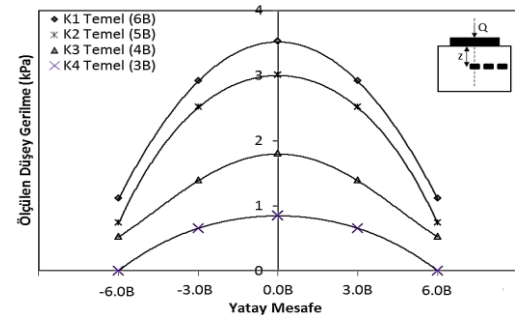
Şekil 14. 2,5B derinlik



Şekil 15. 5,0B derinlik



Şekil 16. 7,5B derinlik



Şekil 17. 10,0B derinlik

Grafiklerden de görüleceği üzere 4 farklı temel için de en yüksek gerilme değerleri temellerin merkezi altındaki derinliklerde meydana gelmiştir. Merkezden uzaklaştıkça gerilme değerleri azalmıştır. Örneğin 10,0B derinlik için ölçülen düşey gerilme değerleri 0,0B mesafede 3,0B mesafeye göre sırasıyla (K1, K2, K3 ve K4) %69, %76, %71 ve %84 oranlarında azalmıştır. Ayrıca grafikler incelendiğinde derinlik arttıkça yatay mesafedeki gerilme değerleri de azaldığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gevşek kum zemine oturan 4 farklı kare (6B x 6B, 5B x 5B, 4B x 4B ve 3B x 3B) model temel altında meydana gelen ilave düşey gerilme ve taşıma gücü davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Ayrıca yük-oturma değerleri de elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Araştırma verilerine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Temel boyutunun artmasıyla birlikte taşıma gücü değeri de artmıştır.
- Temel genişliğinin iki katına çıkması ile birlikte 5mm deplasman değeri için K_1 temel (6B) 7,3 kN yük taşıırken K_4 temeli (3B) 2,28 kN yük taşımaktadır. Yaklaşık olarak %70'e varan taşıma gücü artışları meydana gelmiştir.
- Belirli bir uygulanan gerilme (q) altında ölçülen düşey gerilme ($\Delta\sigma_z$) değerlerinde şekil etkisi olduğu görülmüştür. Ölçülen gerilmeler ($\Delta\sigma_z$) ise boyutlara göre $\Delta\sigma_{K1} > \Delta\sigma_{K2} > \Delta\sigma_{K3} > \Delta\sigma_{K4}$ olarak sıralanmıştır. Örneğin 5,0B derinlikte $\Delta\sigma_{K1} = 10,560 \text{ kPa} > \Delta\sigma_{K2} = 7,58 \text{ kPa} > \Delta\sigma_{K3} = 5,70 \text{ kPa} > \Delta\sigma_{K4} = 2,90 \text{ kPa}$ olmaktadır.
- İlave düşey gerilme değeri 4 farklı temel türünde derinlik arttıkça azalmaktadır.
- Deneysel sonuçlar teorik sonuçlar ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Yatay mesafelerde en büyük gerilme değerleri temellerin merkezi altına yerleştirilen gerilme

ölçerlerden elde edilmiştir. Merkezden uzaklaştıkça değerler azalmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Uzuner, B.A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 376.
2. Keskin, M.S., Laman, M., Baran, T., 2008. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi, İMO Teknik Dergi, 4521-4538.
3. Bağrıaçık, B., Laman, M., 2011. Donatısız ve Donatılı Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilmelerin Değişimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 26, No 4, 787-800.
4. Yodsa-nga, P., Gasaluck, W., Punrattanasin, P., 2012. Stress Distribution in Khon Kaen Loess under Spread Footing, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, 3753-3769.
5. Terzaghi, K., 1920. Old Earth Pressure Theories and New Test Results. Engrg, News-Rec., 85 (14), 632-637.
6. Hendron, A.J., 1963. The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression, Ph.D. Thesis, University of Illinois, USA.
7. Sağlamer, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. Keskin, M.S., 2004. Zeminlerde Oluşan İlave Düşey Gerilmelerin Değişik Yöntemlerle İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
9. Bağrıaçık, B., 2010. Zeminlerdeki Gerilme Durumlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
10. Boussinesq, J., 1885. Application des Potentiels a L'etude de L'equilibre et du Movement des Solids Elastiques, Gauthier-Villars, Paris.
11. Westergaard, H.M., 1938. A Problem of Elasticity Suggested by a Problem in Soil Mechanics, Soft Material Reinforced by Numerous Strong Horizontal Sheets, Contributions to the Mechanics of Solids, S. Timoshenko 60th Anniversary Volume, Newyork-Mac Millan.
12. Yang, K.H., Zornberg, J.G., Liu, C.N., Lin, H.D., 2012. Stress Distribution and Development within Geosynthetic-Reinforced Soil Slopes, Geosynthetics International, 19 (1), 62-78.
13. Hazzard, J.F., Yacoub T.E., Vijayakumar S., Curran, J.H., 2007. Stresses Under Footings in Multilayered Soils: A Comparative Study, Bearing Ground in the Nation's Capital, Ottawa.
14. Bhaskar, D.R.C., Shukla, S.J., Dinesh, S., 2015. A Numerical Study of Foundation Depth on Contact Stresses and Settlements for Various Sub Soils, 50th Indian Geotechnical Conference 17th – 19th December 2015, Pune, Maharashtra, India.
15. Kayadelen, C., 2005. Investigation of Lateral Earth Pressures in K_0 Condition for Unsaturated Fine Grained Soils, PhD Thesis, Cukurova University, Adana.
16. Newmark, M., 1935. Simplified Computation of Vertical Pressures in Elastic Foundations, Circular no: 24, Engng. Expt. Station, Univ. of Illinois.
17. Türedi, Y., 2015. Farklı Yükleme ve Geometri Koşullarında Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Yangın Direnci

Cahit BİLİM*¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Çalışmada, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonrasındaki eğilme ve basınç mukavemetleri Portland çimentolu kontrol harcı ile kıyaslanmıştır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun, ağırlıkça %100 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanıldığı çalışmada, harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0,5 ve kum/bağlayıcı oranı 3,0 olmuştur. Cürufun aktivasyonunda, ağırlıkça cüruf miktarına göre %4, %6 ve %8 Na konsantrasyonlarındaki sıvı sodyum silikattan yararlanılmış olup, karışımlar içerisinde 0,75, 1,0, 1,25 ve 1,5 gibi farklı silikat modülleri ($M_s=SiO_2/Na_2O$) elde edebilmek amacıyla sıvı sodyum silikat, sodyum hidroksit ile beraber karıştırılmıştır. Ulaşılan bulgulardan, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının yangına karşı direncinin Portland çimentolu kontrol harcından daha iyi olduğu ve harçların yüksek sıcaklıklara karşı direncinin, uygulanan soğutma metodu ile sıcaklık seviyesine bağlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alkali aktive edilmiş harç, Mukavemet, Yüksek sıcaklık, Sıvı sodyum silikat

The Fire Resistance of Alkali-Activated Slag Mortars

Abstract

In this study, the compressive and flexural strength of alkali activated slag mortars subjected to high temperatures were investigated, and the results obtained from the tests were compared with the control mortar. In the experiments, sand and water quantities were kept constant throughout the tests. Water/binder and sand/binder ratios were 0.5 and 3.0, respectively. Ground granulated blast furnace slag was used at 100% replacement by weight of cement in the tests. For slag activation, liquid sodium silicate at 4%, 6% and 8% Na dosages was used, and liquid sodium silicate and sodium hydroxide were blended to obtain 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50 modulus ratio of SiO_2/Na_2O . The findings showed that the fire resistance of alkali activated slag mortars were better than mortar with Portland cement. Additionally, the resistance of mortars to high-temperatures seemed to be dependent on temperature level and the cooling method.

Keywords: Alkali activated slag, Strength, High temperature, Liquid sodium silicate

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Cahit BİLİM, cbilim@mersin.edu.tr

1. GİRİŞ

Üretim maliyetlerini azaltmasının yanı sıra, betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı, günümüz beton teknolojisinde mineral katkıların kullanımı geniş bir yer tutmaktadır. Kullanılan bu mineral katılardan birisi de, demir-çelik fabrikalarında pik demirin üretimi sırasında meydana gelen amorf yapıdaki granüle yüksek fırın cüruflarıdır.

İnce öğütülmüş formda puzolanik özellik gösteren granüle yüksek fırın cürufları, çimento endüstrisinde cürufllu çimento imalinde ya da normal Portland çimentosu (NPC) ile kısmi yer değiştirilerek mineral katkıli beton üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, hidrasyon hızlarının yavaş seyretmesinden dolayı cüruf katkıli betonlarda görülen düşük erken mukavemet, bu tarz bağlayıcı kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, ağır seyreden bu hidrasyon hızını yükselterek reaksiyonları hızlandırabilecek bir takım araştırmalar yapılmaktadır. Yürütülen çalışmalar, cürufların alkali aktivatörlerle birlikte kullanıldığı zaman, inşaat uygulamalarında kullanılacak tarzda güçlü bir bağlayıcı hamur yapısı meydana getirebileceğini ve böylelikle düşük erken mukavemet probleminin üstesinden gelinerek yüksek dayanım sağlanabileceğini göstermiştir [1].

Hiç çimento ilave etmeksizin, kimyasal aktivatör ve %100 cüruf kullanmak suretiyle elde edilen alkali ile aktive edilmiş cürufllu (AAC) bağlayıcılar, sahip oldukları özellikler göz önüne alındığında, Portland çimentosuna alternatif modern bir bağlayıcı malzeme tipi olarak görülmektedir [2,3].

SSCB'den Glukhovsky tarafından 1957 senesinde bulunmasına rağmen, dünya çapında ilgi görmesi birkaç yıl öncesine dayanan [4] ve artık günümüzde ABD, Kanada, İngiltere, Avustralya, Rusya ve Çin gibi ülkelerde üzerinde önemli çalışmalar yapılan bu yeni yapı malzemeleri, endüstriyel yan ürünlerin değerlendirilmesine imkân sağlamasının yanında, yüksek mekanik mukavemet, düşük enerji maliyeti ve NPC'na kıyasla daha az kirletici gaz (CO_2 , SO_2 , NO_x vb.)

emisyonu gibi avantajları ile karakterize edilmektedir [3].

Çok hızlı mekanik özellikler geliştirebilmeleri bakımından inşaat işlerindeki beklemeden ileri gelen kesinti ve aksaklıkları azaltma potansiyeli bulunan ve dolayısıyla, esas uygulama alanları onarım ve önceden dökülmüş yapı elemanları (beton borular, beton bloklar, ön gerilmeli beton kirişler ve betondan yapılmış duvar panelleri) olan AAC bağlayıcıları konusunda yapılan çeşitli araştırmalar, bu bağlayıcıların, NPC'na göre kimyasal atak ve donma-çözülme döngüleri gibi agresif ortam koşulları altında dahi üstün performans sergilediklerini göstermektedir [5,6].

Bunun yanı sıra, Wang ve arkadaşları [7], NPC betonundan daha kaliteli beton üretebilmek için AAC'un etkili bir bağlayıcı olduğunu rapor etmiştir. Cürufllu çimentoların alkali aktivasyonu üzerine çalışmalar yapan Bakharev ve arkadaşları [8], sodyum hidroksit ve sodyum karbonat ile karşılaştırıldığında, sıvı sodyum silikatın basınç mukavemeti açısından en iyi aktivasyonu verdiğini bildirerek 0,75 silikat modülüne sahip ve %4 konsantrasyondaki sıvı sodyum silikat kullanımını önermişlerdir. Jiménez ve arkadaşları [9], AAC harçlarının mekanik özelliklerinin gelişimi üzerinde bir dizi faktörün etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, en yüksek mekanik özellikleri veren faktörün sıvı sodyum silikat ve sodyum hidroksit olduğunu, diğer önemli faktörlerin ise aktivatör dozajı ve sonrasında da cüruf özgül yüzeyi ile kür sıcaklığı olduğunu rapor etmişlerdir. Atiş ve arkadaşları [10], AAC harçlarından en yüksek eğilme ve basınç mukavemeti değerleri elde edebilmek için sıvı sodyum silikat çözeltisinin optimum bir SiO_2/Na_2O oranının olduğunu belirtmişlerdir. 1000°C sıcaklığa maruz bırakılan AAC harçları üzerinde bir araştırma yürüten Karahan ve Yakupoğlu [11], NPC harcına kıyasla, sodyum hidroksit kullanılarak üretilen AAC harçlarının üstün bir yangın direnci sergilediğini bildirmişlerdir. Al-Otaibi [12], AAC betonların üretiminde aktivatörün yüksek dozaj ve silikat modülüne sahip olmasının yüksek mukavemet verdiğini, bu nedenle de aktivatör tip ve dozajının önem taşıdığı sonucuna varmış, AAC betonlarının NPC betonları ile karşılaştırıldığında zor çevre

koşulları altında üstün durabilite sergilediğini rapor etmiştir.

Görüldüğü üzere, AAC bağlayıcıları üzerinde birçok araştırmalar yapılmış olmasına karşın bu bağlayıcıların yangın direnci konusunda kapsamlı ve dikkate değer bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan AAC harçlarının eğilme ve basınç mukavemetleri araştırılarak elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Çimento

Çalışmada, kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiş olan TS EN 197-1 [13] ile uyumlu CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Özgül ağırlığı $3,16 \text{ g/cm}^3$ ve özgül yüzeyi $315 \text{ m}^2/\text{kg}$ olan çimentonun, başlangıç ve bitiş priz süreleri sırasıyla, 197 ve 248 dakikadır.

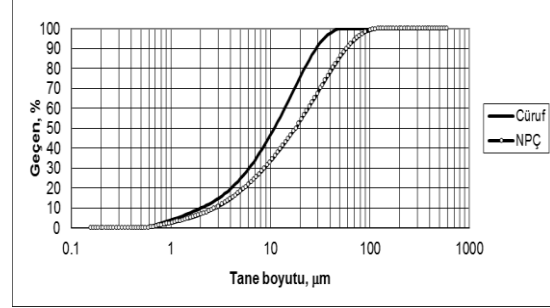
Çizelge 1. Çimento ve cürufun kimyasal özellikleri

Oksit	Çimento	Cüruf
SiO ₂	14,20	33,78
Al ₂ O ₃	3,64	9,55
Fe ₂ O ₃	4,71	0,88
CaO	66,49	39,80
MgO	1,73	6,80
SO ₃	4,10	1,66
K ₂ O	0,88	0,88
Na ₂ O	0,11	0,32
K.K	1,35	2,89

2.1.2. Granüle yüksek fırın cürufu

Çalışmada, OYAK Adana Çimento Sanayi'nden temin edilen ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiş olan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Cürufun özgül ağırlığı $2,78 \text{ g/cm}^3$, Blaine özgül yüzeyi ise $5200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 'dir.

Şekil 1'de ise bu iki malzemeye ait lazer kırınım yöntemi ile elde edilen tane boyut dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan çimento ve cürufun tane büyüklük dağılımı

2.1.3. Kum

Harç karışımlarının hazırlanmasında TS EN 196-1 [14] ile uyumlu CEN standart kumu kullanılmıştır.

2.1.4. Su

Karışım suyu olarak şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyundan yararlanılmıştır.

2.1.5. Alkali Aktivatör

Yürütülen çalışmada, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun aktivasyonu için alkali aktivatör olarak, 2.0 modül sıvı sodyum silikat kullanılmıştır.

2.2. Deneysel Program

Çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan AAC harçlarının mekanik özellikleri üzerinde Na dozajı ve silikat modülü gibi aktivatör parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

Su/bağlayıcı oranı 0,5 ve kum/bağlayıcı oranı 3,0 olacak şekilde hazırlanan harç karışımlarında, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, ağırlıkça %100 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Cürufun aktivasyonunda ise ağırlıkça cüruf miktarına göre %4, %6 ve %8 Na konsantrasyonlarındaki sıvı sodyum silikattan yararlanılmış olup, karışımlar içerisinde 0,75, 1,0, 1,25 ve 1,5 gibi farklı silikat modülleri ($M_s = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) elde edebilmek amacıyla sıvı sodyum silikat, sodyum hidroksit ile beraber karıştırılmıştır. Aktivatörlerin, su içerisinde

çözölmek suretiyle karışımlara eklendiği deneylerde, su/bağlayıcı madde oranının sabit tutulması için, aktivatör çözeltilsinin ihtiva ettiği su miktarı göz önüne alınmış ve karışımlara eklenecek su miktarlarında eksiltme yoluyla ayarlamaya gidilmiştir. Şekil 2’de gösterilen çimento mikseri yardımıyla belirtilen malzeme oranlarında hazırlanan ve biri tamamen NPÇ karışım olmak üzere toplam 13 grup karışımından, 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik harç numuneleri üretilmiştir.



Şekil 2. Çimento mikseri

Dökümden 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan numuneler, $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde 27 gün boyunca kür edilmişlerdir. Kür süresi sonunda her bir karışımından 6 adet prizmatik numune, Şekil 3’teki yüksek sıcaklık fırını içerisinde 1 saat süre ile 300°C , 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Isıtma hızının $5^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ olarak ayarlandığı deneylerde sıcak harç numuneleri fırından çıkartıldıktan hemen sonra iki farklı şekilde soğutulmuştur. Birincisinde, her grubun 3 adet numunesi 1 saat boyunca $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde hızlı bir şekilde soğutulurken ikincisinde ise, grupların diğer 3 adet numunesi, 1 saat boyunca laboratuvar ortamında yavaş bir şekilde havada soğumaya bırakılmıştır. Soğutma

işleminin ardından, numunelerin TS EN 1015-11 [15]’e göre eğilme ve basınç dayanımları Şekil 4’te gösterilen çimento test presi yardımıyla belirlenmiş, ulaşılan sonuçlar ortalaması alınarak, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış kontrol numunelerinininki ile kıyaslanmıştır.



Şekil 3. Yüksek sıcaklık fırını



Şekil 4. Çimento test presi

Çalışmada kullanılan karışım programı Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Karışım programı

Karışım	Çimento	Cüruf	Dozaj	Ms
NPÇ	%100	-	-	-
AAC 1	-	%100	%4 Na	0,75
AAC 2	-	%100	%4 Na	1,00
AAC 3	-	%100	%4 Na	1,25
AAC 4	-	%100	%4 Na	1,50
AAC 5	-	%100	%6 Na	0,75
AAC 6	-	%100	%6 Na	1,00
AAC 7	-	%100	%6 Na	1,25
AAC 8	-	%100	%6 Na	1,50
AAC 9	-	%100	%8 Na	0,75
AAC 10	-	%100	%8 Na	1,00
AAC 11	-	%100	%8 Na	1,25
AAC 12	-	%100	%8 Na	1,50

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Harçların Yüksek Sıcaklık Sonrasındaki Basınç Mukavemetleri

Harç numunelerin 28 günlük kür süresinin ardından 300-900°C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonrasında elde edilen basınç mukavemetleri, Çizelge 3’te sunulmuştur.

Çizelge 3’ten görüldüğü üzere, AAC harç numunelerinin basınç mukavemeti değerleri, alkali aktivatörün artan Na dozajı ile birlikte artış göstermiştir. Örneğin, AAC 3, AAC 7, AAC 11 harçlarının 20°C’deki basınç mukavemeti değerleri sırasıyla 6,06 MPa, 73,16 MPa ve 83,51 MPa olmuştur. Bu durum, sodyum dozajındaki artıştan dolayı cüruf aktivasyonunun hızlanmasına bağlı olarak ortaya çıkan daha yoğun mikro yapı ile ilgilidir [16]. AAC harçlarının mikro yapısal gelişimi çoğunlukla cürufun anyonları ile alkali aktivatörün katyonları arasındaki reaksiyondan ileri gelmektedir. İyon değişimi sonucu ortaya çıkan bu kimyasal reaksiyonlar, silika jellerini meydana getirmekte, cürufun kalsiyum iyonlarının da ilave reaksiyonları ile birlikte bu silika jelleri

C-S-H jellerine dönüşmektedir [17,18]. Bunun yanı sıra, Ms modülünün 0,75’ten 1,5’a doğru artış göstermesi, AAC harç numunelerinin basınç mukavemeti değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Örneğin, AAC 5, AAC 6, AAC 7 ve AAC 8 harç numunelerinin 20°C’deki basınç mukavemeti değerleri sırasıyla 68,85 MPa, 70,61 MPa, 73,16 MPa ve 75,94 MPa olmuştur. Bu bulgular, başka makalelerde rapor edilenler ile de uyum içerisindedir [19,20].

Çizelge 3’te, 300°C sıcaklık sonrasında havada soğutulmuş harç numunelerinin basınç mukavemetinde 20°C sıcaklıktaki harç numunelerine kıyasla bir artış gözlenmiştir. Havada soğutulmuş harçlar ele alınırsa, 20°C normal sıcaklıktaki harçlara kıyasla 300°C sıcaklıktaki harçların basınç mukavemetlerindeki artış %7 ile %206 arasında değişmiş ve maksimum mukavemet artışı %4 Na içeriğine sahip AAC harçlarında gözlenmiştir. 300°C dereceye kadar olan bu mukavemet artışı, serbest suyun buharlaşması neticesinde matris içerisindeki jel tabakalarının birbirlerine daha da yaklaşarak daha büyük van der Waals kuvvetleriyle çekmesinden kaynaklanmaktadır [21-23]. Ayrıca bu durum, alkali aktivatör ile cüruf arasındaki kimyasal reaksiyonların yüksek sıcaklığa bağlı olarak hızlanması neticesinde meydana gelen daha yoğun bağlayıcı madde hamurunun yapısıyla da ilişkilidir. Bununla birlikte, 600°C sıcaklığa gelindiğinde harçların basınç mukavemeti değerlerinde kayıplar meydana gelmeye başlamış ve bu kayıplar, sıcaklık 900°C olduğunda önemli mertebelere ulaşmıştır. Harç numunelerin basınç mukavemetlerinde ortaya çıkan bu kayıplar, C-S-H jellerinin dağılmasından ileri gelmektedir [24,25].

Diğer taraftan, havada yavaş soğutmaya göre su içerisinde hızlı soğutma, basınç dayanımlarında ilave kayıplara yol açmış ve NPÇ ile yapılan harç numuneler 900°C sıcaklıkta tamamen parçalanmıştır. Bu durum, ani sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan termal şokun bir sonucu olarak ortaya çıkan mikro çatlakların gelişimine atfedilebilir. Ayrıca, 400-500°C sıcaklığın üzerinde Ca(OH)₂ suyunun kaybederek CaO’ye dönüşür. Eğer CaO su ile temas ederse büyük bir hacim artışıyla birlikte Ca(OH)₂

Çizelge 3. Harçların basınç mukavemeti

	Basınç Mukavemeti (MPa)						
	Havada Soğutma				Suda Soğutma		
	20°C	300°C	600°C	900°C	300°C	600°C	900°C
NPÇ	45,50	58,19	34,04	10,03	39,02	17,30	-
AAC 1	5,01	14,13	11,67	8,33	12,40	9,46	6,34
AAC 2	5,59	13,02	12,98	10,04	13,08	10,35	9,51
AAC 3	6,06	18,54	17,32	14,08	13,78	12,50	9,41
AAC 4	20,23	48,73	40,30	15,24	37,40	31,32	12,50
AAC 5	68,85	76,41	64,60	10,34	62,91	41,68	8,46
AAC 6	70,61	77,51	68,59	12,94	64,37	44,87	10,98
AAC 7	73,16	80,04	69,03	15,65	65,12	45,66	11,54
AAC 8	75,94	81,59	72,60	16,08	68,13	47,53	12,61
AAC 9	80,39	87,38	67,72	11,48	68,69	44,42	9,59
AAC 10	82,23	91,50	68,60	14,04	68,94	48,12	11,01
AAC 11	83,51	91,96	73,80	17,09	73,33	52,03	14,38
AAC 12	81,88	92,02	75,51	17,22	74,33	53,73	15,12

meydana gelir [26,27]. Bununla birlikte, hızlı ve yavaş soğutma arasındaki mukavemet farklılıklarının 900°C’de azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, 600°C ve yukarıdaki sıcaklıklarda ortaya çıkan çok sayıda mikro çatlakların varlığı ile ilişkilidir [28].

Çizelge 3 incelendiğinde, AAC harç numunelerinin basınç mukavemeti değerlerinin çoğu durumda NPÇ harçlarınıninkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan NPÇ harçlarındaki durabilite kayıplarının ana sebebi olan $Ca(OH)_2$ ’in AAC harçlarında bulunmamasından kaynaklanmaktadır [29].

3.2. Harçların Yüksek Sıcaklık Sonrasındaki Eğilme Mukavemetleri

Harç numunelerin 28 günlük kür süresinin ardından 300-900°C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonrasında elde edilen eğilme mukavemetleri, Çizelge 4’te sunulmuştur.

Çizelge 4’ten görüleceği üzere, eğilme mukavemeti üzerinde, yüksek sıcaklıkların zararlı etkisi, basınç dayanımındaki durumdan daha

şiddetli olmuştur. Havada soğutulmuş harçların tümünün basınç dayanımı, 300°C sıcaklığa kadar artış göstermesine karşın, 300°C sıcaklıktan itibaren karışımlar eğilme mukavemetlerinin birazını kaybetmeye başlamıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki önemli sıcaklık farklılıkları, termal çatlakları meydana getirir [30]. Bu termal çatlakların mevcudiyeti, sağlam kesit alanını azaltır ve eğilme testine maruz bırakılan numunelerde tarafsız eksenin altında kalan kısımlarında meydana gelen çekme gerilmeleri çatlakların büyüklüğünde bir artış ortaya çıkarır [31-33]. Bu yüzden, çatlakların eğilme mukavemeti değerleri üzerindeki olumsuz etkisi basınç mukavemeti değerlerinden daha belirgin olmaktadır.

Hızlı soğutmanın yol açtığı ani sıcaklık değişimlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan mikro çatlakların varlığından dolayı, suda soğutulan harç numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri, havada yavaş soğutulan harç numunelerinkinden daha düşük olmuştur. Bununla birlikte, AAC harçlarının eğilme mukavemeti değerleri aktivatör Na konsantrasyonunun yükselmesi ile birlikte artış göstermiştir. Örneğin 300°C sıcaklık sonrasındaki

Çizelge 4. Harçların eğilme mukavemeti

	Eğilme Mukavemeti (MPa)						
	Havada Soğutma				Suda Soğutma		
	20°C	300°C	600°C	900°C	300°C	600°C	900°C
NPÇ	9,02	8,19	3,09	0,82	5,62	1,27	-
AAC 1	2,48	1,73	1,01	0,34	1,36	0,50	0,29
AAC 2	2,77	2,04	1,03	0,46	1,77	0,54	0,34
AAC 3	3,05	2,69	1,32	0,49	2,04	0,84	0,42
AAC 4	4,64	3,12	2,43	0,56	2,50	1,16	0,47
AAC 5	5,79	2,88	1,76	0,45	2,30	0,92	0,34
AAC 6	6,02	3,14	2,01	0,49	2,51	1,31	0,41
AAC 7	6,27	3,35	2,46	0,73	2,80	1,41	0,52
AAC 8	6,70	3,66	2,50	0,84	3,02	1,55	0,68
AAC 9	6,09	3,21	1,83	0,63	2,57	0,89	0,40
AAC 10	6,17	3,45	2,16	0,74	2,83	1,56	0,53
AAC 11	6,75	3,51	2,74	0,83	2,83	1,68	0,68
AAC 12	6,88	3,79	3,05	0,90	3,15	1,72	0,75

AAC 2 harcının eğilme mukavemeti 2,04 MPa iken, AAC 7 ve AAC 11 karışımları için eğilme mukavemeti değerleri sırasıyla 3,35 ve 3,51 MPa olmuştur. Benzer durum, Ms silikat modülündeki artış sonucunda da gözlenmiştir. Örneğin, 20°C'de AAC 9, AAC 10, AAC 11 ve AAC 12 harçlarının eğilme mukavemeti değerleri, silikat modülündeki artış ile birlikte yükselme göstererek sırasıyla 6,09, 6,17, 6,75 ve 6,88 MPa olmuştur. Diğer taraftan, AAC harçlarının yüksek sıcaklıklar sonrasında geriye kalan eğilme dayanımları, genel olarak NPÇ içeren harç numunelere göre düşük olmuştur. Ancak, yüksek Na dozajı ve Ms modülü, özellikle 600°C ve yukarısı gibi yüksek sıcaklıklar sonrasındaki eğilme dayanımlarında ortaya çıkan kayıpların azalmasında yarar sağlamıştır.

3. SONUÇLAR

Yapılan bu laboratuvar çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. Havada soğutma yöntemine kıyasla, suda ani soğutma yöntemi, çatlak gelişmesine neden

olması bakımından harç dayanımlarında düşüşler meydana getirmiştir.

2. Yüksek sıcaklıkların zararlı etkisi, basınç dayanımındaki durum ile karşılaştırıldığında eğilme mukavemeti üzerinde daha belirgin ve şiddetli olmuştur.
3. Aktivatör Na konsantrasyonunun yükselmesi, silikat modülünde yapılan artışta olduğu gibi, AAC harçlarının yangına karşı direncini arttırmıştır.
4. AAC harçlarının yangına karşı direncinin NPÇ içeren harcınkinden daha iyi olduğu görülmüş ve harçların yüksek sıcaklıklara karşı direncinin, uygulanan soğutma metodu ile sıcaklık seviyesine bağlı olduğu tespit edilmiştir.
5. Bu araştırmanın kapsamında yer almayan, ancak farklı kimyasal aktivatörlerin ve kür koşullarının etkilerini içeren başka çalışmaların da yapılması, AAC bağlayıcıların yüksek sıcaklık ve yangına karşı direncinin araştırılmasında yarar sağlayacaktır.

4. TEŞEKKÜR

Yazar bu çalışmaya finansal destek sağlayan Mersin Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine (Proje No: BAP-MÜH F İMB (CB) 2012-7 A) teşekkür eder.

5. KAYNAKLAR

1. Collins, F.G., Sanjayan, J.G., 1999. Workability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 3, pp. 455-458.
2. Chang, J.J., Yeih, W., Hung, C.C., 2005. Effects of Gypsum and Phosphoric Acid on the Properties of Sodium Silicate-Based Alkali-Activated Slag Pastes, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, No. 1, pp. 85-91.
3. Puertas, F., Amat, T., Jiménez, A. F., Vázquez, T., 2003. Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced With Polypropylene Fibres, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No. 12, pp. 2031-2036.
4. Wang, S. D., 2000. The Role of Sodium During Hydration of Alkali-Activated Slag, *Advances in Cement Research*, Vol. 12, No. 2, pp. 65-69.
5. Palacios, M., Puertas, F., 2007. Effect of Shrinkage-Reducing Admixtures on the Properties of Alkali-Activated Slag Pastes and Mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, No. 5, pp. 691-702.
6. Neto, A. A. M., Cincotto, M. A., Repette, W., 2008. Drying and Autogenous Shrinkage of Pastes and Mortars With Activated Slag Cement, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, No. 4, pp. 565-574.
7. Wang, S. D, Pu, X. C, Scrivener, K. L, Pratt, P. L., 1995. Alkali-Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems, *Advances in Cement Research*, Vol. 7, No. 27, pp. 93-102.
8. Bakharev, T., Sanjayan, J.G, Cheng, Y., 1999. Alkali Activation of Australian Slag Cements, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 1, pp. 113-120.
9. Jiménez, A.F., Palomo, J.G., Puertas, F., 1999. Alkali-Activated Slag Mortars: Mechanical Strength Behavior, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 1313-1321.
10. Atis, C.D., Bilim, C., Çelik, Ö., Karahan, O., 2009. Influence of Activator on the Strength and Drying Shrinkage of Alkali-Activated Slag Mortar, *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 1, pp. 548-555.
11. Karahan, O., Yakupoğlu, A., 2011. Resistance of Alkali-Activated Slag Mortar to Abrasion and Fire, *Advances in Cement Research*, Vol. 23, No. 6, pp. 289-297.
12. Al-Otaibi, S., 2008. Durability of Concrete Incorporating GGBS Activated by Water-Glass, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 10, pp. 2059-2067.
13. TS EN 197-1, 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. TS EN 1015-11, 2000. Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. Bilim, C., Karahan, O., Atiş, C. D, İlkentapar, S., 2015. Effects of Chemical Admixtures and Curing Conditions on Some Properties of Alkali-Activated Cementless Slag Mixtures, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, No. 3, pp. 733-741.
17. Yang, K. H., Song, J. K., Ashour, A. F., Lee, E.T., 2008. Properties of Cementless Mortars Activated by Sodium Silicate, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 9, pp. 1981-1989.
18. Bilim, C., Karahan, O., Atiş, C. D., İlkentapar, S., 2013. Influence of Admixtures on the Properties of Alkali-Activated Slag Mortars Subjected to Different Curing Conditions, *Materials & Design*, Vol. 44, pp. 540-547.
19. Aydın, S., Baradan, B., 2012. Mechanical and Microstructural Properties of Heat Cured Alkali-Activated Slag Mortars, *Materials & Design*, Vol. 35, pp. 374-383.
20. Krizan, D., Zivanovic, B., 2002. Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early

- Hydration of Alkali-Slag Cements, Cement and Concrete Research, Vol. 32, No. 8, pp. 1181–1188.
21. Khoury, G. A., 1992. Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment, Magazine of Concrete Research, Vol. 44, No. 161, pp. 291–309.
 22. Dias, W.P.S., Khoury, G.A., Sullivan, P.J.E., 1990. Mechanical Properties of Hardened Cement Paste Exposed to Temperatures up to 700°C, ACI Materials Journal Vol. 87, No. 2, pp. 160–166.
 23. Hossain, K.M.A., 2006. High Strength Blended Cement Concrete Incorporating Volcanic Ash: Performance at High Temperatures, Cement and Concrete Composites, Vol. 28, No. 6, pp. 535–545.
 24. Xu, Y., Wong, Y.L., Poon, C.S., Anson, M., 2001. Impact of High Temperature on PFA Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 7, pp. 1065–1073.
 25. Poon, C.S., Azhar, S., Anson, M., Wong, Y.L., 2001. Comparison of the Strength and Durability Performance of Normal and High-Strength Pozzolanic Concretes at Elevated Temperatures, Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 9, pp. 1291–1300.
 26. Aydın, S., 2008. Development of a High-Temperature-Resistant Mortar by Using Slag and Pumice, Fire Safety Journal, Vol. 43, No. 8, pp. 610–617.
 27. Bilim, C., 2014. Influence of Clinoptilolite Replacement on Durability of Cement Mortars, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 520–526.
 28. Mohamedbhai, G.T.G., 1986. Effect of Exposure Time and Rates of Heating and Cooling on Residual Strength of Heated Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 38, No. 136, pp. 151–158.
 29. Guerrieri, M., Sanjayan, J., Collins, F., 2009. Residual Compressive Behavior of Alkali-Activated Concrete Exposed to Elevated Temperatures, Fire Materials, Vol. 33, No. 1, pp. 51–62.
 30. Kong, D.L.Y., Sanjayan, J.G., 2010. Effect of Elevated Temperatures on Geopolymer Paste, Mortar and Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 40, No. 2, pp. 334–339.
 31. Xu, Y., Wong, Y.L., Poon, C.S., Anson, M., 2003. Influence of PFA on Cracking of Concrete and Cement Paste After Exposure to High Temperatures, Cement and Concrete Research, Vol. 33, No. 12, pp. 2009–2016.
 32. Özturan, T., Cülfik, M. S., 2002. Effect of Elevated Temperatures on the Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar, Cement and Concrete Research, Vol. 32, No. 5, pp. 809–816.
 33. Li, M., Qian, C., Sun, W., 2004. Mechanical Properties of High Strength Concrete After Fire, Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 6, pp. 1001–1005.

Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Kullanılarak Karadon (Zonguldak) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu Davranışının İncelenmesi

Selma DÜZYOL^{*1}

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 01.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Ülkeler, sahip oldukları yerli kaynakları kullanarak hem dışa bağımlılıklarını azaltabilir hem de bu bağımlılığa dayalı ekonomik kayıpların önüne geçebilirler. Bu düşünce ışığı altında, ülkemiz kömürlerinin ve özellikle ince boyutta olanlarının en az kayıpla değerlendirilmesi, yeterli bir planlamayı takiben etkin bir uygulama ile mümkündür.

Bu çalışmada ince boyuttaki Karadon (Zonguldak) kömürlerinin yağ aglomerasyonu yöntemi ile zenginleştirilmesi, çeşitli parametreler ışığı altında araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, Taguchi (*L16*) deneysel tasarım yöntemi kullanılarak planlanmış ve yağ aglomerasyonunun başarısı, elde edilen aglomeratların kül içeriği ve yanabilir kısım verimi (*YKV*) ile değerlendirilmiştir. Deneysel tasarım ile farklı şartlar altında 16 adet aglomerasyon deneyi gerçekleştirilmiş, anlam analizi ile optimizasyon çalışmaları neticesinde doğrulama deneyi yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, 39,48 olan en yüksek sinyal/gürültü (*S/G*) oranına Test 2 ile ulaşılmış ve bu deneyden elde edilen aglomeratların ortalama *YKV* değerinin %94,2 ile en yüksek olduğu belirlenmiştir. En büyük aglomerat boyutları (ortalama 5-7 mm) Test 16'dan elde edilmiş ancak *YKV* değerlerinin düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taguchi metodu, Yağ aglomerasyonu, Kömür

Investigation of Oil Agglomeration Behaviour of Karadon (Zonguldak) Coal Using Taguchi Experimental Design

Abstract

Countries disposing their own domestic resources may reduce the external dependences as well as they prevent the economic losses caused by this dependency. Under the light of this thought, the beneficiation

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Selma DÜZYOL, selmad@selcuk.edu.tr

of the coal reserves especially fine coals in Turkey with minimum losses is possible only by an effective implementation following a sufficient planning.

The enrichment of Karadon (Zonguldak) fine coal was investigated by the use oil agglomeration process in the light of several parameters throughout the present work. The experimental works were planned by using Taguchi (*L16*) experimental design and the success of oil agglomeration was evaluated with the ash content and combustible recovery (*CR*) of the agglomerates obtained. 16 agglomeration tests were realized under different conditions and a confirmation test was performed by the analysis of mean after optimization works completed. The maximum signal/noise (*S/N*) ratio (39,48) was obtained at Test 2 and the reached average *CR* of agglomerates was determined as a highest value of 94,2%. In spite of lower *CR* value, the largest agglomerate size (average 5-7 mm) was obtained from the Test 16.

Keywords: Taguchi method, Oil agglomeration, Coal

1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılması ve doğal kaynakların daha etkin kullanılması ön plana çıkmıştır. Katı yakıtlar içerisinde bulunan kömür, yenilenemeyen doğal kaynaklarımızdan olup üretimi ve tüketiminin etkin yapılması önemlidir. Kömürün maden ocağından üretiminden itibaren piyasanın ihtiyacına göre hazırlanması, eleme, boyut küçültme ve kömür hazırlama işlemlerini içeren birtakım süreçlerden geçirilmektedir. Bu işlemler sırasında fazla miktarda ince boyutta kömür meydana gelmektedir. Mevcut kömür hazırlama tesislerinde bahsedilen ince boyuttaki kömürler, ya atığa karışmakta ya da termik santrallere yakıt olarak verilmektedir. Bu durumda, özellikle yüksek kalorifik değere sahip olan ince boyuttaki kömürler ekonomik bir kayıp olarak görülmelidir. Bu nedenle maden ocağında üretimden başlayarak tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süreçte oluşan ince boyutlu kömürlerin de ekonomiyeye kazandırılması ayrıca önem arz etmektedir. Bu kömürlerin ekonomiyeye yeniden kazandırılabilmesi birtakım tekniklerin uygulanmasıyla mümkündür. İnce boyutlu kömür tanelerinin kazanımında, tane boyutuna bağlı olarak farklı yöntemler kullanılmaktadır [1-5]. Bu yöntemler arasında sayılan yağ aglomerasyonu, çok ince kömür tanelerine (5 µm) [6] rahatlıkla uygulanabilmesinin yanı sıra, tane boyutunun büyütülmesi nedeniyle kazanımın kolay olması ve kömürün kalorifik değerinin de artması bakımından [2] ön plana çıkmaktadır. Yağ aglomerasyonu işleminde, hidrofobik özellikteki

kömür tanelerinin yağ ile bir araya getirilmesi, dolayısıyla tane boyutlarının büyütülmesi ve sonrasında eleme ile inorganik kısımdan ayrılması söz konusudur [7]. Kömürün tipi, tane boyutu, kullanılan yağın özellikleri, miktarı, katı konsantrasyonu, pH, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi gibi pek çok parametre yağ aglomerasyonu yönteminde etkili olmaktadır [8]. Literatürde yağ aglomerasyonu üzerine çok fazla çalışma bulunmakta olup Zonguldak kömürleri üzerinde yapılan yağ aglomerasyonu çalışmaları incelendiğinde;

Ünal ve arkadaşları [9] gazyağı, diesel oil ve Kerkük ham petrolünün Zonguldak kömürünün yağ aglomerasyonunda kullanılabileceğini ve gazyağı miktarının önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Aktaş [10] kömürün yağ aglomerasyonuna diesel yağ ile çeşitli parametrelerin (yağ miktarı, katı konsantrasyonu, karıştırma hızı ve süresi, pH ve yüzey aktif madde varlığı) etkisini incelemiştir. Artan yağ miktarı ile kazanım artarken karıştırma hızı ve süresinin önemli bir etkisinin olmadığını, süspansiyon pH'ının ise aglomerasyonu etkilediğini belirtmiştir. Cebeci ve arkadaşları [11], gazyağı ile gerçekleştirdikleri diğer bir çalışmada, yağ konsantrasyonu, aglomerasyon zamanı ve çeşitli tuzların etkilerini incelemişler ve en iyi sonuca, gazyağının ağırlıkça %20 konsantrasyonunda, pH 7,5 ve 15 dakika'lık karıştırma süresinde ulaştıklarını, FeSO₄, NaCl, FeCl₃ ve Al₂(SO₄)₃ tuzlarından ise yalnızca NaCl'nin yüksek konsantrasyonda yanabilir kısım verimine olumlu etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Cebeci [12] diğer bir araştırmasında ise, aglomerat boyutlarının büyümesinin kinetiğini çeşitli parametreler altında (yağ konsantrasyonu, pülp yoğunluğu, karıştırma hızı) incelemiştir. Cebeci ve Sönmez'in [13] Box-Wilson deneysel tasarım yöntemini kullandıkları diğer bir çalışmalarında ise yağ konsantrasyonu ile karıştırma hızına ilaveten CaCl_2 konsantrasyonunun etkisini incelemişler ve temas açısı ile yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Yine yağ miktarı, karıştırma süresi ve hızı, katı konsantrasyonu gibi bazı parametrelerin yağ aglomerasyonuna etkileri Aslan ve Ünal [14] tarafından modelleme ile araştırılmış ve optimum şartlardaki kömür kazanımının %96,39 olduğu ifade edilmiştir.

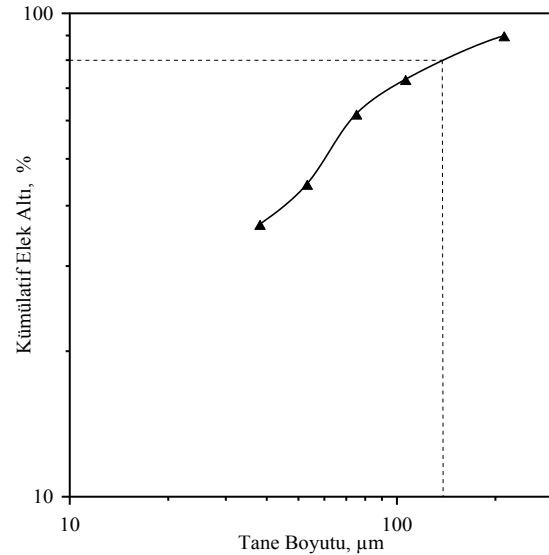
Çok fazla parametrenin etkili olduğu deneysel çalışmalarda, her bir faktörün etkisini belirleyebilmek için çok fazla sayıda deney yapmak gerekmekte ve bu durum hem maliyet hem de zaman açısından olumsuz görülmektedir. Taguchi deneysel tasarım metodu [15], maliyetleri ve harcanan zamanı en düşük seviyede tutmak için en az deney yapma prensibine dayanan yöntemlerden birisidir. Ayrıca, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak açısından oldukça kullanışlı olup yapılmamış olan diğer deney sonuçları ile maksimum ve minimum değerler de tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemin diğer istatistiksel deney tasarım yöntemlerinden farkı; bir deneyi etkileyen parametreleri, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere iki grupta incelemesi ve çok sayıda parametreyi ikiden fazla seviyede incelemeye imkân sağlamasıdır.

Bu çalışmada Zonguldak (Karadon) taş kömürünün yağ aglomerasyonu davranışı, Taguchi (L16) deneysel tasarım metodu kullanılarak araştırılmıştır. Tasarımda, yağ aglomerasyonunu etkileyen beş adet faktör (gazyağı miktarı, aglomerasyon zamanı, karıştırma hızı, katı konsantrasyonu ve pH) ve her bir faktörün dört alt seviyesi incelenmiştir. Deneylerin başarısı aglomeratların YKV ve kül içerikleri ile değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kömür

Yağ aglomerasyonu deneylerinde, Karadon (Zonguldak) bölgesinden temin edilen taş kömürü kullanılmıştır. Kömür numunesi laboratuvarında bulunan çeneli kırıcı ile kırıldıktan sonra çelik bilyalı değirmen ile öğütülerek deneylere uygun boyutta ($-212 \mu\text{m}$) hazırlanmıştır. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı belirlenmiş ve Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'den tanelerin %80'inin geçtiği elek açıklığı olan d_{80} değeri $122 \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiş ayrıca kömürün kül içeriğinin ise %14,6 olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı

2.2. Yağ Aglomerasyonu Deneyleri

Yağ aglomerasyonu deneyleri, içerisinde dört adet bariyer bulunan 400 cm^3 hacmindeki deney kabında gerçekleştirilmiştir. Uygun miktarda kömür numunesi tartılarak 300 cm^3 hacmindeki su ile 2 dakika süreyle karıştırılmıştır. İyi bir dispersiyonun sağlanmasından sonra süspansiyonun pH'ı istenen değere hidroklorik asit (HCl) veya sodyum hidroksit (NaOH) ile ayarlanmıştır. Bu işlem, 5 dakika'lık bir sürede gerçekleştirilmiş ve süspansiyonun pH değeri, deney sonuna kadar kontrol edilerek sabit

tutulmuştur. pH ayarlaması sonrasında sisteme gazyağı ilave edilmiş ve belirlenen aglomerasyon süresi sonunda sistem durdurulmuştur. Deneyler sonrasında elde edilen aglomeratlar, test eleği (212 µm) ile kazanılmış ve musluk suyu ile yıkanarak aglomera olmayan kısımdan ayrılması sağlanmıştır. Filtre kâğıdında süzülükten sonra etüvde kurutulmuş aglomeratlar tartılarak ağırlıkları tespit edilmiş ve kül içerikleri belirlenerek aşağıdaki eşitlikte verilen formül ile yanabilir kısım verimi hesaplanmıştır.

$$YKV, \% = \frac{A(100-A_{kül})}{B(100-B_{kül})} \times 100 \quad (1)$$

Burada, A aglomerat yüzdesi; $A_{kül}$ aglomerat kül içeriği; B besleme yüzdesi; $B_{kül}$ besleme kül içeriğidir.

2.3. Taguchi metodu ile Deney Tasarımı

Taguchi metodu bir tür kesirli faktöriyel tasarımıdır. Bu tasarım ile yukarıda da ifade edildiği gibi deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri yardımıyla sadece bir kısmı yapılmakta ve en iyi performans karakteristiğini veren faktör seviyeleri bulunabilmektedir. Ortogonal dizinler, bir sayı matrisi olarak ifade edilmekte olup her sütun, seçilen faktörlerin seviyelerini gösterirken her satır ise dikkate alınan faktörleri ifade etmektedir. Bu çalışmada da kullanılan $L_{16}(4^5)$ ortogonal dizisi (5 parametrelili ve 4 seviyeli) Çizelge 1'de görülmektedir. Çizelge 1'de verilen P1, P2, P3, P4 ve P5, seçilen parametreleri gösterirken her bir satırdaki rakamlar ise parametrelerin seviyelerini ifade etmektedir. Normalde bu 4 seviyeli 5 parametrenin etkilerini tam olarak belirleyebilmek için çok fazla sayıda ($4^5 = 1024$ adet) deney yapılması gerekirken Taguchi deney tasarım matrislerindeki ortogonal dizinlerin kullanılması ile yalnızca 16 deney yapılmakta böylece hem zaman hem de maliyet açısından büyük avantaj sağlanmaktadır [16].

Bu metotta oluşturulan tasarımdan elde edilen sonuçlar, sinyal/gürültü (S/G) oranına dönüştürülmekte ve hedeflenen değer 'en küçük/en iyi' veya 'en büyük/en iyi' olmasına göre

iki farklı S/G formülü kullanılmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen en yüksek YKV değeri için en yüksek en iyi durumunu veren S/G oranı, Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\frac{S}{G} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \left(\frac{1}{YKV_i} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Burada, n tekrarlanan deney sayısını; YKV_i ise i 'nci tekrarlanan deneyden elde edilen yanabilir kısım verimini göstermektedir. Bu çalışmada her bir deney iki kez tekrarlanmıştır. Yağ aglomerasyonu deneylerinde seçilen parametreler ve seviyeleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ortogonal dizin $L_{16}(4^5)$

Deney no	Parametreler ve Seviyeleri				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deney Tasarımı

Taguchi L_{16} deney tasarım planı ile belirlenmiş olan her bir testin parametreleri, bu deneylerden elde edilen YKV değerleri ile birlikte S/G oranları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'den görüldüğü gibi 4, 7, 9, 10, 11, 12 ve 14 no'lu deneylerde başarılı bir yağ aglomerasyonu işlemi gerçekleşmemiş, dolayısıyla aglomerat kazanımı olmadığından YKV_1 ve YKV_2 değerleri hesaplanamamıştır.

Çizelge 2. Parametreler ve seviyelerine göre değerleri

Parametre	Tanım	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Gaz yağı miktarı, g/dm ³	2,63	7,90	1,32	5,27
B	Aglomerasyon süresi, dak	5	10	15	20
C	Karıştırma hızı, dev/dak	500	1000	1500	2000
D	Katı kons. g/dm ³	3,33	10,00	16,67	23,33
E	pH	3	5	7	10

Çizelge 3. Taguchi *L16* deney tasarımı ve her bir testin *S/G* oranları

Deneyler	A	B	C	D	E	<i>YKV</i> ₁	<i>YKV</i> ₂	<i>YKV</i> _{ort}	<i>S/G</i>
Test 1	2,63	3	500	3,33	3	38,6	35,9	37,25	31,41
Test 2	2,63	5	1000	10,00	5	96,1	92,3	94,20	39,48
Test 3	2,63	10	1500	16,67	7	26,1	26,4	26,25	28,38
Test 4	2,63	15	2000	23,33	10	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 5	7,90	3	1000	16,67	10	86,3	82,9	84,6	38,54
Test 6	7,90	5	500	23,33	7	71,5	68,3	69,90	36,88
Test 7	7,90	10	2000	3,33	5	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 8	7,90	15	1500	10,00	3	69,7	70,2	69,95	36,90
Test 9	1,32	3	1500	23,33	5	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 10	1,32	5	2000	16,67	3	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 11	1,32	10	500	10,00	10	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 12	1,32	15	1000	3,33	7	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 13	5,27	3	2000	10,00	7	84,5	82,5	83,5	38,43
Test 14	5,27	5	1500	3,33	10	0,00	0,00	0,00	0,00
Test 15	5,27	10	1000	23,33	3	93,1	93,2	93,15	39,38
Test 16	5,27	15	500	16,67	5	77,5	80,0	78,75	37,92

Taguchi deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilen deneyden elde edilen aglomeratların boyutları da farklılık göstermektedir. Şekil 2’de Test 2 ve Test 16’dan kazanılan aglomeratların görüntüleri verilmiştir. En yüksek *YKV* ve *S/G* oranının elde edildiği deney olan Test 2’den kazanılan aglomeratların ortalama boyutu 1 mm ve *YKV* değeri %94,2’dir. Test 16 ise en büyük aglomerat boyutunun elde edildiği deney olup ortalama aglomerat boyutu 5-7 mm, *YKV* ve *S/G* oranı ise sırasıyla %78,75 ve 37,92’dir. Her iki deneyin gerçekleştirildiği şartlar incelendiğinde (Çizelge 3), parametreler arasındaki belirgin farkın aglomerasyon hızı ve zamanı olduğu görülmektedir. 16 nolu deneyde, aglomerasyon süresinin artmasıyla yüzeyleri yağ

ile kaplanmış kömür tanelerinin birbirleriyle temas süreleri artmış ve bu da aglomeratların boyutlarının daha büyük olmasına yol açmıştır. Karıştırma hızının da düşük olmasıyla bu durum daha da olanaklı hale gelmiştir. Aglomeratların boyutlarının bu denli büyük olmasının nedeninin düşük hızda uzun süreli karıştırmadan kaynaklandığı söylenebilir. Ancak aglomerat boyutunun büyük olmasıyla kalitesinin de arttığını söylemek doğru olmaz. Çünkü uzun süreli karıştırma, kül yapıcı inorganik maddelerin aglomeratların içerisinde sıkışmasına neden olarak aglomerat boyutunu büyütmesine karşın kül içeriğini artırarak *YKV*’i dolayısıyla kalitesini de düşürmektedir [17–19].



Test 2



Test 16

Şekil 2. Test 2 ve Test 16'dan elde edilen aglomeratların görüntüsü

3.2. Anlam Analizi (ANOM)

Taguchi tasarımı ile gerçekleştirilen deneylerin optimum koşulları, anlam analizi için her bir parametrenin (P) belirli seviyesinin (i) ortalama S/G oranı aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenerek değerlendirilmiştir.

$$M_i^P = \frac{1}{n_{pi}} \sum_{j=1}^{n_{pi}} \left[\left(\frac{S}{G} \right)_i^P \right]_j \quad (3)$$

Burada; n_{pi} Çizelge 3'teki i 'nci seviyedeki P parametresinin görülüm sayısını gösterirken $\left(\frac{S}{G} \right)_i^P$, P parametresinin i seviyesindeki S/G oranı ve $\left[\left(\frac{S}{G} \right)_i^P \right]_j$ ise Çizelge 3'teki j 'nci görülümünü göstermektedir. Benzer şekilde tüm parametrelerin belirli seviyelerindeki S/G oranlarının anlamlı tepkisi hesaplanmıştır. M_i^P , her bir parametrenin her bir seviyesinin bağımsız tepkisini göstermekte olup Çizelge 4'te verilmiştir. Parametrelerin seviyeleri içerisinde en büyük S/G oranını veren optimum sonuçlar, koyu renkte belirtilmiştir. Optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre doğrulama deneyi yapılmış ve bu deneyden elde edilen YKV ile S/G oranı, yeniden hesaplanarak Test 2 ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4. S/G oranlarının ve YKV 'nin tepkisi

P/i	$[(S/G)_i^P]_j$				$(M)_i^P$
	j=1	j=2	j=3	j=4	
A/1	31,41	39,48	28,38	0,00	24,82
A/2	38,54	36,88	0,00	36,90	28,08
A/3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A/4	38,43	0,00	39,38	37,92	28,93
B/1	31,41	38,54	0,00	38,43	27,09
B/2	39,48	36,88	0,00	0,00	19,09
B/3	28,38	0,00	0,00	39,38	16,94
B/4	0,00	36,90	0,00	37,92	18,70
C/1	31,41	36,88	0,00	37,92	26,55
C/2	39,48	38,54	0,00	39,38	29,35
C/3	28,38	36,90	0,00	0,00	16,32
C/4	0,00	0,00	0,00	38,43	9,61
D/1	31,41	0,00	0,00	0,00	7,85
D/2	39,48	36,90	0,00	38,43	28,70
D/3	28,38	38,54	0,00	37,92	26,21
D/4	0,00	36,88	0,00	39,38	19,07
E/1	31,41	36,90	0,00	39,38	26,92
E/2	39,48	0,00	0,00	37,92	19,35
E/3	28,38	36,88	0,00	38,43	25,92
E/4	0,00	38,54	0,00	0,00	9,64

Çizelge 5. Yağ aglomerasyonu için optimum deney şartları

	A	B	C	D	E	YKV ₁	YKV ₂	S/N
Test 2	2,63	5	1000	10,00	5	96,1	92,3	39,48
Optimizasyon	5,27	3	1000	10,00	3	88,76	89	38,98

Optimizasyon çalışmaları ile Test 2'nin deneysel şartları karşılaştırıldığında, karıştırma hızı ve katı konsantrasyonunun değişmediği ancak yağ miktarının optimizasyon deneyinde iki katı olduğu, aglomerasyon zamanının daha kısa ve pH değerinin daha düşük olduğu göze çarpmaktadır. YKV değerleri ve S/G oranları karşılaştırıldığında ise Test 2'nin sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Taguchi deney tasarımını kullanarak yapılan çalışmalarda amaç optimal sonuçlara ulaşmaktır. Bu sonuç, bazen tasarımda verilen mevcut deneylerden herhangi birisi olabilirken bazen de tasarımın önerdiği deney sonucu olabilmektedir [20]. Bu nedenle doğrulama deneyinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada ise tasarımda yapılan deneylerden Test 2 ile optimum sonuçlar elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Karadon (Zonguldak) kömürünün yağ aglomerasyonu davranışı, Taguchi tasarım metodu kullanılarak araştırılmıştır. Aglomerasyon deneyleri ile elde edilen aglomeratların YKV değerleri S/G oranına dönüştürülerek anlam analizi gerçekleştirilmiş ve optimizasyon sonrası yapılan doğrulama deneyi ile Test 2'den elde edilen sonuçların optimum olduğu anlaşılmıştır. Ulaşılan optimum koşullar; gazyağı konsantrasyonu, aglomerasyon zamanı karıştırma hızı, katı konsantrasyonu ve pH için sırasıyla 2,63 g/dm³, 5 dak, 1000 dev/dak, 10 g/dm³ ve 5 olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda yapılan yağ aglomerasyonu sonrası elde edilen aglomeratların YKV değerinin ortalama %94,2 ve ortalama aglomerat boyutunun ise 1 mm olduğu tespit edilmiştir. Yine Test 16 ise belirlenen şartlarda en büyük aglomerat boyutu (ortalama 5-7 mm) elde edilmesine rağmen YKV değerinin %78,75 olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak Taguchi deneysel tasarımının kullanılmasıyla geleneksel yöntemlere kıyasla daha az sayıda deney ile farklı şartlarda deney yapmak ve optimum sonuçlara ulaşmak mümkündür.

6. KAYNAKLAR

1. Somasundaran, P., 1980. Principles of Flocculation, Dispersion, and Selective Flocculation, In: Fine Particle Processing, P. Somasundaran (ed.), AIME, New York, 947-975.
2. Capes, C.E., Darcovich, K., 1984. A Survey of Oil Agglomeration in wet Fine Coal Processing, Powder Technology, 40, 43-52.
3. Laskowski, J.S., 1992. Oil Assisted Fine Particle Processing, In: Colloid Chemistry in Mineral Processing, J.S. Laskowski and J. Ralston (eds.), Elsevier, New York, 361-394.
4. Yazar, B., 1988. Flotation, In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. B2(23), VCH, Weinheim, 1-29.
5. Warren, L.J., 1975. Shear Flocculation of Ultrafine Scheelite in Sodium Oleate Solutions, Journal of Colloid and Interface Science, 50, 307-318.
6. Labuschagne, B.C.J., 1986. Relationships Between Oil Agglomeration and Surface Properties of Coal: Effect of pH and Oil Composition, Coal Preparation, 3, 1, 1-13.
7. Capes, C.E., 1980. Principles and Applications of Size Enlargement in Liquid Systems, Fine Particles Processing, AIME, 2, 1442-1462.
8. Kılınç Aksay, E., Arslan, V., Polat, H., 2010. Toz Kömürlerin Zenginleştirilmesinde Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ve Yenilikler, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 23, 2, 97-108.
9. Ünal, İ., Aktaş, Z., Olcay, A., 2000. Bitümlü Kömür ve Linyitin Yağ Aglomerasyonu, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 251-260.
10. Aktas, Z., 2002. Some Factors Affecting Spherical oil Agglomeration Performance of Coal Fines, International Journal of Mineral Processing, 65, 177-190.
11. Cebeci, Y., Ulusoy, U., Simsek, S., 2002. Investigation of the Effect of Agglomeration Time, pH and the Various Salts on the Cleaning of the Zonguldak Bituminous Coal by Oil Agglomeration, Fuel, 81, 1131-1137.
12. Cebeci, Y., 2003. Investigation of Kinetics of Agglomerate Growth in Oil Agglomeration Process, Fuel, 82, 1645-1651.

13. Cebeci, Y., Sonmez, I., 2006. Application of the Box-Wilson Experimental Design Method for the Spherical Oil Agglomeration of Coal, *Fuel*, 85, 289–297.
14. Aslan, N., Unal, I., 2009. Optimization of Some Parameters on Agglomeration Performance of Zonguldak Bituminous Coal by Oil Agglomeration, *Fuel*, 88, 490–496.
15. Taguchi, G., 1990. *Introduction to Quality Engineering*, New York, NY: McGraw-Hill Book Co.
16. Şirvancı, M., 1997. *Kalite İçin Deney Tasarımı 'Taguchi Yaklaşımı'*, İstanbul, Literatür Yayıncılık.
17. Chary, G., Dastidar, M., 2010. Optimization of Experimental Conditions for Recovery of Coking Coal Fines by Oil Agglomeration Technique, *Fuel*, 89, 2317–2322.
18. Sahinoglu, E., Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, *Energy Conversion and Management*, 49, 3684–3690.
19. Duzyol, S., 2015. Investigation of Oil Agglomeration Behaviour of Tuncbilek Clean Coal and Separation of Artificial Mixture of Coal–Clay by Oil Agglomeration, *Powder Technology*, 274, 1–4.
20. Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C.Y., Meral, G., 2014. Frezeleme İşlemlerinde Titreşimi ve Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu, *S.D.Ü. Teknik Bilimler Dergisi*, 4,1, 37–44.

Hazır Beton Üretiminde Atık Yönetimi: Türkiye'deki Taze Beton Atığının Durumu

Mehmet Sait ANDAÇ^{*1}, Emel ORAL²

¹Melikgazi Mah. Uzay Cad. 40/17 Melikgazi, Kayseri

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, Türkiye genelinde hazır beton atıklarının geri dönüşümünün nasıl sağlandığı, geri dönüşüm üniteleri ve bu ünitelerin kullanım şekilleri ile kullanımlarının işletmeye ve çevreye getireceği faydalar incelenmiştir. Konu ile ilgili incelemelerin yapılabilmesi için gerekli veriler Türkiye genelinde, Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB)'ne bağlı işletmelerden anket yolu ile toplanmıştır. Çalışmanın sonunda anket ile Türkiye genelinde kullanılabilir veriler elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak Türkiye için taze betonun geri dönüşümünün ne derece önemli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hazır beton, Taze beton, Geri dönüşüm, Yıkama, Çevresel etki

Waste Management in Ready Mixed Concrete Production: The Case of Fresh Concrete Waste in Turkey

Abstract

The aim of this study is mainly to discuss and analyse how recycling of RMC waste is achieved, how the recycling units are used and what the environmental advantages are in Turkey. The required data has been collected by a questionnaire survey which has been undertaken with the members of Turkish Ready Mixed Concrete Organization (TRMCO). The data obtained and results of the study show the importance of recycling in terms of both environment and national economics and provide a reference point to Turkish RMC producers and government in order to compare the production output related with recycling of concrete.

Keywords: Ready mixed concrete, Fresh concrete, Recycling, Wash out, Environmental impact

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Sait Andaç, mehmetandac@hotmail.com

1. GİRİŞ

Ülke ekonomisinin lokomotifi olarak adlandırılan inşaat sektörünün en önemli girdilerinden biri olan hazır beton, yapı kalitesine ve dayanımına direkt etkileri ile ön plana çıkan bir malzemedir. Yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak beton dayanımı, betonun kalitesi, betonun kullanım alanları ve farklı ortamlarda kullanım şartlarına odaklanmasına rağmen son zamanlarda konu ile ilgili duyarlılığın ve dünya çapında yaptırımların artması ile beton üretimi sürecinde ve sonrasında oluşan artık (farklı geri dönüşüm yöntemleri ile bileşenleri veya kendisi tekrar kullanılabilir beton) ve atıkların (hiçbir şekilde tekrar kullanımı mümkün olmayan ve özel yöntemlerle bertaraf edilmesi gereken beton) çevresel etkileri ve geri dönüşümü konularında da çalışmalar başlamıştır.

Yapılan literatür çalışmaları geri dönüşüm işleminin hem ekonomik hem de çevresel etkileri ele alındığında son derece gerekli olduğunu göstermektedir. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'nin 2013 verilerine göre 102 milyon m³[1] hazır beton üretimi ile Avrupa'nın en büyük üreticisi olan Türkiye'de konu ile ilgili durumun ne olduğu bilinmemektedir. Bu çalışmanın amacı da Türkiye'de hazır beton üretimi sırasında oluşan artık ve atıkların geri dönüşümüyle ilgili durumun belirlenmesi olmuştur. Bu amaçla Türkiye Hazır Beton Birliği'ne (THBB) bağlı işletmelerle bir anket çalışması düzenlenmiştir. Anket çalışması ile tesislerin geri dönüşüm ünitesine sahip olup olmadıkları, geri dönüşüm ünitesine sahip olan tesislerin üniteyi hangi oranla kullandığı ve geri dönüşümle elde edilecek kazançlar ile kullanılmadığı zamanki kayıplar ortaya konmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hazır beton üretimi süreci incelendiğinde gerek işletmeden kaynaklı gerek müşteriden kaynaklı, gerekse üretimin doğasından kaynaklı atık oluşumunun kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Oluşan bu atıklar sebeplerine göre şu şekilde gruplandırılabilir:

- Transmikserlerde boşaltılamayan ve tamburda kalan betonlar,
- Pompaların kazanlarında kalan betonlar,
- Müşteri tarafından iade edilen betonlar,
- Hatalı üretilen betonlar,
- Sevkiyat veya üretim sırasında araçlardan ve dolmuş ünitelerinden kaynaklı kaçakların neden olduğu atıklar [2].

Yapılan literatür araştırmasında sevkiyat ve üretim sırasında araçlardan ve dolmuş ünitelerinden kaynaklı kaçaklar ve firmalarda hatalı üretilen betonlardan dolayı meydana gelen atıklar hakkında sayısal verilere rastlanamamıştır. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalar araçlarda kalan beton miktarı ve müşterilerce iade edilen beton miktarı hakkında net değerler vermektedir. Hazır beton sevkiyatında ve yerleştirilmesinde kullanılan transmikser ve pompa gün sonunda yaklaşık 200-400 kg atık beton ile tesise geri dönmektedir [3]. Hazır betonun ortalama 2 saat plastik kıvamda kalması nedeniyle beton sevkiyatları arasında uzun bekleme süreleri oluşursa araç içerisindeki betonun boşaltılması zorunluluğu doğmakta bu nedenle kimi zaman araçlar günde 2 veya daha fazla yıkanmaktadır. Bu durum da, oluşan atık miktarını ve yıkama suyu miktarını artırmaktadır. Asadollahfardi ve arkadaşlarının çalışmasına göre 8 m³ kapasiteli bir transmikserin her sevkiyatında 250 kg'ının veya tamburdaki 8 m³'ün hacimsel olarak %1-4 oranında boşaltılamadığı görülmüştür [4].

Kou ve arkadaşlarının Hong Kong'da yaptığı çalışma, günlük üretim kapasitesi 1,000 m³ olan bir tesiste günde 8-10 ton (3-4 m³) arası atık beton oluştuğunu göstermiştir [5]. Böyle bir tesiste yıllık oluşan atık beton miktarı 3,000 ton'u bulmaktadır. Bu rakam da bir tesisin yaklaşık bir günlük üretimine denk gelmektedir. Ayrıca, uygulamada pompa kazanlarında 0,4 m³ beton gün sonunda kullanılmayan beton olarak tesise döner ve ağırlığı 1 ton'dur. Günde sadece 1 kere pompa temizliği yapıldığında yılda yaklaşık 300 ton betonun atık hale geldiği görülmektedir. Aynı tesiste birden fazla pompa olduğu düşünülürse tesiste yıllık, yaklaşık 1,000 ton beton sadece pompa kazanlarında kalan betonlardan dolayı atık hale gelmektedir. Betonun 1 m³'ünün yaklaşık 2,5 ton olduğunu ve bu 2,5 ton'un yaklaşık 1,9 ton'unun

agrega, 0,4 ton'unun çimento ve 0,2 ton'unun su olduğu düşünülürse böyle bir tesiste yaklaşık 760 ton agrega, 160 ton çimento, 80 ton su boşa gitmektedir.

Elbette betonun sevk edildiği ve yerleştirilmesi için kullanılan araçların içerisinde kalan beton miktarının dışında müşterilerin tesise iade ettikleri betonlar da atık beton olarak kabul edilmektedir. İadeden dolayı oluşan atıklar hakkında çalışmalar incelendiğinde üretimin yoğun olmadığı zamanlarda toplam üretimin %0,4-0,5 oranındaki betonun müşterilerce iade edildiği görülmektedir [6-7]. Ancak üretimin daha yoğun olduğu dönemlerde bu oran %5-9'a kadar çıkmaktadır [7]. Küresel olarak bakıldığında yıllık iade edilen beton miktarı 125 milyon tondur [7]. Bu miktardaki betonun üretilmesi için 95 milyon ton agrega, 20 milyon ton çimento, 10 milyon ton su gereksiz yere tüketilmektedir. Ancak burada iade edilen betonun tamamının atık olarak düşünülmemesi gerektiği de belirtilmelidir. İade edilen betonlardan uygun kalitede olanları başka projelere yönlendirilerek atık miktarı azaltılabilmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Türkiye'de yaklaşık 600 kadar hazır beton üretimi yapan işletme ve bu işletmelere bağlı farklı bölgelerde kurulmuş 1080 adet tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin yıllık toplam üretimi ise Türkiye Hazır Beton Birliği'nin 2014 yılı verilerine göre 107 milyon m³'tür [8]. Ancak bu işletmelerden yaklaşık 80 adedi birliğe üye ve bu üyelerin sahip olduğu 314 adet tesiste 60 milyon m³ beton üretilmektedir. Anket çalışması için birliğe bağlı bütün işletmelere ulaşılmış ve bu işletmelere ait farklı bölgelerdeki 314 tesisin 260 tanesinden cevap alınmıştır. Ankete katılan işletmelerin toplam üretim miktarları 44.175.000 m³'tür ve bu miktar birliğe bağlı üyelerin toplam üretiminin %73'ünü kapsamaktadır.

3.1. Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi

Araştırmanın geçerliliği için ankete katılan örneklem sayısının doğru seçilmesi gerekmektedir. Ankete ait örneklem sayısı ana kütle

büyükliğünün bilinip bilinmemesine göre aşağıdaki eşitliklerden birisi ile hesaplanır. Ana kütle büyüklüğü bilinmiyorsa eşitlik 1 ana kütle büyüklüğü biliniyorsa eşitlik 2 kullanılır [9].

$$n = \left[\frac{t^2 * p * q}{d^2} \right] \quad (1)$$

$$n = \left[\frac{N * t^2 * p * q}{(N - 1) * d^2 + (t^2 * p * q)} \right] \quad (2)$$

Eşitliklerde:

n = Örneklem büyüklüğü

t = Çift yönlü t tablosunda olasılık düzeyine karşılık gelen değer. (Bu çalışma için %95 olasılık düzeyine karşılık gelen t değeri 1,96'dır)

p = İncelenen özelliğin toplumda "yaklaşık" sıklık oranı (%95 güven aralığı için p = 0,5)

q = 1-p (q = 0,5)

d = İncelenen özelliğin sıklığı olarak bulunması düşünülen değerdeki kabul edilebilir yanılma payıdır. Hata payı d, araştırmacı tarafından belirlenen, 0,01'den 0,1'e kadar olan değerdir. (Bu çalışmada yanılma payı 0,05 olarak alınmıştır.)

N = Evrenin (ana kütle) büyüklüğü

Bu çalışmada evren büyüklüğü bilindiği için eşitlik 2 kullanılmıştır.

Çalışmadaki evren büyüklüğü farklı kriterlere göre değerlendirilmiştir. Bu kriterler şu şekilde gruplanmıştır:

- Türkiye Hazır Beton Birliği'ne bağlı işletme sayısı (adet)
- Türkiye Hazır Beton Birliği'ne bağlı işletmelerin toplam tesis sayısı (adet)
- Türkiye Hazır Beton Birliği'ne bağlı tesislerin toplam beton üretim miktarları (m³)

Araştırmanın geçerliliği için 3 ayrı kritere göre farklı örneklem büyüklüğü bulunmuş ve ankete katılımın bu üç kriter içinde sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Buna göre farklı kriterlere göre olması gereken en az örneklem büyüklükleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı kriterlere göre gerekli olan örneklem büyüklükleri

Kriter	Birim	Evren	İdeal Örneklem Büyüklüğü	Örneklem Büyüklüğü
1 İşleme Sayısı	Adet	80	67	58
2 Tesisi Sayısı	Adet	314	173	260
3 Beton Üretim Miktarı	m ³	60.000.000	384	44.175.000

Anketin uygulandığı işletme sayısı $58 < 67$, tesis sayısı $260 > 173$ ve anketin yapıldığı tesislerin toplam üretim miktarı $44.175.000 > 384 \text{ m}^3$ olmasından dolayı anket tesis sayısı ve üretim miktarı açısından incelendiği takdirde dönüşü geçerli kabul edilmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

İnşaat işlerinde temel olarak iki farklı beton atığı oluşmaktadır. Bu atıklardan birincisi sertleşmiş beton atıkları, ikincisi ise henüz prizini almadan atık (artık beton)hale gelen taze betondur. Hazır beton tesislerinde süreç gereği üretimden sonra ilk olarak artık betonun oluşumu gözlenir. Artık beton herhangi bir şekilde kullanılmaz veya geri dönüştürülmezse beton içerisindeki çimento zaman içerisinde tepkimeye girerek sertleşir ve “atık beton” haline gelir. Atık hale gelen beton ise herhangi bir şekilde işlenemez ve mutlaka bertaraf edilmesi gerekir. Bu çalışmanın amacı henüz prizini almamış taze beton artıklarının işletmelere ve çevreye etkilerini ve yapılması gerekenleri incelemek olduğu için ileride açıklanacak bütün başlıklar taze beton artıkları ile ilgilidir.

4.1. Anket Analizi

Anket çalışması ile tesislerde geri dönüşüm ünitesi bulunup bulunmadığı, geri dönüşüm ünitesi bulunan tesislerin üniteyi ne oranda kullandıkları sorulmuş ve geri dönüşüm ünitesini kullanım sıklıklarına göre tesisler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yapılırken tesisler öncelikle geri dönüşüm ünitesi bulunan ve bulunmayan olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Bu ana gruplardan geri dönüşüm ünitesi bulunan tesisler, kullanım oranlarına bağlı olarak:

- 1) Çok yüksek: %80-%100 oranında
- 2) Yüksek: %60-%80 oranında
- 3) Orta: %40-%60 oranında
- 4) Düşük: %20-%40 oranında
- 5) Çok düşük: %0-%20 oranında

kullanım olarak ayrılmıştır. Geri dönüşüm bulunmayan tesisler ise çökeltme havuzu bulunan ve çökeltme havuzu bulunmayan tesisler olarak ayrılmış ve Çizelge 2’de bütün sınıflandırmalar gösterilmiştir.

Çizelge 2’de görüldüğü gibi geri dönüşüm ünitesi bulunan tesislerin sayısı ankete katılan tesislerin %75,39’udur. Ancak geri dönüşüm ünitesinin çok yüksek düzeyde kullanılma oranı ankete katılan tesisler arasında %28,46’dır. Orta düzeyde kullanım ise %27,31 oranındadır. Çok düşük düzeyde kullanılan tesislerin oranı ise ankete katılan tesislerin %19,62’sidir. Bir tesisin geri dönüşümden tam anlamıyla faydalanması için kullanım oranının, en azından çok yüksek kullanım oranının alt sınırı olan %80 civarında olması beklenmektedir. Bu durumda, tesislerde her ne kadar geri dönüşüm ünitesi olsa da ünite aktif olarak kullanılmadığı sürece tesise gelen taze betonun agrega ve çimentolu suya dönüştürüldüğü söylenemez.

THBB’ne bağlı üye işletmelerin tesislerindeki durum incelendiğinde Çizelge 3’deki veriler elde edilmektedir

Verilerin tutulması veya paylaşılması konusunda bir sınıflandırmaya gidilmesinin en önemli sebebi anket soruları yöneltilen tesislerin bazılarının verileri düzenli olarak tutmadıklarının belirlenmiş olmasıdır.

Çizelge 2. Geri dönüşüm ünitesi kullanım oranına göre dağılım

	İşletme Sayısı (Adet)	Tesis		Üretilen Beton		
		Sayısı (Adet)	Oranı (%)	Miktarı (m ³)	Oranı (%)	
Ankete Katılan Toplam		59	260	100	44.175.000	100
Geri Dönüşüm Bulunan	Kullanım Oranı					
	Çok Yüksek (%80-%100)	15	74	28,46	12.075.000	27,34
	Yüksek (%60-%80)	0	0	0,00	0	0,00
	Orta (%40-%60)	4	71	27,31	11.500.000	26,03
	Düşük (%20-40)	0	0	0,00	0	0
	Çok Düşük (%0-%20)	14	51	19,62	8.770.000	19,85
Geri Dönüşüm Bulunmayan	Çökeltme Havuzu Bulunan	25	63	24,23	11.655.000	26,38
	Çökeltme Havuzu Bulunmayan	1	1	0,38	175.000	0,40

Çizelge 3. Tesislerde oluşan artık beton miktarları

	Geri Dönüşüm Ünitesi Kullanım Oranı		Tesis Sayısı (Adet)	Üretilen Beton (m ³)	Oluşan Artık	
					Miktarı (m ³)	Oranı (%)
Geri Dönüşüm Ünitesi Bulunan	Çok Yüksek (%80-%100)	Veri Tutulan Tesisler	74	12.075.000	51.930	4,3
		Veri Tutulmayan Tesisler	0	0	0	0
	Yüksek (%60-%80)	Veri Tutulan Tesisler	0	0	0	0
		Veri Tutulmayan Tesisler	0	0	0	0
	Orta(%40-%60)	Veri Tutulan Tesisler	71	11.500.000	63.000	5,5
		Veri Tutulmayan Tesisler	0	0	0	0
	Düşük (%20-40)	Veri Tutulan Tesisler	0	0	0	0
		Veri Tutulmayan Tesisler	0	0	0	0
Çok Düşük (%0-%20)	Veri Tutulan Tesisler	35	6.370.000	26.700	4,2	
	Veri Tutulmayan Tesisler	16	2.400.000	0	0	
Geri Dönüşüm Ünitesi Bulunmayan	Çökeltme Havuzu Bulunan	Atıksız Çalıştığını İddia Eden Tesisler	11	1.430.000	0	0
		Veri Tutulan Tesisler	42	6.325.000	33.534	5,3
		Veri Tutulmayan Tesisler	6	900.000	0	0
		Veri Paylaşmayan Tesisler	4	3.000.000	0	0
	Çökeltme Havuzu Bulunmayan	Veri Tutulan Tesisler	1	175.000	600	3,4
Veri Tutan Tesisler Toplamı (Atıksız Çalıştığını İddia Eden Tesisler Hariç)				36.445.000	175.764	4,8
Veri Tutan Tesisler Toplamı (Atıksız Çalıştığını İddia Eden Tesisler Dahil)				37.875.000	175.764	4,5
Veri Tutmayan ve Paylaşmayan Tesisler Toplamı				6.300.000	0	0
Toplam Üretim				44.175.000	175.764	4,0

Verileri tutmayan tesisler Çizelge 3'te de görüldüğü gibi genel olarak ya geri dönüşüm ünitesi olmayan ya da geri dönüşüm ünitesi bulunan fakat ünitelerini hiç kullanmayan tesislerdir. Bu noktadan yola çıkarak düzenli veri tutan tesislerin, geri dönüşüme önem veren tesisler olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum da tesislerdeki yönetim anlayışının geliştikçe farklı yönlerde de etkisinin olduğunun bir göstergesidir. Örneğin çok yüksek ve orta düzeyde geri dönüşüm ünitesi kullanım oranı olan toplamda 145 (74 adet çok yüksek düzeyde geri dönüşüm ünitesi kullanım oranına sahip tesisler + 71 adet orta düzeyde geri dönüşüm ünitesi kullanım oranına sahip tesis) adet tesiste gerekli veriler tutulmuşken çok düşük düzeyde geri dönüşüm ünitesi kullanım oranı olan toplam 51 tesisin 35 tanesinde veri tutulmakta fakat 16 tesiste veri tutulmamaktadır. Geri dönüşüm ünitesi bulunmayan 64 tesisin 6 tanesinde de veri tutulmamaktadır.

Atıksız çalışıldığını öne süren tesislerin nasıl bu şekilde çalıştıkları irdelendiğinde ise aslında tesislerin atıksız çalışmadıkları, ancak oluşan atıkları tesis sahasına almadıkları ortaya çıkmıştır. Bu ise atıksız çalışmak anlamına gelmemekte, sadece oluşan atığın bir şekilde tamamen bertaraf

edildiği ve tesise atık dönüşü olmadığı anlamına gelmektedir.

Ankete katılan tüm işletmelerin genelinde değerlendirme yapıldığında atıksız çalıştığını iddia eden tesisler hariç veri tutulan tesislerdeki toplam beton artığı ve toplam üretim miktarları karşılaştırıldığında binde 4,8 oranında artık oluştuğu görülmektedir. Bu oran atıksız çalıştığını iddia eden tesislerin dahil edilmesi ile binde 4,5 oranına düşmektedir. Ayrıca veri tutmayan veya verileri paylaşmayan tesislerin de dahil edilmesi ile (kısacası ankete katılan tüm tesislerin toplam üretim miktarı ile) belirlenen oran binde 4'tür.

Oluşan beton artıklarından geri dönüşüm üniteleri aracılığı ile belli oranda agrega geri kazanılmaktadır. Kazanılan agrega ise üretimde tekrar kullanılarak hem işletmenin agrega ihtiyacını hem de doğadan elde edilecek agreganın miktarını azaltmaktadır. Bu kazanım ancak geri dönüşüm ünitesi bulunan tesislerde olabilmektedir. Bu nedenle anket çalışması analiz edilirken sadece geri dönüşüm ünitesi olan tesisler göz önüne alınmıştır ve sonuçlar Çizelge 4'de özetlenmiştir.

Çizelge 4. Geri kazanılan agrega miktarları ve oranları

Geri Dönüşüm Ünitesi Kullanım Oranı	Üretilen Toplam Beton Miktarı (m ³) (1)	Oluşan Toplam Artık Miktarı (m ³) (2)	Geri Dönüşüm Oranı (3)	Geri Dönüşüme Giren Beton Miktarı (m ³) (4) = (2) * (3)	Geri Dönüşüme Giren Beton Miktarı (ton) (5) = (4) * 2.5	Elde Edilen Toplam Agregası Miktarı (ton) (6)	1 m ³ Betondan Elde Edilebilir Agregası Miktarı (ton/m ³) (7) = (4)/(6)
Çok Yüksek (%80-100)	12.075.000	51.930	90%	46.737	116.843	79.840	1,71
Yüksek (%60-80)	0	0	70%	0	0	0	0,00
Orta (%40-60)	11.500.000	63.000	50%	31.500	78.750	52.500	1,67
Düşük (%20-40)	0	0	30%	0	0	0	0,00
Çok Düşük (%0-20)	6.370.000	26.700	10%	2.670	6.675	4.510	1,69
Toplam				80.907	202.268	136.850	1,69

Çizelge 4'deki değerler düzenlenirken geri dönüşüm ünitesi kullanım oranlarına göre sınıflandırılmış tesislerin ürettikleri beton toplamlarının yanı sıra tesiste oluşan beton artığının toplamı ele alınmıştır. Üretilen toplam beton sütun (1)'e tesislerde oluşan beton artığı sütun (2)'ye, tesislerde geri dönüşüm ünitelerinin kullanım oranı ise sütun (3)'e yazılmıştır. Bu değerler tesislere uygulanmış olan anketler aracılığı ile elde edilirken sütun (4)'de verilen geri dönüşüme giren beton miktarı değerleri sütun (2) ve sütun (3)'ün çarpılması ile tespit edilmiştir ve toplam artık betonun hacimsel olarak geri dönüşüme sokulduğu kısmını göstermektedir. Sütun (5) ise sütun (4)'ün taze betonun birim ağırlığı olan 2,5 ton/m³ ile çarpılarak bulunmuştur ve geri dönüşüme sokulan artık betonun ağırlığını göstermektedir. Sütun (6) ise ankete katılan tesislerden alınan verilerdir ve bu veriler geri dönüşüm işleminden sonra elde edilen agrega miktarını ton olarak göstermektedir.

Son olarak sütun (7) ise sütun (4)'ün sütun (6)'ya bölümüyle elde edilmiştir ve 1 m³ betondan elde edilebilecek agrega miktarını göstermektedir. Çizelge 4'te verilen toplam değerlere bakıldığında tesislerde ortalama olarak 1 m³ betonun üretimi sırasında ortalama 1,8-1,9 ton [10] agrega kullanılırken yaklaşık 1,69 ton agreganın (Çizelge 4) geri kazanıldığı görülmektedir. Üretime giren ve geri kazanılan agrega arasındaki ağırlık farkı agrega içerisinde bulunan çok ince malzemeden ve agrega kirliliğinden kaynaklanmaktadır.

Ankete katılan ve yaklaşık 44 milyon m³ beton üreten 260 tesiste binde 4,8 (Çizelge 3) oranında artık beton oluşmaktadır. Diğer bir deyişle yaklaşık 200 bin m³ artık oluştuğu hesaplanmaktadır. Eğer sadece THBB bağlı ve ankete katılan firmalar tarafından bile geri dönüşüme önem verilse ve tam anlamıyla geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilse 338 bin ton agreganın geri kazanımı sağlanabilir. Ancak mevcut duruma baktığımızda Çizelge 3'de belirtildiği gibi sadece 137 bin ton agrega geri kazanılmaktadır. Elbette Türkiye genelindeki faaliyet gösteren THBB'ye bağlı veya bağlı

olmayan işletmeler göz önüne alındığı takdirde kazanç daha fazla olacaktır.

5. SONUÇ

Oluşan artık beton miktarı açısından incelendiğinde anket çalışması sonucunda bulunan % 0,4-0,5 oranı Kou ve arkadaşlarının [7] çalışması ile paralellik göstermektedir.

Türkiye'de üretilen toplam beton miktarı olan 107 milyon m³, anket çalışması ile bulunan artık beton oranı olan binde 4,8 ile çarpılması sonucunda ise, farklı sebeplerden dolayı kullanılmayan ve artık olarak adlandırılan betonun miktarı yıllık bazda yaklaşık 500 bin m³ olarak bulunmuştur. 500 bin m³ betonun üretilmesi için yaklaşık 900 bin ton agrega kullanılması gerektiği düşünüldüğünde geri dönüşüm yapılmadan bertaraf edilen betonla birlikte yıllık 900 bin ton agreganın da atık hale geldiği ve geri dönüşüm yapılması sonucunda yaklaşık 800 bin ton agreganın tekrar kullanılabilirdiği görülmektedir. Çevre açısından yararı ise öncelikle doğaya verilecek yıllık 500 bin m³ beton atığından kurtulmak ve üretim için doğadan temin edilen agreganın yılda 800 bin ton azaltılması olacaktır.

107 milyon m³ beton üretimi ile Avrupa'nın en fazla beton üreten dolayısıyla en fazla kaynak tüketen ve çevreye en fazla atık bırakan ülkesi olarak Türkiye'nin kaynakları dikkatli kullanma ve olumsuz çevresel etkileri azaltma konusunda daha dikkatli olması ve gerekli tedbirleri alması gerekmektedir. Alınabilecek en önemli tedbir ise farklı yöntemleri olmasına rağmen Avrupa'da da yaygın olarak kullanılan artık betonun yıkanması esasına dayanan geri dönüşüm ünitelerinin kullanılması olacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya temel teşkil eden doktora tezi Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından (BAP NO: FDK-2014-3234) desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. European Ready Mix Concrete Organization (Ermco) Statistics, 2013.
2. Sealey, B.J., Phillips, P.S., Hill, G.J., 2001. Waste Management Issues for The UK Ready-Mixed Concrete Industry. Resources, Conservation and Recycling, 32(3), 321-331.
3. Sandrolini, F., Franzoni, E., 2001. Waste WashPlants. Cement and Concrete Research, 31(3), 485-489.
4. Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., Asadollahfardi, R., 2015. Experimental and Statistical Studies of Using Wash Water from Ready-Mix Concrete Trucks and A Batching Plant in The Production of Fresh Concrete. Construction and Building Materials, 98, 305-314.
5. Kou, S.C., Zhan, B.J., Poon, C.S., 2012. Feasibility Study of Using Recycled Fresh Concrete Waste as Coarse Aggregates in Concrete. Construction and Building Materials, 28(1), 549-556.
6. Mehta, P.K., 2001. Reducing The Environmental Impact of Concrete. Concrete International, 23(10), 61-66.
7. Ferrari, G., Miyamoto, M., Ferrari, A., 2014. New Sustainable Technology for Recycling Returned Concrete. Construction and Building Materials, 67, 353-359.
8. Türkiye Hazır Beton Birliği, 2014. (THBB) İstatistikler.
9. Bilir, N., Ergör, G., 2015. Saha Araştırmaları, Toraks Derneği, Antalya, http://file.toraks.org.tr/TORAKSFD23NJKL4NJ4H3BG3JH/mse-ppt-pdf/N_BILIR_G_ERGOR.pdf Erişim Tarihi 12/10/2015
10. Türkiye Agrega Üreticileri Birliği (AÜB) İstatistikler, 2013.

Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Şantiye Yerleşim Planlaması

Mustafa ORAL^{*1}, Serkan KARTAL¹, Emel LAPTALI ORAL²

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Yapım işlerinde planlama sürecinin kritik öneme sahip belgelerinden biri olan Şantiye Yerleşim Planı (ŞYP) şantiyede hangi tesisin nereye yerleştirileceğini gösterir. Şantiye tesislerinin kurulumu bu plan temel alınarak gerçekleştirilir. Yapılacak işin büyüklüğü, süresi ve içeriğine bağlı olarak kurulması gereken binaların (atölyeler, depolar, beton tesisleri, ofisler, yemekhane, WC, yatakhane tesisleri, su ve elektrik temin tesisleri, araç bakım, onarım ve park yerleri, sosyal tesisler, dini tesisler gibi) büyüklükleri ve adetleri belirlendikten sonra şantiye alanının topoğrafik yapısı, ulaşım olanakları, kalıcı yapının şantiye içindeki yeri, olası riskler ve taşıma maliyetleri değerlendirilerek ŞYP çizilir. Bu çalışmalar sırasında kullanılacak geçici tesislerin neler olacağını belirlemek ve boyutlandırılması somut ve sayısal değerlere dayandırılabilirken tesislerin şantiye alanı içindeki yerleşimi, ŞYP'ni hazırlayan proje yöneticilerinin tecrübe ve inisiyatiflerine kalmaktadır. Optimum yerleşim planının hazırlanabilmesi konusunda proje yöneticilerine destek olabilecek bilgisayar tabanlı uygulamalara sektör bazında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda yazarlar tarafından genetik algoritma tabanlı bir şantiye yerleşim planı hazırlama programı (YERPLAN) geliştirilmiştir. Program ile ilgili detaylar bu makalede tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Şantiye yerleşim planı, Genetik algoritma, Proje yönetimi

Site Layout Planning by using Genetic Algorithm Approach

Abstract

Site Layout Plan (SLP) that shows the position of each facility on the construction site is one of the critical documents of construction planning process. All the facilities on the site are allocated according to their position on SLP. SLPs are designed by considering; the volume of construction work, completion duration, types and numbers of temporary facilities (workshops, warehouses, concrete plants, offices,

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa ORAL, moral@cu.edu.tr

cafeteria, toilets, rest rooms, water and electricity supply facilities, vehicle maintenance and parking places, social facilities, religious facilities, etc.), as well as, topography of the site area, transportation facilities, fixed facility locations, possible risks and transportation costs. While decisions on identifications and specifications of necessary temporary facilities can be quantified deterministically, their allocations on construction site solely depend on the experiences and the preferences of construction site manager(s). Thus, decision-making software that helps to the project managers to design optimal SLPs is strongly required within the sector. Based on these needs, a SLP software tool (YERPLAN) that is based on genetic algorithm, is developed by the authors. Technical aspects and details of the methods used can be found in the manuscript.

Keywords: Construction site planning, Genetic algorithms, Project management

1. GİRİŞ

Şantiye Yerleşim Planı (ŞYP), kısaca, şantiyede hangi tesisin nereye yapılacağı veya yerleştirileceğinin gösterildiği teknik çizim olarak tanımlanabilir. ŞYP hazırlamak ve yapım süreci boyunca plana uygun tesis yerleşimi yapmak şantiyede gereksiz nakliyeleri, malzeme israfını ve iş kazalarını azaltır.

ŞYP'nin hazırlanabilmesi için öncelikle tesislerin kullanım amacı (atölye, depo, işçi barakaları, lojmanlar, yemekhane, idari bina, araç park yerleri, tamirhane, ibadethaneler, kantin, fırın, sağlık hizmeti veren yerler/revir, güvenlik binaları, sosyal tesisler), büyüklüğü ve sayısının belirlenmesi gerekir. Bu aşamada temel olarak aşağıdaki unsurlar göz önünde tutulur.

1. Şantiye sahasının yeri, topoğrafik yapısı, iklim şartları,
2. Şantiye sahasına ulaşım olanakları, sahaya giriş-çıkış engelleri,
3. Kalıcı yapının şantiye içindeki yeri, sayısı, niteliği,
4. Projenin süresi, iş programı,
5. Şantiyede çalışacak teknik elemanların, ofis çalışanlarının ve işçilerin sayısı, şantiyede konaklama durumları,
6. Şantiyede kullanılacak iş makinelerinin özellikleri, sayısı,
7. Şantiyede depolanacak malzemelerin özellikleri, miktarları, depolama süreleri,
8. Şantiyede yapılacak imalatların özellikleri.

Yukarıda sıralanan unsurlar çerçevesinde belirlenen tesislerin şantiye sahasında yerleşimi iş güvenliği ve taşıma mesafeleri göz önünde bulundurularak, planı hazırlayan teknik elemanın bilgi, tecrübe ve inisiyatifi sınırları içinde gerçekleşir. Uygulamada ŞYP otomasyonu ile ilgili yaygın olarak kullanılan herhangi bir yazılım olmamakla birlikte literatür bulguları ŞYP optimizasyonu ile ilgili az sayıda da olsa çalışma olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalardan ilki Hegazy ve Elbeltagi'nin geliştirdiği genetik algoritma tabanlı bir otomasyon modeli olan EvoSite'dir. Genetik algoritma tabanlı çalışmalardan bir başkası da Sanad ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiş; bu çalışmada iş güvenliği ve çevre koşulları aynı anda göz önünde tutulmuştur [2]. Elbeltagi ve arkadaşları [3] ve Ning ve arkadaşları [4] ise şantiye yerleşiminde iş güvenliği unsurlarının yanı sıra iş programını da göz önünde tutan dinamik modeller geliştirmişlerdir. Ning ve arkadaşları'nın [4] yanı sıra Lam ve arkadaşları [5] ve Yahya ve Saka [6] tarafından geliştirilen ŞYP uygulamalarında Karınca Kolonisi yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilmiş olan YERPLAN, yerleşim planı hazırlama programı, da yerleşim optimizasyonunu Genetik Algoritma yaklaşımıyla çözerken, bu çözüme ulaşabilmek için gerekli bilgileri farklı ara yüzler aracılığı ile elde etmekte, bu özelliği programa optimizasyon konusunda herhangi bir teknik bilgiye sahip olmayan şantiye

elemanları tarafından kullanılabilirliği özelliği katmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) doğada geçerli olan en iyilerin hayatta kalması kuralını temel alan sezgisel ve stokastik bir optimizasyon yöntemidir. Karmaşık, kısıt sayısı fazla ve kesin çözüm yöntemi olmayan problemlerin çözümünde bir çözüm grubu içerisinde sürekli iyileşen (problemin özelinde belirlenmiş kriterlere uyan) çözümlerin aranması temeline dayalı olarak çalışır. İyilerin seçimi için bir uygunluk fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama, değiştirme gibi operatörler kullanır [7]. Problemin çözümüne ait değişken değerlerinden oluşan bir diziyi içeren alternatiflere 'kromozom' adı verilmektedir. Değişkenlerin her birisi ise 'gen' olarak tanımlanır. Bir problemde ne kadar karar değişkeni varsa her kromozomda o kadar gen bulunur [8]. Problem çözümünde kullanılacak birey (kromozom) sayısı 'toplum büyüklüğü' olarak tanımlanmakta, toplum büyüklüğü değerinin gereğinden büyük veya küçük seçilmesi problem çözümünü zorlaştırmaktadır. Gereğinden büyük değerler sonuca geç ulaşılmasına neden olurken, küçük değerler çözümün optimum çözüm uzayı dışında aranmasına neden olmaktadır [9]. Mevcut toplumda bulunan iyi özelliklere sahip bireylerin (kromozomların) bir sonraki aşama için kullanılacak yeni topluma aktarılması da 'uygunluk değeri' ne göre yapılmaktadır. Bir kromozomun uygunluk değeri bazı araştırmacılar tarafından o kromozoma doğrudan atanırken bazı araştırmacılar ise uygunluk değerini 'uygunluk fonksiyonu' oluşturarak hesaplamaktadırlar [10]. Uygunluk fonksiyonu problemin özelliğine göre algoritmanın başında hesaplanır ve toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değerleri belirlenir. Bireylerin uygunluk değerlerine göre üreme, çaprazlama veya mutasyon işlemleri uygulanır [11].

3. UYGULAMA AŞAMALARI

3.1. Şantiye Yerleşim Planı Hazırlama Programı (YERPLAN)

Mevcut araştırma kapsamında inşaat proje yöneticilerine şantiye yerleşim planı hazırlamada yardımcı olacak bir yazılım geliştirilmiştir. YERPLAN-Şantiye Yerleşim Planı Hazırlama Programı-yerleşimi ile ilgili bir dizi bilgi ve veriyi farklı ara yüzler aracılığı ile almakta ve bu verileri Genetik Algoritma yaklaşımı kullanarak değerlendirdikten sonra optimum yerleşim planını kullanıcıya sunmaktadır.

YERPLAN kapsamında kullanıcıdan istenilen bilgi/veriler ve ilgili ara yüzlerin içerikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Proje Adı: Kullanıcının karşısına çıkan ilk ara yüz 'Giriş Ekranı'dır (Şekil 1). Bu ekranda kullanıcıdan proje adının girilmesi istenmektedir. Proje ile ilgili tüm veriler girilen proje adı üzerinden kayıt edilmekte, veri girişi tamamlanmadan programdan çıkılması durumunda var olan proje adı seçilerek işlemlere istenilen yerden devam edilebilmektedir.

2. Projede Kullanılacak Tesislerin Ad ve Adetleri: Programın bu kısmında kullanıcıdan proje süresince kullanılacak geçici tesisler ile projenin konusu olan kalıcı tesislerin adları, adetleri ve boyutlarının girilmesi istenmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi şantiyelerde sıklıkla kullanılan birçok tesisin adı liste halinde ekranda verilmekte, kullanıcı kendi projesinde kullanılacak tesislerin adlarını bu listeden seçebilmekte isterse listeye ekleme de yapabilmektedir. Tesislerin adı girildikten sonra kullanıcı Şekil 3'de gösterildiği üzere tesislerin sayılarını da değiştirebilmektedir.

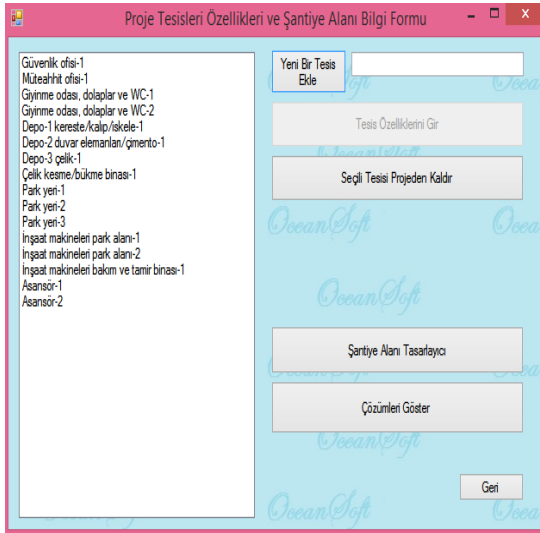
3. Tesislerin Özellikleri: Şekil 2 ve 3'deki ara yüzler kullanılarak tesis adları ve adetleri girildikten sonra Şekil 4'de verilen ara yüz aracılığı ile tesislerin alanı, genişliği, şantiye yerleşim planında olması istenen rengi ve tesisin sabit mi geçici mi olduğu ile ilgili bilgilerin girilmesi istenmektedir.



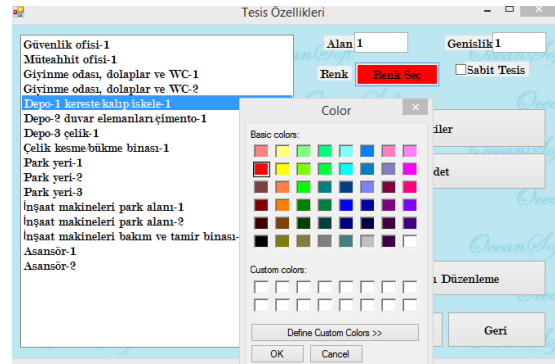
Şekil 1. YERPLAN giriş ekranı



Şekil 3. YERPLAN tesis sayıları giriş ekranı



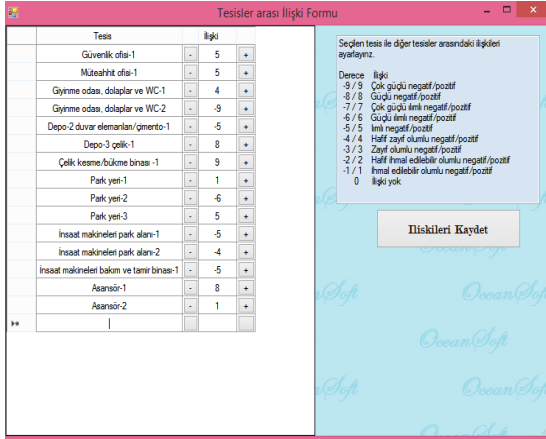
Şekil 2. YERPLAN tesis adları giriş ekranı



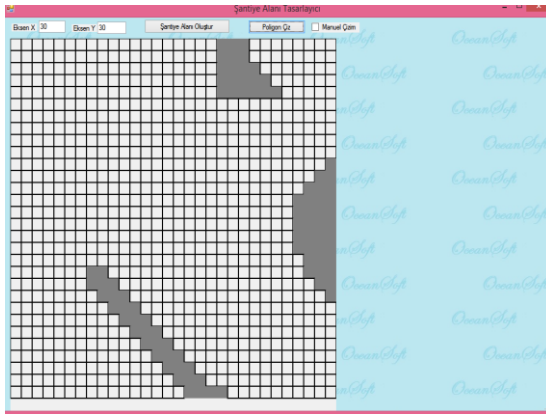
Şekil 4. YERPLAN tesis özellikleri giriş ekranı

4. Tesisler Arasındaki Mesafeler: Şantiye tesislerinin yerleşiminde göz önünde tutulan en önemli faktör tesisler arasındaki taşıma mesafelerinin ve iş sağlığı ve güvenliğini tehdit edecek risklerin aynı anda minimum tutulmasıdır. Bu amaçla şantiye yerleşiminde mevcut olan her bir tesis için Şekil 5’de bir örneği verilen şekilde kullanıcıdan tesisin diğer tesislerle yakınlık derecesini sisteme girmesi istenmektedir. Preston ve Colman’ın [12] yapmış oldukları çalışmada 7-10 seçenekten oluşan Likert ölçeklerinin en yüksek geçerlik ve güvenilirlik değerlerine sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada da, yerleşim planının en hassas ve güvenilir şekilde yapılabilmesi için yakınlık derecesinin -9, +9 aralığında değerlendirip sisteme girilmesi istenmektedir.

5. Şantiye Alanının Ekran Üzerinde Çizilmesi: ŞYP’nin hazırlanabilmesi için tesis özellikleri dışında şantiye alanının şekli de gereklidir. YERPLAN’da şantiye alanı ile ilgili ara yüz ‘Şantiye Alanı Tasarlayıcı’ başlığı altında kareli kâğıt görünümünde kullanıcının karşısına çıkmaktadır (Şekil 6). Ekranda çıkan karelerin x ve y eksenlerinde kaçar adet olacakları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Kullanıcı, belirlenen ölçeklendirme çerçevesinde kareli kâğıdın üzerine şantiyenin şeklini çizip, kaydedilmesi için ‘Poligon Çiz’ butonuna bastıktan sonra kullanıcının şekil üzerinde işaretleyeceği herhangi bir alan yerleşime uygun olmayan alan kabul edilip gri renge taranarak kaydedilmektedir. Bu düzenlemeler sırasında herhangi bir alanın yerleşime uygunluğu konusunda değişiklik yapılmak istenirse istenen bölge işaretlenip, yeniden ‘Poligon Çiz’ butonuna basılarak o alanın uygunluğu değiştirilebilmektedir.



Şekil 5. YERPLAN tesisler arasında olması istenen mesafelerin ölçeklendirilmesi

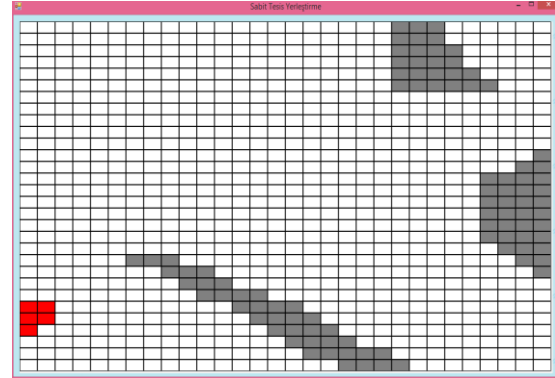


Şekil 6. YERPLAN alan düzenleme ekranı

6. Sabit Tesisin Şantiye Alanı Üzerinde Yerleştirilmesi: Şantiye alanı oluşturulduktan sonra 'Sabit Tesis Yerleştirme' ekranı aracılığı ile kullanıcıdan sabit tesis(ler)in alan üzerinde yerleştirilmesi istenmektedir (Şekil 7).

4. GENETİK ALGORİTMA TABANLI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU

Sabit tesis veya tesislerin yerleştirilmesi ile şantiye yerleşimi ile ilgili bilgi/verilerin kullanıcı tarafından giriş işlemleri bitmektedir. Bu aşamadan sonra program aşağıda sıralanan Genetik Algoritma aşamalarını gerçekleştirmekte ve kullanıcıya elde ettiği optimum yerleşim planını sunmaktadır.

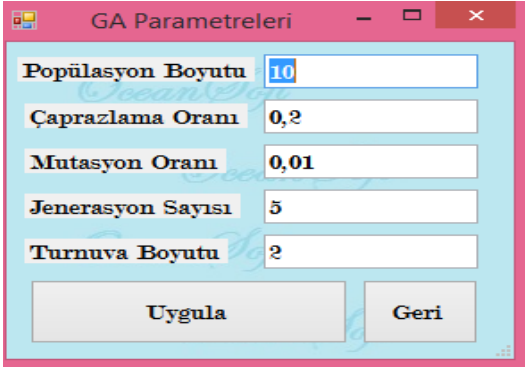


Şekil 7. YERPLAN sabit tesis yerleştirme ekranı

1. Genetik Algoritma parametrelerinin ilk değerlerinin girilmesi: Genetik Algoritmanın ihtiyaç duyduğu parametrelerin; birey sayısı, turnuva seçim metodu için turnuva büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranları gibi değerlerin kullanıcı tarafından istenirse seçilebilmesine izin verilerek, farklı kombinasyonlarda farklı başarımların elde edilebilmesine olanak kılınmıştır. Bu sayede kullanıcı yazılım geliştiricinin öngördüğü kısıtlardan bağımsız olarak kendi kurgusunu test edebilecektir. Yukarıda belirtilen parametreler, Şekil 8'de verilen 'Genetik Algoritma Giriş Ekranı' aracılığıyla kullanıcı tarafından girilir.

2. Başlangıç popülasyonun oluşturulması: Problemin kromozomu, ŞYP'na yerleştirilecek tesis sayısı kadar koordinat ikilisine sahiptir. Her ikili, yerleştirilecek olan tesisin sol üst köşesinin plan üzerindeki koordinatlarını temsil etmektedir. Bu nedenle kromozomdaki gen sayısı tesis sayısının tam iki katıdır. Bir kromozom, problem için önerilmiş bir çözümdür ve tesislerin kromozom üzerindeki konumları sabittir. Başlangıç çözümleri 'Genetik Algoritma Giriş Ekranı'ndan alınan birey sayısı kadardır ve harita üzerine herhangi bir kısıt gözetilmeksizin rastgele yerleştirilen tesislerden oluşmaktadır. Kromozom iki parçalıdır: İlk parça sabit tesislerinin konum bilgilerini, ikinci parça ise sabit olmayan tesislerin konum ikililerini içermektedir. Birinci ve ikinci parçadaki tesislerin kromozom üzerindeki sıraları üretilen tüm çözümlerde sabit tutulmuştur. Bu

özellik çaprazlama işlemi sonucunda oluşacak çocukların tamirini gerektirmeyecektir.



Şekil 8. YERPLAN genetik algoritma konfigürasyon ekranı

3. Tesislerin ağırlık merkezlerinin hesaplanması: Tesisleri temsil eden poligonların ağırlık merkezleri, bu poligonların zaten resim olarak çizilmiş olmasından faydalanılarak, resimlerin ağırlık merkezlerini bulmak için kullanılan moment formülleri temel alınarak hesaplanmıştır. Eğer bir resim $f(x,y)$ fonksiyonu ile ifade ediliyorsa x 'e göre p 'nci, y 'ye göre q 'ncü Genelleştirilmiş Moment (1) ile hesaplanır.

$$m_{p,q} = \sum_{x,y} x^p y^q f(x,y) \quad (1)$$

Bir resmin ağırlık merkezinin X ve Y bileşenleri ise (1)'de verilen Genelleştirilmiş Moment formülünün yardımıyla, sırasıyla, (2) ve (3) ile hesaplanır (Şekil 9).

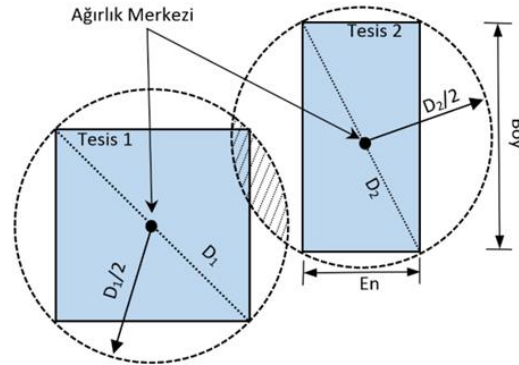
$$x_{AğMer} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}} \quad (2)$$

$$y_{AğMer} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \quad (3)$$

4. Kromozomu oluşturan tesislerin, birbirlerine olan uzaklıklarının hesabı: Bu amaçla tesislerin ağırlık merkezleri arasındaki Öklid mesafesi göz önüne alınmıştır (4). Her bir kromozom için tüm mesafeler $D(i,j)$ adı verilen iki boyutlu bir dizide

sonraki çakışma hesaplarında kullanılabilmek için saklanmıştır. i ve j tesislerin indeks numaralarıdır.

$$D[i,j] = \left((Tesis.i.x_{AğMer} - Tesis.j.x_{AğMer})^2 + (Tesis.i.y_{AğMer} - Tesis.j.y_{AğMer})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$



Şekil 9. Tesislerin çakışma testi için diyagonal uzunluklarının hesabı

5. Her tesis için tesis köşegen uzunluğunun hesaplanması: Köşegenlerin hesabı tesislerin yerleşiminde çakışmaların tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 9'da verilen Tesis1 ve Tesis2 için Köşegen uzunlukları, sırasıyla D_1 ve D_2 ile gösterilmiştir. Tesis Diyagonal uzunluğu (D_n), tesisi içerisine alan bir dikdörtgenin eni ve boyu kullanılarak Pisagor teoreminden hesaplanır.

6. Her kromozom için tesis çakışmalarının hesaplanması: Tesis çakışmalarında iki durum göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar Tesis-Tesis çakışması ve Tesis-Yasaklı Alan Çakışması olarak adlandırılmıştır.

Tesis-Tesis çakışmasında tesislerin ağırlık merkezini merkez alan $D_n/2$ yarıçapında çizilen çemberlerin birbirlerini kesip kesmediği kontrol edilir. Bu hesap maliyeti açısından ucuzdur ve hızlı bir şekilde sonuçlanır. Çemberler kesişmiyor ise çakışma kesinlikle yok demektir. Bu durumda bu yerleşimin kalitesi tesislerin birbirlerine olan yakınlıkları ile ilişkilidir. İki tesis arasındaki Yakın

$$\text{Ceza}(i,j)= \begin{cases} \text{Çakışma yok ise} \\ \text{ve } YOİ \leq 0 \\ \\ \text{Çakışma yok ise} \\ \text{ve } YOİ > 0 \\ \vdots \\ \text{Çakışma var ise} \end{cases} \begin{cases} e^{-\frac{(D(i,j)-D_{min}(i,j))^2}{2 * \left(\frac{\text{Genişlik}_i^2 - \text{Boy}_i^2}{18} * \text{İlişkiDeğeri}(i,j) \right)^2}} \\ \\ \\ 1 - e^{-\frac{(D(i,j)-D_{min}(i,j))^2}{2 * \left(\frac{\text{Genişlik}_i^2 - \text{Boy}_i^2}{18} * (11 - \text{İlişkiDeğeri}(i,j)) \right)^2}} \\ \\ 1.5 + \text{Çakışan piksel sayısı} / \min\{\text{Tesis}_i \text{ Alanı}, \text{Tesis}_j \text{ Alanı}\} \end{cases} \quad (5)$$

Olma İlişkisi'nin (YOİ) kullanıcı tarafında negatif (uzak olmalılar) ya da pozitif olarak belirlenmiş olması durumunda Tesis(i) ve Tesis(j)'nin yerleşiminden elde edilecek ceza puanı Ceza (i,j) (5) kullanılarak hesaplanır.

Burada D(i,j) iki tesis ağırlık merkezleri arasındaki Öklid mesafesini, Dmin(i,j) iki tesisin birbirlerini kesmeden yan yana bulunabilecekleri minimum mesafeyi, İlişkiDeğeri(i,j) ise iki tesis arasındaki Yakın Olma İlişkisini göstermektedir. Eğer çemberlerde bir kesişme var ise bu durumda hesap daha pahalı yöntemlere dayanır. Fakat unutulmaması gerekir ki çemberlerin kesişmesi iki tesisin kesin olarak çakıştığı anlamı taşımamaktadır. Tesis yerleşim planından her iki tesisi içerisine alacak şekilde bir parça koparılır ve burada görüntü işleme teknikleri yardımıyla tesislerin kesişen parçalarının piksel sayısı hesaplanır. Çakışmanın olmaması durumunda piksel sayısı sıfır çıkacak ve çakışma yoktur olarak belirlenerek ceza puanı (5) den hesaplanacaktır. Çakışmanın var olması durumunda, Çakışma miktarı/Tesis alanı oranlarına bakılır. Bu oran her zaman birden küçük bir değer üretir. İki tesisden hangisinde bu oran daha büyük ise bu değere 1,5 eklenerek ceza hesabında kullanılır.

Tesis-Yasaklı Alan çakışmasında ise (5) eşitliğinin çakışmanın var olma koşulundaki adımları uygulanır.

7. Kromozom Uygunluk Hesabı: Tüm Tesis-Tesis, Tesis-Yasaklı Alan çiftleri arasında hesaplanan ceza puanlarının toplamı önerilen çözümün uygunluk değeridir (6). Uygunluk b. bireyin çözüm içerisindeki toplam ceza puanıdır. Bu puanın minimum olması istenmektedir.

$$Uygunluk_b = \sum_{i=1}^{Tesis Sayısı} \sum_{j=1}^{Tesis Sayısı} Ceza(i,j) \quad (6)$$

8. Turnuva Metodu (TM) ile ebeveyn seçimi: Popülasyon içerisinde Turnuva Büyüklüğü sayısı kadar birey rastgele seçilerek bu bireylerden en az ceza puanına sahip olan çözüm birinci ebeveyn olarak belirlenir.

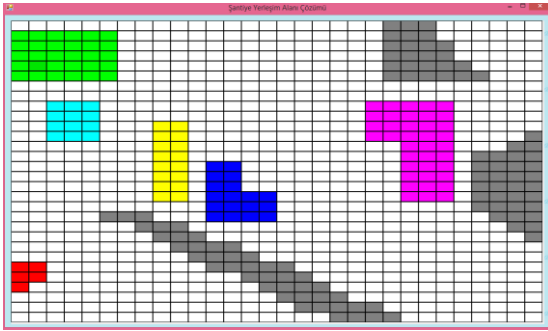
9. Çaprazlama: TM ile elde edilen birey ya doğrudan bir sonraki nesle aktarılır ya da yine TM ile ikinci ebeveyn seçilerek çaprazlama işlemine geçilir. Bu amaçla; [0,1] aralığında rastgele seçilen bir sayısal değer çaprazlama oranından büyük olması durumunda birinci ebeveyn doğrudan bir sonraki nesle aktarılır, küçük eşit olması durumunda ise ikinci ebeveyn seçilerek çaprazlama işlemi uygulanır. Çaprazlama için ise tek noktadan çaprazlama yöntemi seçilmiştir. Tek noktadan ikiye ayrılan gen parçaları çapraz birleştirilerek iki çocuk üretilir ve uygunluk değerleri hemen hesaplanır. Daha iyi olan çocuk bir sonraki nesle aktarılır daha kötü olan çocuk yok edilir. Böylece bir sonraki nesli oluşturacak bireylerin çözüm nitelikleri geliştirilmiş olur.

10. Mutasyon işlemi: Gelecek neslin tamamı elde edildikten sonra bireyler için yine [0,1] aralığında rastgele bir sayı üretilir. Bu sayının mutasyon oranından büyük olması durumunda birey mutasyona uğratılmaz. Eğer sayı mutasyon oranından küçük ve eşit ise bu durumda sabit olmayan tesislerden birisinin koordinatları yerleşim planı üzerinde rastgele bir noktaya taşınır. Bu işlem çözümün yerel minimuma takılmasının önüne geçmek ve arama işleminin sürdürülebilirliğini sağlamak için gereklidir. Her popülasyonun en iyi bireyi her zaman bir sonraki nesle doğrudan aktarılır ve üzerinde mutasyon

işlemine izin verilmez. Böylece o ana kadar elde edilmiş en iyi birey hiçbir zaman kaybolmaz ve algoritma sonlandığında tüm jenerasyonlarda elde edilmiş en iyi çözümün son popülasyon içerisinde kalması sağlanmış olur.

11. Algoritmanın sonlanması: Tüm iterasyonlar sonucunda çakışmaların olmadığı bir çözüm üretilmiş ise bu çözüm ŞYP olarak kullanıcıya sunulur. Eğer bir çözüm bulunamamışsa son popülasyondaki bireylerin %25'i doğrudan aktarılmak üzere yeniden bir başlangıç popülasyonu oluşturularak işlemler tekrar edilir. Her on tekrarda kullanıcıdan aramaya devam edilip edilmeyeceği sorulur.

12. Şantiye yerleşim planının elde edilmesi: Genetik algoritma sonuçları elde edildikten sonra şantiye yerleşim planı Şekil 10'daki örnekteki gibi görsel olarak elde edilmektedir. Örnekte gri renk yerleşime uygun olmayan alanları, kırmızı renk sabit bir tesisi (güvenlik ofisi), yeşil renk park yerini, turkuaz renk müteahhit ofisini, pembe renk inşaat makineleri park alanını, mavi ve sarı renkler ise giyinme odalarının buldukları tesisleri göstermektedirler.



Şekil 10. Şantiye yerleşim planı çıktı ekranı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Genetik Algoritma tabanlı bir şantiye yerleşim planı hazırlama yazılımı (YERPLAN) tanıtılmıştır. Literatürdeki var olan benzer uygulamalar, maliyet fonksiyonunda tesislerin kullanım frekansları ve tesisler arasındaki mesafelere bağlı olarak kat edilen taşıma ve yürüme mesafelerini minimuma

indirmeye çalışırken, YERPLAN, uzman görüşüne dayanan ve her iki kavramı (kullanım sıklığı ve tesisler arası mesafeler) tek bir ilişki matrisi üzerinde birleştirmeyi başarmış ve verimli sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca tesis çakışma testlerinde görüntü işleme yordamlarının kullanımı da bu bağlamda bir yenilik sunmaktadır.

İleriki çalışmalarda, tesisler arasında olması gereken güvenli mesafenin sağlanması, tehlikeli maddelerin güvenli depolanması ve düşebilecek cisimlerin yer aldığı tesislerin uygun bir şekilde konumlandırılması gibi kriterler göz önünde bulundurularak çalışmanın iş sağlığı ve güvenliği kavramlarını da bünyesinde barındıracak şekilde genişletilmesi hedeflenmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir. (Proje No: FBA-2016-5916).

7. KAYNAKLAR

1. Hegazy, T., Elbeltagi, E., 1999. EvoSite: An Evolution-Based Model for Site Layout Planning, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13 (3),198-206.
2. Sanad, H., Ammar, M., Ibrahim, M., 2008. Optimal Construction Site Layout Considering Safety and Environmental Aspects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(7), 536-544.
3. Elbeltagi, E., Hegazy, T., Eldosouky, A., 2004. Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety, *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(4), 534-541.
4. Ning, X., Lam, K.C., Lam, M.C.K., 2010. Dynamic Construction Site Layout Planning Using Max-Min Ant System, *Automation in Construction*, 19(1), 55-65.
5. Lam, K.C., Ning, X., Ng, T., 2007. The Application of the Ant Colony Optimization Algorithm to the Construction Site Layout Planning Problem, *Construction Management and Economics*, 25(4), 359-374.

6. Yahya, M., Saka, M.P., 2014. Construction site Layout Planning Using Multi-Objective Artificial Bee Colony Algorithm With Levy Flights, *Automation in Construction*, 38, 14-29.
7. Oral, M., Oral (Laptalı) E., Bozkurt S., Erdiş E., 2003. Yapım Projelerinde Genetik Algoritma Kullanarak Kaynak Seviyeleme, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18,2, 185-195.
8. şen, Z., 2004. Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
9. Goldberg, D.E., Deb, K. Clark., J.H., 1992. Genetic Algorithms, Noise, and the Sizing of Populations. *Complex Systems*, 6, 333–362.
10. Goldberg, D. E., Deb, K. ve Clark., J. H., 1992. Genetic Algorithms, Noise, and the Sizing of Populations. *Complex Systems*, 6, 333–362.
11. Chan, W., Zeng, Z., 2005. Rescheduling Precast Production with Multi objective Optimization, *Computing in Civil Engineering*, 1-1
12. Preston, C.C., Colman, A.M., 2000. Optimal Number of Response Categories in Rating Scales: Reliability, Validity, Discriminating Power, and Respondent Preferences. *Acta Psychologica*, 104, 1-15.

Taş Ocaklarında Rekültivasyon Uygulaması: Uçucu Küllerin Depolanması Örneği

Bayram Ali MERT*¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atıkların birçok toksik materyal içerdiği bilinmektedir. Bu elementlerin su kaynaklarına sızması, atıkların bertaraf edilmesi ilgili çevresel etkileri açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, faaliyeti bir kaç yılda sona erecek olan bir taşocağı çukuruna termik santrallerden kaynaklı küllerin depolanması amacıyla, söz konusu taşocağının devam eden yıllarındaki üretim planlaması ve simülasyonu yapılarak kül depolama alanlarının ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sonuç olarak termik santrallerden kaynaklı küllerin kalker ocağındaki depolama tesisine ilişkin projenin özellikleri, olası etkileri ve öngörülen önlemler ortaya konularak tasarım parametreleri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rekültivasyon, Atık depolama, Taş ocağı, Uçucu kül

Reclamation of Limestone Quarry: A Case Study for the Storing of Fly Ash

Abstract

It is known that the waste created by a coal-fired power plants include many toxic material. The elements leakage prevention to water resources by eliminating the waste is of great importance for the associated environmental effects. In this study, production planning and simulation was carried out for the suitable storage of the ash into a quarry pit which has activities will end in a few years. As a result, all of the design details were described by putting forward the precautions, possible effects and features of the project about the storage of ash created by a coal-fired.

Keywords: Reclamation, Limestone quarry, Landfill, Fly ash

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Bayram Ali MERT, bali.mert@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Ekonomik kalkınma ve gelişmişliğin belirleyicisi olarak önem arz eden madencilik sektörünün beraberinde getirdiği çevresel zararlar yadsınamaz bir gerçektir. Halihazırda ve terk edilmiş maden ocaklarının hem estetik açıdan, hem de çevresel açıdan çok sayıda zararları mevcuttur [1-5]. Bu çerçevede, madencilik süreçlerinde ya da sonrasında çevrenin korunmasına ve yenilenmesine yönelik önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu amaçla çok sayıda yönetmelik çıkarılmış olup bunlardan biriside madencilik faaliyetleri ile bozulan arazilerin doğaya yeniden kazandırılması dair yönetmeliktir [6]. Bu yönetmeliğe göre madencilik faaliyetleri, malzeme ve toprak temini için arazide yapılan kazılar, dökümler ve doğaya bırakılan atıklarla, bozulan doğal yapının yeniden kazanılması gerekmektedir. Genel olarak rekültivasyon olarak isimlendirilen bu işlemlerin amacı madencilik faaliyeti yapılan alanın madencilik sonrası kullanımı için hazırlanmasına yönelik terk edilen alanın yeniden yararlı hale getirilmesidir [7,8]. Madencilik faaliyetlerinde çok sayıda rekültivasyon uygulaması örneği görülür. Bu çalışmada ise faaliyeti bir kaç yılda sona erecek olan bir taşocağı çukuruna kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklı küllerin depolanması amaçlanmıştır. Örnek olması açısından seçilmiş olan söz konusu termik santralde 10 yılda toplam 3,5 milyon m³ kül oluşacağı tahmin edilmektedir. Santralden kaynaklanacak uçucu kül ve cürufaların bertarafı için iki alternatif öngörülmektedir. Santralden kaynaklanacak uçucu kül ve cürufaların öncelikle çimento fabrikalarına verilmesi planlanmaktadır. Öngörülen ikinci alternatif ise; çimento fabrikasına verilemeyen kül ve cürufaların toplam 165 hektar II A Grup Kalker sahasında kurulması planlanan kül depolama tesisinde, depolanması şeklindedir. Söz konusu kalker ocağında halen faaliyet devam etmekte olup, bu çalışmada küllerin depolanması amacıyla, söz konusu kalker ocağının devam eden yıllarındaki üretim planlaması ve simülasyonu yapılmış, kazı simülasyonları sonucu elde edilen ocak çukuru Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik [9]'a uygun olarak inşa edilerek kül depolama alanı olarak kullanılması planlanmıştır. Çalışma kapsamında analitik

hesaplamalar için Microsoft Excel [10], çizimler için Golden Surfer [11] ve MapInfo [12] yazılımlarından yararlanılmıştır.

2. KALKER OCAĞININ TANIMI

Halen faaliyet göstermekte olan kalker ocağının kazı öncesi ilk halini gösterir topografik haritası Şekil 1'de yer almaktadır.

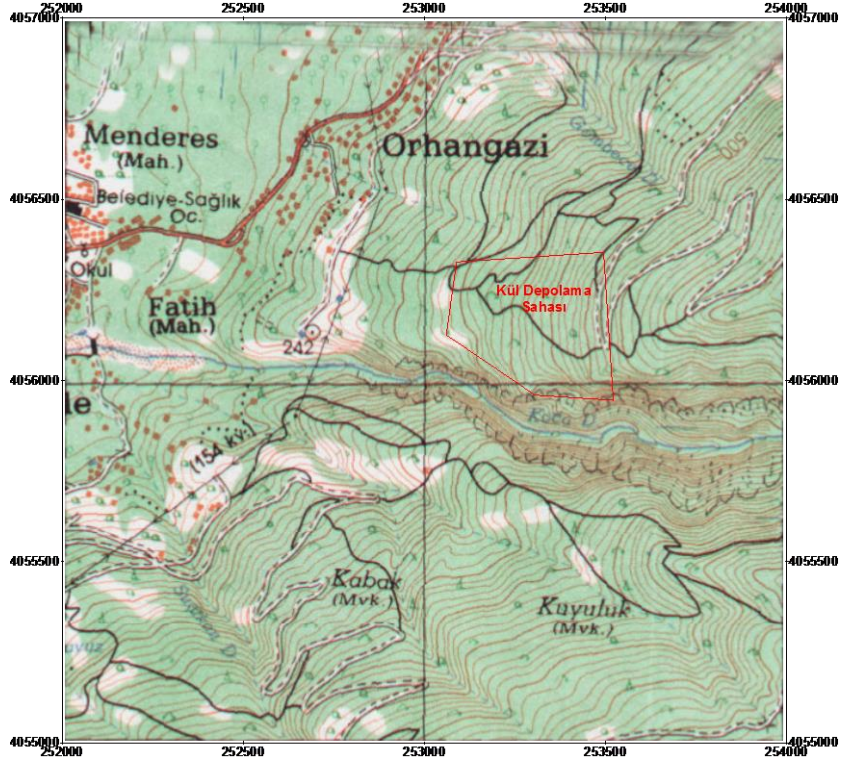
Şekil 2'de jeoloji haritası verilmiş olan söz konusu saha kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan mezozoik yaşlı Karadağ Kireçtaşları (JKk) içinde yer almaktadır [13].

Alt dokanağında Küreci dolomiti, üst dokanağında Amanos olistrostromu ile uyumsuz olarak örtülen birimin kalınlığı yer yer 500 m'yi bulmaktadır [13, 14]. Kül depolama alanı olarak düşünülen sahada temel kayanın kireçtaşı olmasından dolayı taşıma gücü ve duyarlılık açısından bir sorun yaşanmayacağı öngörülmektedir. Hâlihazırda bulunan ocak çukuru ve yapılan kazılardan kül depolama alanının oturduğu alanda yeraltı suyu bulunmadığı bilinmektedir.

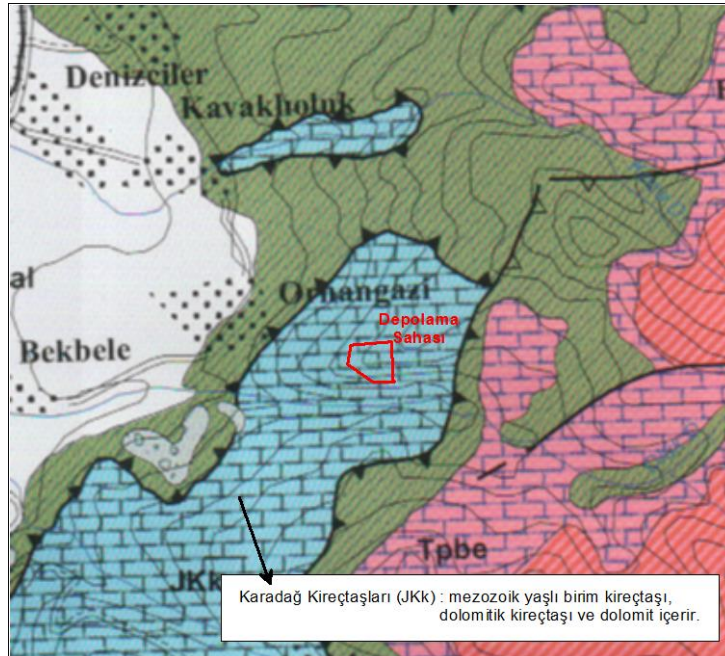
Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından başka ekonomik bir maden varlığı olmayan sahada, güneyden kuzeye doğru röliyef 180 m kotundan 620 m kotuna kadar yükselmektedir.

Kalker ocağı sahasında açık işletme yöntemiyle ve delme-patlatma usulüyle kazı yapılmakta olup hali hazırda 1,8 milyon m³'lük bir ocak çukuru oluşmuş durumdadır (Şekil 3).

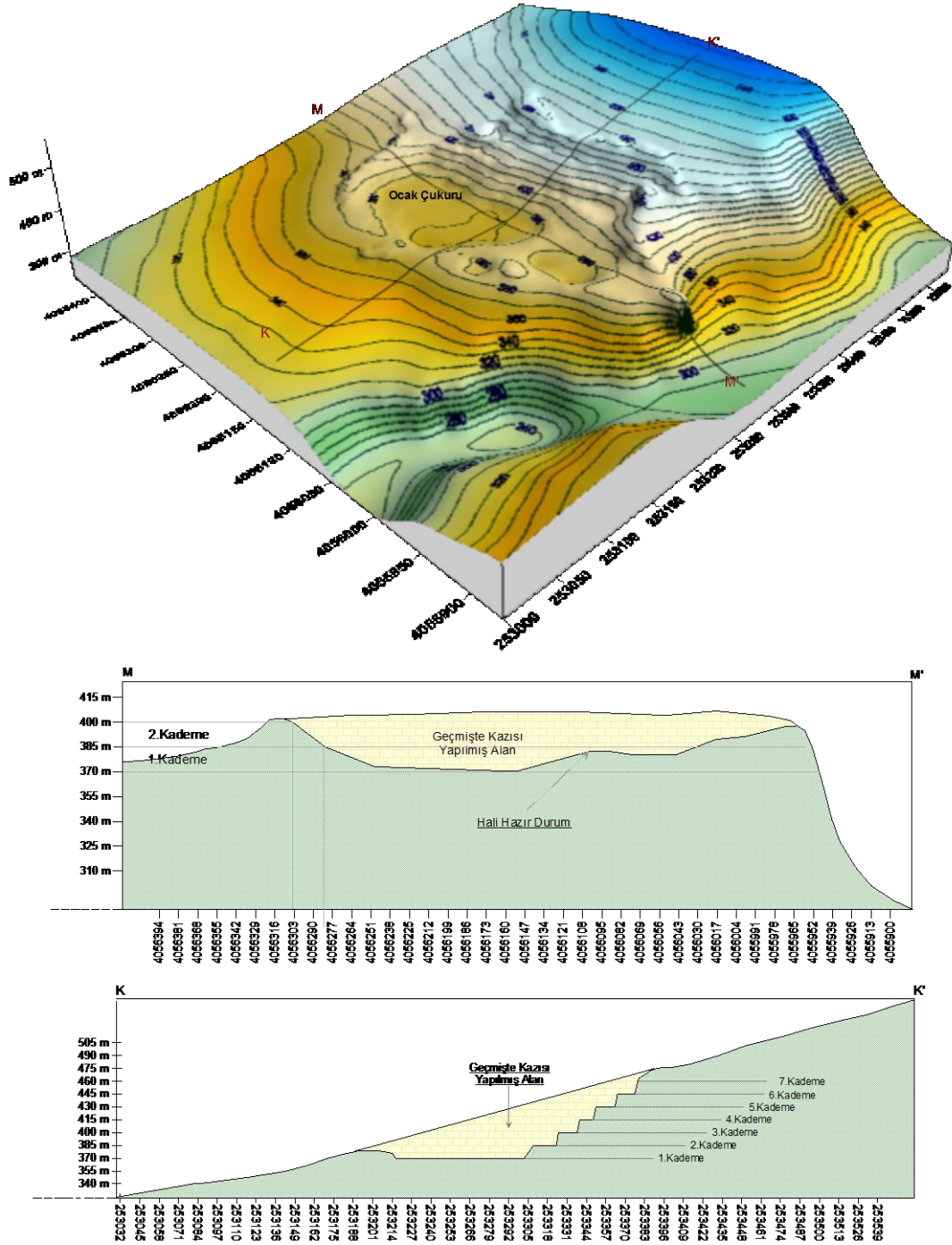
Termik santralin kurulum aşamasına kadar kalker üretim faaliyetlerine devam edilecek olup bu süreçte yaklaşık 1,3 milyon m³ daha kalker üretimi gerçekleştirecektir. Bu çerçevede, kalker ocağının önümüzdeki yıllar için üretim planlaması, yapılan simülasyonlar ile modellenmiş sahanın son durumunu gösterir harita ve kesitler Şekil 4-5'te sunulmuştur.



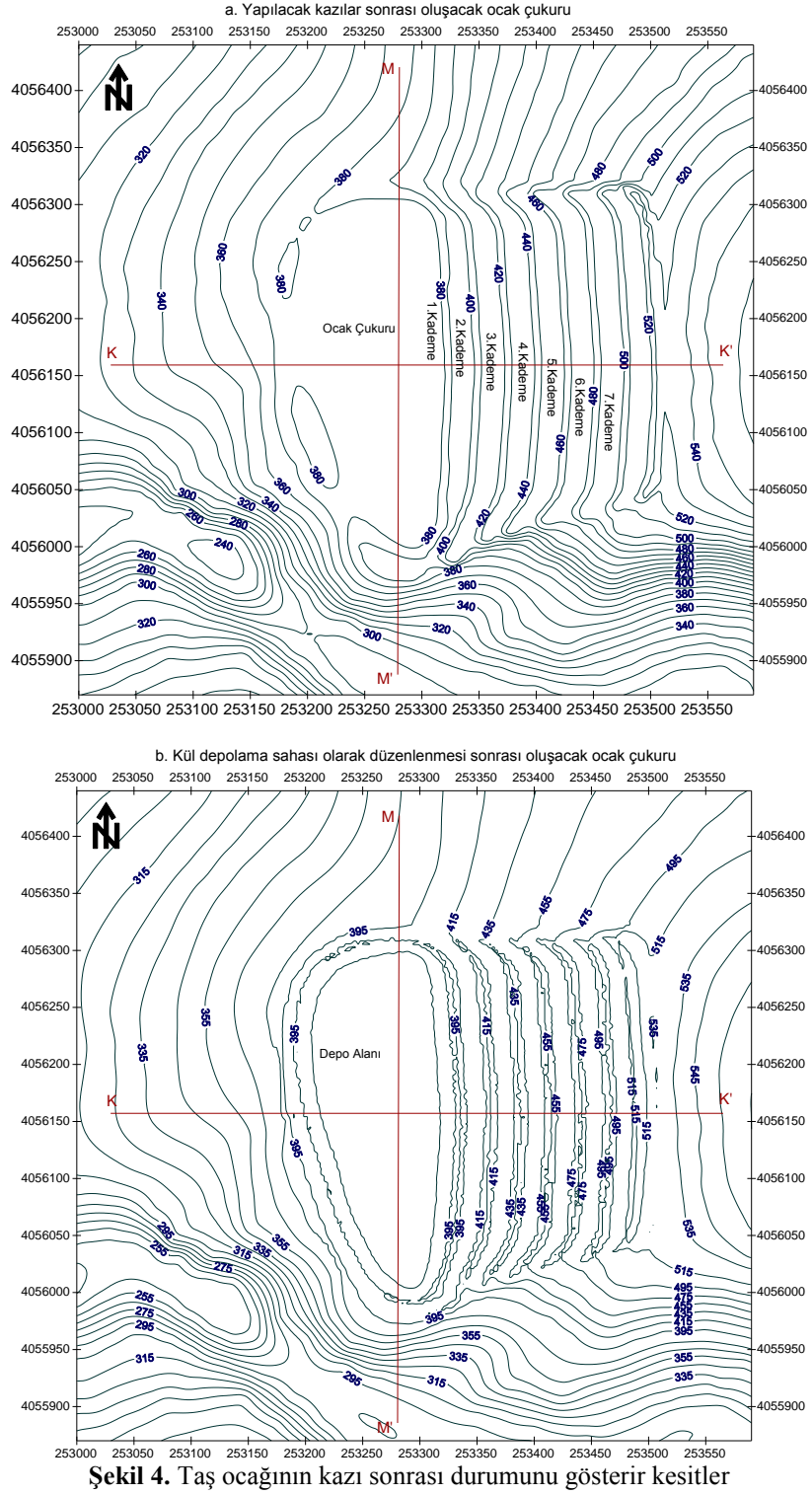
Şekil 1. Kalker ocağı sahasının ilk halini ait topografik haritası



Şekil 2. Saha ve çevresini gösterir jeoloji haritası [15]



Şekil 3. Taş ocağının mevcut durumunu gösterir kesitler



3. DEPOLAMA ALANI TASARIMI

Kül Depolama Alanı'nda Termik Santrali'nden kaynaklanacak ve 10 yıl süre ile toplam miktarının yaklaşık 3,500,000 m³ olacağı öngörülen külün depolanması planlanmaktadır. Bu kapsamda, kalker ocağı maksimum atık depolamaya özen gösterilecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarım çalışmaları, yukarıda belirtilmiş olan atık miktarının tamamının depolanmasına ve düzenli depolama kriterlerine uyulmasına yönelik olarak yürütülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, atık miktarının tamamının depolanabilmesi, sahanın optimum seviyede kullanılması ve en uygun tasarım geometrisinin sağlanması ile olacaktır. Bu çerçevede depolama alanı aşağıda verilen alt başlıklarda tanımlanmaya çalışılmıştır.

3.1. Depolama Alanının Geometrisi

97,200 m² alan ve 4,159,776,00 m³ depolama hacmine sahip Kül Depolama sahası, 7 m genişliğe sahip kontrol yolu ile ve 1030 m. kuşaklama kanalı ile çevrelenecektir. En düşük 375 metre en yüksek 495 metre kotlara sahip sahada atık dolmuş eğimlerinin 3:1 (Y:D) olması öngörülmektedir. Depo tabanı %3 eğimle teşkil edilecek sahanın önüne 35 m yükseklikte ve 4 m üst, 25 m alt genişlikte sedde inşa edilecektir.

Kazı/dolgu işlerinden sonra Lot 1'deki depolama sahası taban kotu 375 m ile 415 m arasında değişecektir. Lot 2 için saha taban kotu 415 m ile 455 m arasında, Lot 3 için ise 455 m

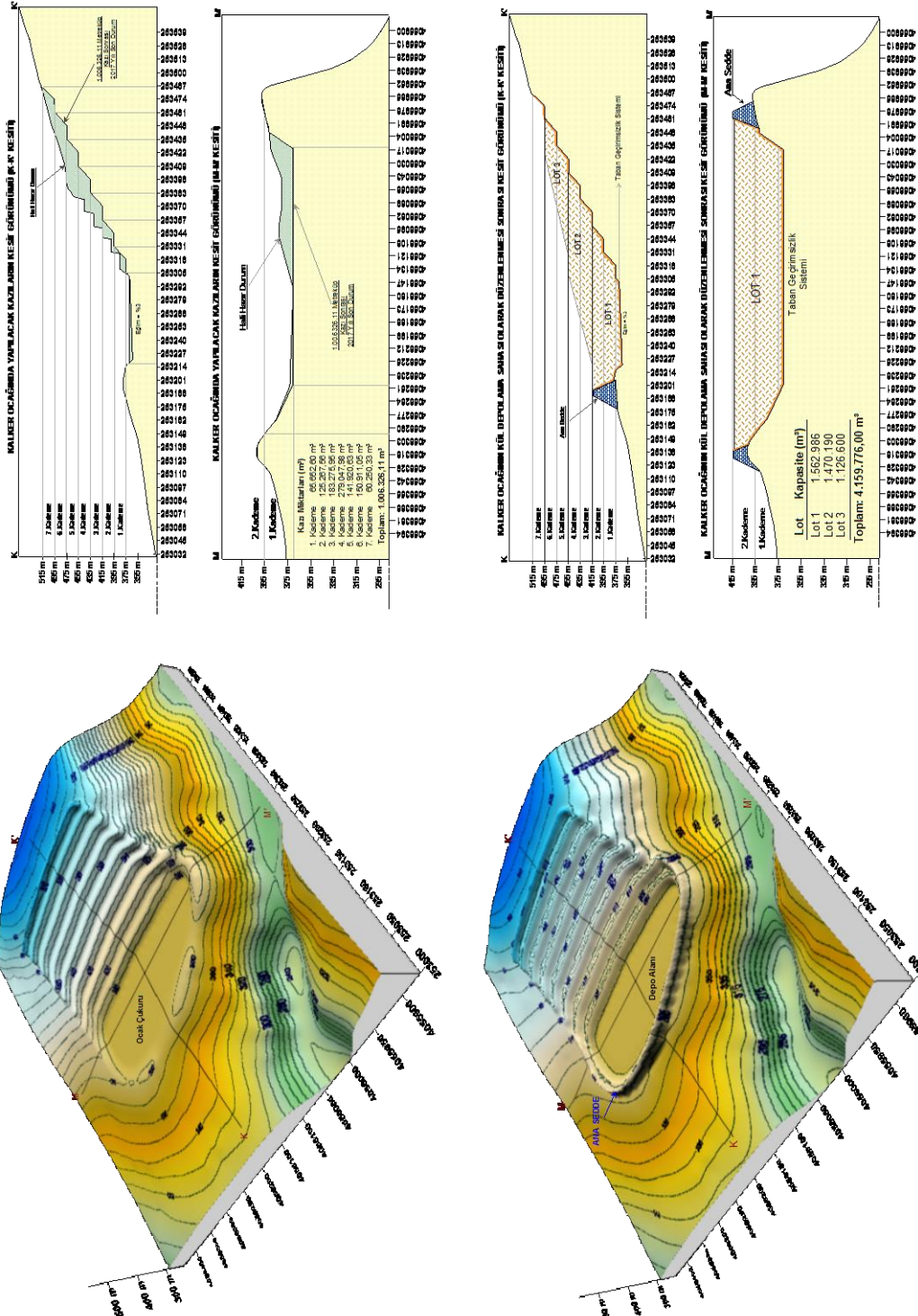
ile 475 m arasında olacaktır. Mevzuattaki hükümler gereğince atık dolmuş eğimleri 3:1 (Y:D) olarak planlanmıştır. Maksimum atık kotu 475 m olacaktır. Lot 1, Lot 2 ve Lot 3'ün yüzey alanları sırasıyla 46,850 m², 44,910 m² ve 36,620 m²'dir. Lot 1 için toplamda 1,610,716 m³'lük brüt hacme sahip olup söz konusu hacim kayıplarının çıkarılmasından sonra elde edilecek net depolama hacmi 1,562,986 m³ olacaktır. Lot 2 toplamda 1,492,600 m³'lük brüt hacme sahip olup net depolama hacmi 1,470,190 m³'tür. Lot 3 ise toplamda 1,142,650 m³'lük brüt hacme sahip olup net depolama hacmi 1,126,600 m³'tür. 3 boyutlu arazi modellemeleri sonucunda, Atık Depolama Alanı için toplamda yaklaşık 4,159,776 m³ depolama hacmi ortaya çıkmaktadır. Bu hacim miktarına taban geçirimsizlik sistemi ile oluşacak hacim kayıpları da dâhildir.

Sonuç olarak, toplam net atık depolama kapasitesi 4,159,776 m³ olacaktır ve 11,5 yıllık bir hizmet süresi sağlayacaktır. Uçucu küllerin çimento sanayine verilmesi söz konusu olmasına rağmen uçucu küllerin satılmadığı durum da dahi, 10 yıllık atık miktarının depolanması garanti edilmiş durumdadır. Proje kapsamında tesis edilmesi planlanan kül depolama alanına ait 3 boyutlu görünüm Şekil 5'te verilmektedir.

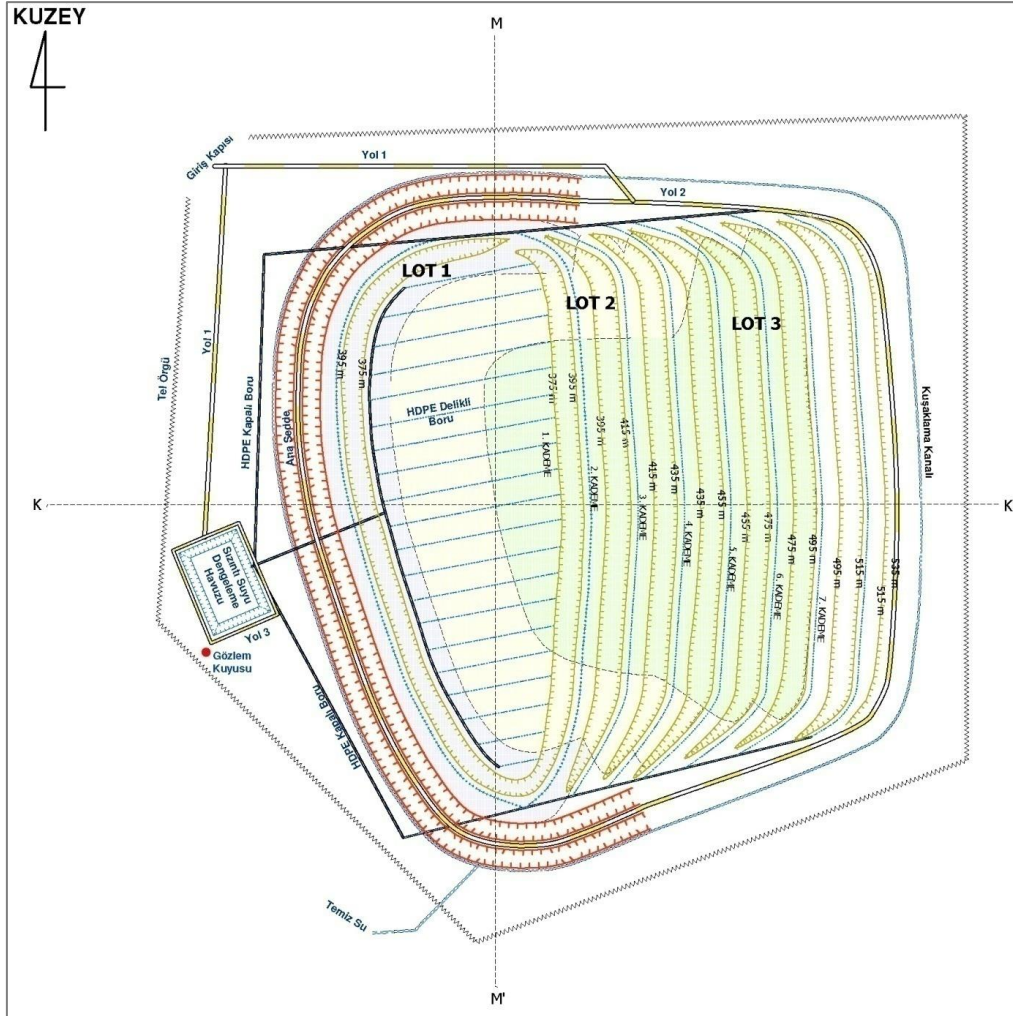
Lotların dolmuş kesiti Şekil 6'da görülmektedir. Lotların kazı ve kül dolgu kapasiteleri bilgisayar yazılımı ile hesaplanmış ve özet olarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Lotların kül dolgu kapasitesi

Lot	Kad. No	Kademe Uzunluk (m)	Kazı Alanlar (m ²)	Kazı Hacimleri (m ³)	Kül Dolgu Alanlar (m ²)	Kül Dolgu Yükseklik (m ²)	Kül Dolgu Kapasitesi (m ³)	Lot Kapasite (m ³)	Ömür (yıl)
1	1.	315	208,42	65,652,60	32860	20	657,200	1,562,986	1,83
	2.	349	358,93	125,267,56	46690	19,4	905,786		2,52
2	3.	304	602,88	183,275,95	37280	20	745,600	1,470,190	2,07
	4.	306	911,92	279,047,98	37350	19,4	724,590		2,01
3	5.	293	484,37	141,920,63	29580	20	591,600	1,126,600	1,64
	6.	292	516,82	150,911,05	26750	20	535,000		1,49
	7.	286	210,67	60,250,33					
TOPLAM				1,006,326,11			4,159,776,00		11,55



Şekil 5. Taş ocağında tasarlanan düzenli depolama lotlarının dolgu kesitleri



Şekil 6. Düzenli depolama tesisinin genel hatları

3.2. Depolama Alanı Taban Geçirimsizlik Sistemi

Depolama alanının tabanında, zemine ve yeraltı suyuna sızıntı suyu girişini önlemek amacıyla taban geçirimsizlik sistemi uygulanacaktır. Uygulanacak olan taban geçirimsizlik sisteminin alttan üste doğru,

- Geçirimsizlik Tabakası,
- Plastik Örtü,
- Jeotekstil Örtü,
- Drenaj Tabakası,

olarak teşkil edilmesi öngörülmektedir. Bu çerçevede Lot tabanı 60 cm kalınlığında sıkıştırılmış kil ile kaplanacak ve üzerine 2mm HDPE membran serilecektir. Kullanılan kilin geçirimsizlik katsayısı (permeabilite) $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/sn olacaktır. Membranın üzerine koruma amaçlı jeotekstil kullanılacaktır. Oluşan sızıntı sularını toplamak için, jeotekstil üzerine drenaj boruları ve 50 cm çakıl dren tabakası ($K \geq 1,0 \times 10^{-4}$ m/s geçirgenliğe sahip) teşkil edilecektir. U çerçevede taban geçirimsizlik sisteminin uygulanacağı alanlar ve kullanılacak kil ve çakılın ortalama hacimleri hesaplanmış ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Taban geçirimsizlik sisteminin uygulanacağı yüzeyler

Lot	Kademe No	Uygulama Alanı (m ²)	Kil Miktarı (m ³)	Çakıl Miktarı (m ³)
1	1.	32.860,00	19.716,00	16.430,00
	2.	4.880,00	2.928,00	2.440,00
2	3.	4.519,00	2.711,40	2.259,50
	4.	3.848,00	2.308,80	1.924,00
3	5.	3.044,00	1.826,40	1.522,00
	6.	5.101,00	3.060,60	2.550,50
	7.	4.028,00	2.416,80	2.014,00
TOPLAM		58.280,00 m ²	34.968,00 m ³	29.140,00 m ³

II. sınıf düzenli depolama tesisi için uyulması gereken ulusal mevzuatının depo tabanı kaplaması ile ilgili öngörmüş olduğu standartlar “ $K \leq 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/sn}$; kalınlık $\geq 1 \text{ m}$ veya eşdeğeri Kil (Mineral) tabaka” şeklindedir. Bu şartlar doğal olarak sağlanamaması halinde; bu tabaka yapay olarak oluşturulur ve jeo membran kullanılarak güçlendirilir. Geçirimsiz mineral malzeme ile yapay olarak oluşturulacak geçirimsizlik tabakasının toplam kalınlığı 0,6 metreden az olamaz. Bu kapsamda, depolama alanının üç tarafını çevreleyen yaklaşık 20 m yüksekliğindeki kaya palyaların yüzeyleri önce traşlanarak düz bir

hale getirilecektir. Daha sonra hasır donatılı püskürtme beton ile kaplanacaktır. Püskürtme beton üzerinde geotekstil ve membranı delecik çıkıntılar olmamasına dikkat edilecektir. Püskürtme beton ile boşlukları ve pürüzlüğü giderilemeyen, düz bir yüzey elde edilemeyen durumlarda perde beton kullanılacaktır. Böylece HDPE membranın yırtılmasına sebep olacak palyaların yüzeyinde bulunan boşluk ve pürüzlülükler giderilerek düz bir yüzey elde edilecektir. Bu çerçevede, uygulama yapılacak yüzey alanları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Palya yan yüzeyleri geçirimsizlik sisteminin uygulanacağı alanlar

Lot	Kademe No	Uygulama Alanı (m ²)
LOT 1	1. Kademe	9.004,00
	2. Kademe	5.065,00
LOT 2	3. Kademe	4.831,00
	4. Kademe	5.863,00
LOT 3	5. Kademe	4.689,00
	6. Kademe	4.777,00
	7. Kademe	4.691,00
TOPLAM		38.920,00 m ²

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik [9] gereği, daha sonra palyalara önce koruma amaçlı geotekstil sonra HDPE membran ve üzerine de tekrar koruma amaçlı geotekstil serilecektir. HDPE membran altında ve üzerinde bulunan geotekstil ile birlikte zemin içine ankrajlanacaktır. Ankraj çukuru 1 m derinlikte olacaktır. Ankraj çukuru tabanına 10 cm kum serilecek ve jeotekstil

+ HDPE membran + geotekstil üzeri tamamen kum ile doldurulacaktır. 97,200 m² alana sahip kül depolama sahası, atık bertarafı tamamlandığında, depolama sahasının üzeri kapatılacaktır. İlgili yönetmeliğe göre gerçekleştirilmesi gereken üst örtü geçirimsizlik sisteminin alttan üste doğru;

- Tesviye Tabakası,
- Mineral Geçirimsizlik Tabakası,
- Drenaj Tabakası,
- Toprak Tabakası, şeklindedir.

3.3. Sızıntı Suyu Drenajı

Kül depolama tesisi içerisine su girişi; ağırlıklı olarak yağış dolayısıyla oluşmaktadır. Sızıntı suyu yağışa bağımlı olduğundan, bölgedeki meteorolojik faktörler sızıntı suyu oluşumunda etkili olmaktadır. Sızıntı suyu oluşumunda yağış gibi önemli bir yer tutan diğer meteorolojik olay buharlaşmadır. Serbest su yüzeyinden buharlaşmanın aksine, toprak yüzeyinden buharlaşma yeraltı suyu seviyesi, zemin ve bitki örtüsü cinsi, vb. gibi birçok etkene bağlıdır. Dolayısıyla, depolama sahası su çevriminin sürdüğü bir atık kütlesi olarak incelenmelidir.

Kül Depolama Sahası sızıntı suyunun oluşumuna etki edecek olan yağış ve buharlaşma değerleri Hatay İli, İskenderun İlçesi Meteoroloji

İstasyonuna ait olup Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu bilgiler ışığında, kül depolama sahası için, sızıntı suyu oluşum miktarları belirlenmiş olup Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4'te kül depolama sahasında meydana gelecek olan sızıntı suyu miktarları, havuza net giriş miktarları, havuzdaki net su miktarı ve geri devir miktarları verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, sızıntı suyu miktarları aylık bazda gösterilmiştir. Çizelge 4'e göre havuza net giriş debisi maksimum 6,643,43 m³/ay (2,56 lt/sn), havuza net girişin ortalama debisi ise 3,243,240 m³/ay (1,20 lt/sn) olmaktadır. Maksimum geri devir debisi 1603,58 m³/ay (0,16 lt/sn), ortalama geri devir debisi ise 422,804 m³/ay (0,163 lt/sn) olmaktadır.

Yapılan hesaplamalarda, Kül Depolama Alanı= 90,720,00 m²; Sızıntı Su Havuz Alanı = 1,750,00 m²; Havuz Brüt Hacim= 6,460,00 m³; Havuz Net Su Hacmi= 5,168,00 m³ olarak alınmıştır.

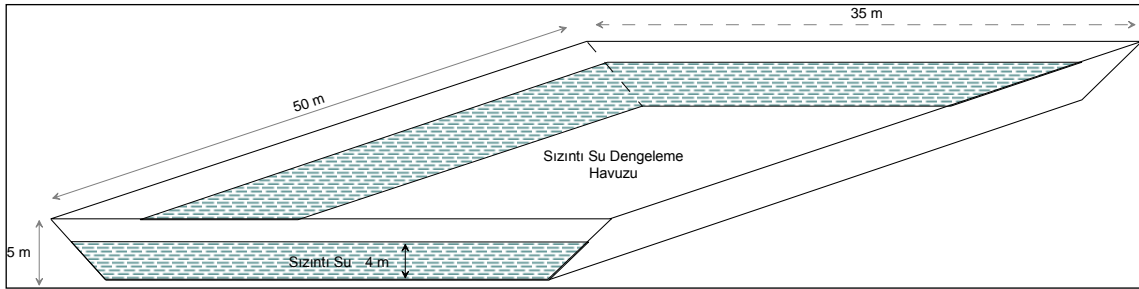
Çizelge 4. Sızıntı suyu oluşum miktarları

Aylar	Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Alanlara Düşen Yağış Miktarı (m ³ /ay)	Depolama Alanında Buharlaşma (m ³ /ay)	Depolama Alanından Havuza Net Giriş (m ³ /ay)	Havuzdan Toplam Aylık Buharlaşma (m ³ /ay)	Havuzda Düşen Yağış Miktarı (m ³ /ay)	Havuzdaki Toplam Su Miktarı(m ³)	Geri Püskürtülen Sızıntı Suyu Miktarı (m ³ /ay)	Geri Püskürtme Sonrası Havuzdaki Su Hacmi (m ³ /ay)
Ocak	84,00	58,70	7620,4	1597,5	6022,9	30,82	147,0	6139,0	971,0	5168
Şubat	88,90	59,70	8065,0	1624,8	6440,2	31,34	155,5	6564,4	1396,4	5168
Mart	85,70	86,40	7774,7	2351,4	5423,2	45,36	149,9	5527,8	359,8	5168
Nisan	64,50	111,90	5851,4	3045,4	2805,9	58,75	112,8	2860,1	0,00	5180
Mayıs	45,00	146,60	4082,4	3989,8	92,5	76,97	78,75	94,3	0,00	5160
Haziran	34,30	177,10	3111,7	4819,9	0,00	92,98	60,03	0,00	0,00	5168
Temmuz	9,70	192,70	879,9	5244,5	0,00	101,17	16,98	0,00	0,00	5168
Ağustos	18,20	187,50	1651,1	5103,00	0,00	98,44	31,85	0,00	0,00	5168
Eylül	38,00	158,80	3447,36	4321,90	0,00	83,37	66,50	0,00	0,00	5168
Ekim	80,40	112,10	7293,89	3050,91	4242,9	58,85	140,7	4324,82	0,00	5168
Kasım	86,60	75,60	7856,35	2057,53	5798,8	39,69	151,5	5910,68	742,68	5168
Aralık	92,10	62,90	8355,31	1711,89	6643,4	33,02	161,1	6771,58	1603,5	5168,0
Aylık Ort.	60,61	119,16	5499,14	3243,24	3122,5	62,56	106,0	3182,74	422,80	5168,0
Günlük Ort.	1,99	3,92	180,79	106,63	102,66	2,06	3,49	104,64	13,90	169,91

Kül Depolama Sahası taban izolasyonunda yer alacak sızıntı suları sahanın tabanında yerleştirilmiş HDPE perfore borular ile toplanacak ve kendi cazibelerinden yararlanarak sızıntı suyu depolama havuzuna taşınacaktır. Havuz kapasitesinin belirli bir seviyeye ulaşması durumunda, sızıntı suyu, geri devir bacasında yer alan pompalar sayesinde depolama sahasına geri pompalanarak (resirkülasyon) yüzeysel sızdırma ile geri devrettirilecektir. Depolama alanında sızıntı suyu geri devrettirildiği zaman, sızıntı suyu, kütlede kısır bir döngü içerisinde hareket edecek ve her çevrimde açık hava ile temasa geçerek

buharlaşıma ile zaman içinde hacminde önemli azalmalar meydana gelecektir. Geri devir işlemi ile daha da önemlisi, külün nemlendirilmesine yardımcı olunacak ve tozuma gibi çevreyi olumsuz yönde etkileyecek problemlerin önüne geçilmiş olacaktır. Sonuç olarak, gerek yatırım gerekse işletme maliyetleri göz önünde bulundurularak, kül depolama alanında sızıntı sularının geri devir ettirmek suretiyle bertarafı gerçekleştirilecektir.

Sızıntı suyu depolama havuzu 5,168 m³ olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 7). Havuzun sayısal özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. Sızıntı suyu depolama havuzu ölçüleri

Havuz Üst Alanı = 35 x 50 = 1,750 m²

Hava Payı Sonrası Üst Alan = 33 x 48 = 1,584 m²

Havuz Taban Alanı = 25 x 40 = 1000 m²

Su Yüksekliği = 4 m

Kullanılabilir Havuz Hacmi = (1,750 + 1,000) x 4/2 = 5,168 m³

Havuz net giriş ortalaması 102,66 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, havuzun ortalamada ~50 günlük su depolama kapasitesi mevcuttur. Havuz 20 yıllık yağış ortalamalarında maksimum net giriş 221,45 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, havuzun maksimum yağış şartlarında ~23 günlük su depolama kapasitesi mevcuttur.

3.4. Yüzeysel Sularının Uzaklaştırılması

Kül depolama sahasında, atığın olduğu bölümün dışındaki alandan yağış dolayısıyla oluşan yüzeysel suların, atık döküm sahasına girmesini engellemek için yüzeysel su drenaj kanalları (kuşaklama kanalı) planlanmıştır. Bu amaçla, yüzeysel su drenaj kanalları, saha çevresinde belirli

kısımlarda, arazinin topografyasına ve sahanın geometrisine göre yerleştirilecektir. Kanallar yol eğimleri ile yüzeysel suyunun toplanacağı biçimde teşkil edilecektir.

Havzaya ait meteorolojik parametrelerden en şiddetli akışın meydana geleceği öngörüsü ile gerçekleştirilen yüzeysel su drenaj kanalı hidrolik boyutlandırma hesapları aşağıda verilmiştir. Kül depolama alanına topografik eğimler dikkate alındığında 12 ha'lık bir kısımdan yağış suları kuşaklama kanalına gelecektir (Şekil 8).

Hesaplarda 10 dk'lık ve 20 yıllık yağış göz önüne alınırsa İskenderun İlçesi için maksimum yağış şiddeti 171 mm/saat olarak bulunur. Ormanlık alanda akış katsayısı 0,3 alınarak kanala gelecek debi; (171 mm/sa) * (152,482,72 m²) * 0,3/(3600 sa/sn) = 2,816 lt/sn hesaplanır.

Kuşaklama kanalı arazinin topografyasına ve sahanın geometrisine göre farklı eğimlerde,

betonarme trapez kesit olacaktır. Kanal hesabı detayları Manning [16]'da verilen Manning-Strickler formülü kullanılmıştır.

$$V = 1/n \times V^{2/3} \times J^{1/2}$$

V: akış hızı, m/sn

R: hidrolik yarıçap, (F/U), m

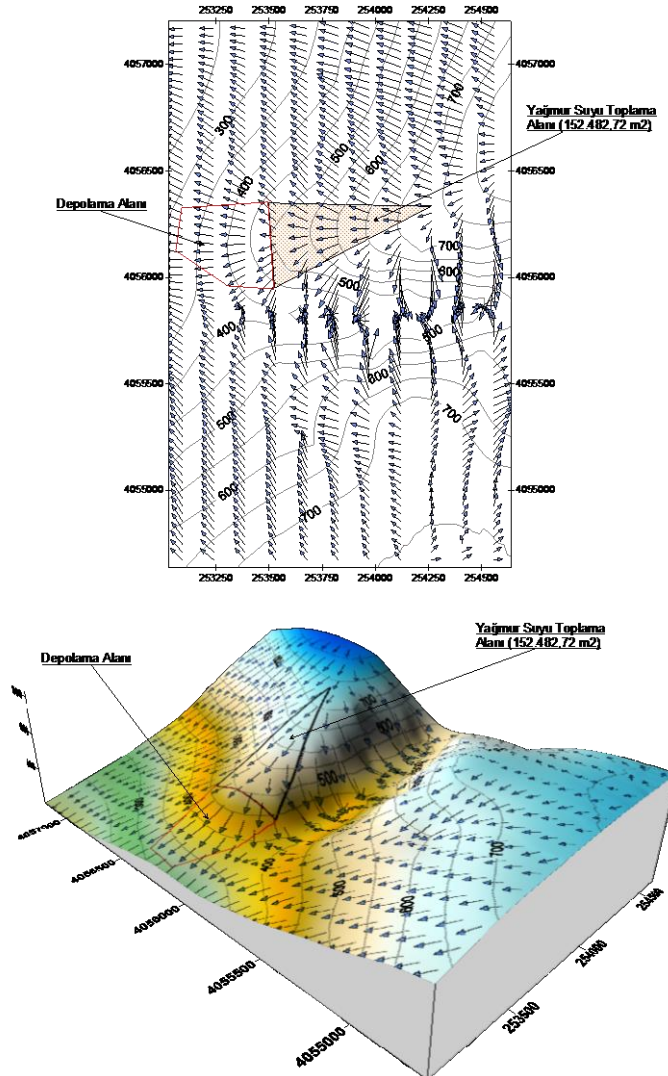
F: ıslak kesit, m²

U: ıslak çevre, m

n: Manning formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

n= 0.012 (beton kanal için)

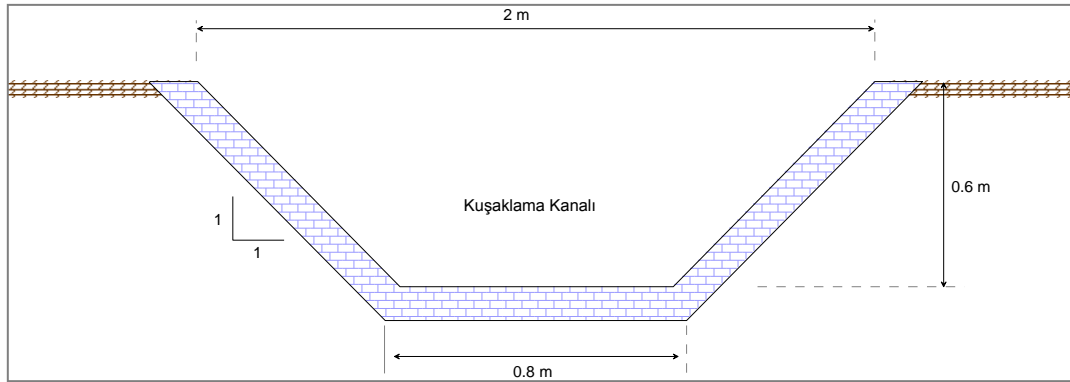
Manning-Strickler formülü kullanarak boyutlandırılan trapez kanalın hesabı Çizelge 5'de verilmiştir. Şekil 9'da kesiti görüldüğü gibi kanalın taban genişliği 1 m, yüksekliği 0,6 m yan yüzeylerin eğimi 1/1 ve üst genişliği 2,0 m olacaktır. Bu kanalın eğimi 1/30 olacaktır. Kanalda su yüksekliği 0,38 m olmaktadır. Kanal tam dolu halde 2,967 m³/sn debi taşıyabildiğinden emniyetli tarafta kalınmıştır. Şekil 6'da görülen ve depolama alanını çevreleyen saran kuşaklama kanalı toplam uzunluğu L= 1268 m'dir.



Şekil 8. Kuşaklama kanalı su toplama havzası

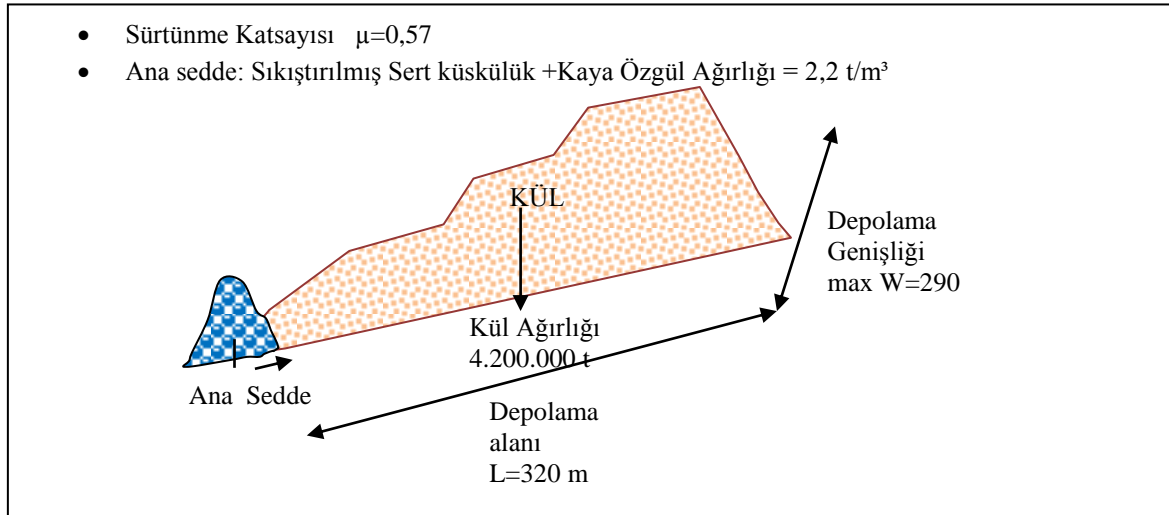
Çizelge 5. Çevre (kuşaklama) kanalı hesabı

Akış Katsayısı	Hesap Debisi	Eğim	Trapez Kanal		Su Yüksekliği	Islak Alan	Islak Çevre	Hidrolik Yarıçap	Hız	Kanalın Max. Debisi
			B	H						
C	Q	1 : A	B	H	h	F	U	R	V	Qmax
	m ³ /sn		m	m	m	m ²	m	m	m/sn	m ³ /sn
0,300	1,265	30	0,80	0,60	0,38	0,45	1,87	0,24	2,81	2,967

**Şekil 9.** Çevre suları uzaklaştırma kanalı (kuşaklama) kesiti**3.5. Depolama Alanı Ana Sedde Hacim ve Stabilite Hesabı**

Bu çerçevede 591 m uzunluğunda 35 m yükseklik, 5 m üst genişlik ve 25 m alt genişlikte 310.275 m³ (620,550 t) hacminde sedde inşa edilecektir.

Kül depolama alanına 10 yılda yaklaşık 3.500.000 m³ (4.200.000 ton) kül depolanması planlanmaktadır.

**Şekil 10.** Sedde hacim ve stabilite hesabı

Negatif kuvvetler:

Külün Etkisi:

Depolanacak toplam kül ağırlığı 4,200,000 ton
Bu ağırlığın 1/3 oranı topuk seddeye etki edecektir.
Diğer yükler yanal dağılımla yan seddelere aktarılacaktır.

Kül yığının tabanı %3 eğimde (2°) inşa edilecektir.
Bu durumda topuk seddeye gelen kül yükü:

$$G = 4,200,000 \text{ ton} \times 1/3 = 1,400,000 \text{ ton}$$

$$G_k = 1,400,000 \times \sin 2^\circ$$

$$G_k = 48,859,3 \text{ ton}$$

Daha emniyetli tarafta kalmak için eğim (eğim 1/3 = 18°) dikkate alınacaktır. Bu durumda;

$$G_k = 1,400,000 \times \sin 18^\circ$$

$$G_k = 432,623,792 \text{ ton}$$

Pozitif kuvvetler (karşı koyan kuvvetler):

Sedde uzunluğu = 591 m

Sedde yüksekliği = 35 m

Sedde üstü genişliği = 5 m

Sedde taban genişliği = 25 m

$$\text{Toplam sedde hacmi} = 591 \times 35 \times (20 + 5)/2 = 310,275 \text{ m}^3$$

$$G = 310,275 \text{ m}^3 \times 2,2 \text{ (t/m}^3\text{)} = 682,605 \text{ t}$$

Seddenin zemin sürtünmesi: Sürtünme katsayısı,

$\mu = 0,57$ kabulüyle

$$F = G \cdot \mu \cdot \cos \alpha$$

$$F = 682,605 \times 0,57 \times \cos 0^\circ = 389,084,85 \text{ ton}$$

Pasif zemin etkisi: $F_p = 1/2 \times \gamma \times K_p \times h^2$

Sedde 3 m zemin içinde $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$ $K_p = 3,0 \text{ h} = 3 \text{ m}$

$$F_p = 1/2 \times 2,2 \times 3,0 \times 3^2$$

$$F_p = 29,7 \text{ t/m}$$

$$F = 29,7 \text{ t/m} \times 591 \text{ m} = 17,552,7 \text{ ton}$$

Külün zemin sürtünmesi: Sürtünme katsayısı,

$\mu = 0,10$ kabulüyle

$$F = G_k \cdot \mu \cdot \cos \alpha$$

$$F = 432,623,792 \times 0,1 \times \cos 18^\circ = 41,144,96 \text{ ton}$$

Toplam pozitif (karşı koyan) kuvvet:

$$\sum F = 389,084,85 \text{ t} + 17,552,7 \text{ t} + 41,144,96$$

$$t = 447,782,5 \text{ ton}$$

447,782,5 ton > 432,623,792 ton olduğundan sedde yeterlidir. Bu hesap yapılırken dolgu yapılan külün 1/3'ü 1/3 eğimle ana seddeye etki edeceği düşünülmüştür.

3.6. Tesis Çiti

Kül depolama sahası, tüm tesis alanı çevresini içine alacak şekilde, depolama sahasına giriş ve çıkışın kontrol edilebilmesi, atık malzemenin uçarak taşınmasını önlemek ve yaban hayvanlarının saha içine girişini engellemek için 1392 m uzunlukta tel çit ile çevrelenecektir.

3.7. Tesis Yolları

Kül depolama sahasında dört tip yol planlanmıştır. Şekil 6'da gösterilen yollar ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

Yol.1 Tesis Giriş Yolu; Saha girişinden kontrol yoluna (Yol 2) ve sızıntı suyu havuzunu çevreleyen (Yol 3) bağlantıyı sağlayan yoldur. Genişliği 7,0 m uzunluğu 416 m'dir.

Yol.2 Kontrol Yolu; Bu yol, özellikle kül depolama sahasının işletme ve işletme sonrasında her türden kontrolünün yapılabilmesi için öngörülmüştür. Genişliği 7,0 m uzunluğu 1181 m'dir.

Yol.3 Kontrol Yolu; Sızıntı suyu havuzunu çevreleyen yoldur ve genişliği 5 m uzunluğu 192 m'dir.

Atık Kamyon Yolu; yukarıda bahsi geçen yollara ilave olarak sahanın işletilmesi esnasında Atık Kamyon Yolu olarak adlandırılabilir bir yolun teşkil edilmesi söz konusu olacaktır. Söz konusu yol depolama sahasının kenarından, yani seddeden itibaren, atık döküm alanına erişimi sağlayacak geçici yoldur. Atık döküm alanı zamana bağlı olarak şekil değiştirerek atık yüksekliği artacağından, bu yolun da güzergahı değişecektir. Dolayısıyla, işletme planına ve dolmuş ilerlemesine bağlı olarak uygulanacaktır.

3.8. Tozumaya Karşı Alınacak Önlemler

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği [17]'e göre açıkta depolanan yığma malzeme, hava kalitesi koşullarını sağlamak şartı ile açıkta depolanabilir. Bu amaçla; araziye rüzgar kesici levhalar yerleştirilecek, duvar örülecek veya

rüzgar kesici ağaçlar dikilecek, savurma yapılmadan doldurma ve boşaltma yapılacak ve tesiste açıkta depolanan yığılma malzemelerinin hava kalitesi koşullarını sağlayabilmesi için gerekli tedbirler alınacaktır. Tesis içi yollar düzenli olarak temizlenecek, tozuma karşı her türlü önlem alınacak ve yollar bitümlü kaplama malzemeleri ve/veya beton malzemeler ile kaplanacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Faaliyeti sona eren taş ocaklarının doğaya tekrar kazandırılması hem çevresel etkileri hem de estetik açıdan önem arz etmektedir. Özellikle İskenderun-Adana otoyolu boyunca irili ufaklı çok sayıda taş ocağı yer almaktadır. Ayrıca, yörede sayıları gittikçe artan çok sayıda sanayi ve termik santral yer almaktadır. Bir taraftan termik santrallerin külleri ve çelikhane cürüfları gibi katı atıklar görsel ve çevresel tehdit oluştururken, diğer taraftan taş ocaklarının ocak çukurları görsel ve çevresel tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği [6] ile Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik [9] çerçevesinde söz konusu çevresel tehditlerin bertarafına çözüm getirilmiştir. Bu kapsamda faaliyeti sona erecek bir taş ocağı maksimum atık depolamaya özen gösterilecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarım çalışmaları, atık miktarının tamamının depolanmasına ve düzenli depolama kriterlerine uyulmasına yönelik olarak yürütülmüştür. 97,200 m² alan ve 4,159,776,00 m³ depolama hacmine sahip Kül Depolama Alanı'nda Termik Santrali'nden kaynaklanacak ve 10 yıl süre ile toplam miktarının yaklaşık 3,500,000 m³ olacağı öngörülen külün depolanması planlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Goudie, A., 2000. The Human Impact on the Natural Environment, Blackwell, Oxford, UK.
- Lin, C., Tong, X., Lu, W., Yan, L., Wu, Y., Nie, C., Chu, C. Long, J., 2005. Environmental Impact of Surface Mining on Mined Lands, Affected Stream Sand Agricultural Lands in the Dabaoshan Mine Region, Southern China. Land Degradation & Development 16, s.463–474.
- Nieman, T.J. Merkin, Z.R., 1995. Wildlife Management, Surface Mining, and Regional Planning. Growth and Change 26, s. 405–424.
- Willis, K.G. Garrod, G.D., 1999. Externalities From Extraction of Aggregates: Regulation by tax or Land-Use Controls. Resources Policy 25, s. 77–86.
- Ziev, Z., 1985. Direct and Indirect Hazards Caused by Quarries. Land 26, s. 35–44.
- Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılmasına Dair Yönetmelik, 2010. 27471, 23 Ocak 2010.
- Down G. Stocks J., 1977. Environmental Impact of Mining, Essex: Science Publishers Ltd., sf. 11-17.
- Ramani R.V., Sweigard, R.J., Clar, M.L., 1990. Reclamation Planning-Surface Mining Handbook, USA., s. 750-769.
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010. T.C. Resmi Gazete, 27533, 26 Mart 2010.
- Microsoft Corporation, 2006. Microsoft Office Excel 2007, Bilgisayar Programı, Redmond, Washington, USA.
- Golden Software, 2002. Surfer: User's Guide, Colorado, Golden Software, 664 p.
- Mapinfo Corporation, 2007. Map Info Professional 9.0 User Guide, Newyork, s. 551.
- Aksay, A., Tekeli, O., Ürgün, B.M. Işık, A., 1988. Amanoslar'ın Paleozoyik Birimleri ve Mesozoyik Platform Karbonat İstifleri: MTA Rapor No. 8312, Ankara, (yayımlanmamış).
- Atan, O.R., 1969. Eğribucak-Karacaören (Hassa)-Ceylanlı-Dazevleri (Kırıkhan) Arasındaki Amanos Dağları'nın Jeolojisi, MTA Yayınları no.139, 85, Ankara.
- Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı Atlası, 036 Paftası DAF Boyu Jeoloji Haritası, MTA Özel Yayın Serisi-13, Ankara.
- Manning R., 1891. On Theflow of Water in Open Channel Sand Pipes, Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, 20, s. 161-207.
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. T.C. Resmi Gazete, 26898, 06 Haziran 2008.

Farklı Isıtma-Derece-Gün (HDD) Değerlerine Bağlı Olarak Seralarda Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN^{*1}, Sait ÜSTÜN², Adil AKYÜZ²

¹Ç.Ü Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

²KSÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Seralarda üretim periyodu boyunca ortaya çıkan ısı enerjisi gereksinimi, üretim ekonomisinin belirlenmesi ve yapılacak fizibilite çalışmaları için önemlidir. Seralarda ısı enerjisi gereksinimi DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre ortalama sıcaklık değerlerinden gidilerek belirlenmektedir. Ancak ortalama değerlere göre yapılan hesaplamalar sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu geçiş dönemlerinde yanıltıcı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Seralarda ısı enerjisi gereksinimi saatlik iklim değerlerine göre en sağlıklı olarak hesaplanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada, Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı ve ısıtma kaynakları açısından seracılık potansiyeline sahip farklı illerin Isıtma Derece-Gün (HDD) değerleri ile ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerine göre hesaplanan ısı enerjisi gereksinimi arasındaki istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Serada gerçek ısı enerjisi elde edilen istatistiksel ilişkilere göre kolayca belirlenebilmektedir. Ancak elde edilen ısı enerjisi gereksinimleri, seranın tipine (A_H/A_G) ve serada kullanılan ısıtma sistemine bağlı olarak geliştirilen katsayılar yardımıyla düzeltilmelidir. Elde edilen sonuçlar farklı HDD değerlerine sahip bölgelerde kurulacak farklı donanımlara sahip seralarda ısı enerjisinin kolayca belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sera, Isıtma, Isıtma derece-gün, Isı enerjisi

Determination of Heat Energy Requirements for Greenhouses in Regions with Different Heating-Degree-Day (HDD) Values

Abstract

The heat energy requirement in greenhouses throughout the production period is important in determining the production economy and feasibility studies to be conducted. Heat energy requirement in greenhouses is determined according to DIN 4701 standards by using mean heat temperatures. However, the calculations based on mean temperature causes misleading results in transition periods and in places where mean temperature is high. In order to have the most accurate heat energy requirement of a greenhouse, the hourly climate data should be used.

* Sorumlu yazar (Corresponding author): A. Nafi BAYTORUN, baytorun@cu.edu.tr

In this study, the statistical correlations between the data of heating-degree-day (HDD) and heat energy requirements calculated by ISIGER-SERA expert system were determined for the provinces having potential of heating sources and where greenhouse are widely used in Turkey. The real heat energy requirement of the greenhouse is determined with the aid of coefficients calculated with the heat energy requirements obtained from statistical methods, type of the greenhouse (A_H/A_G) and heating system used in the greenhouse. The obtained results become easier to determine the heat energy requirements of the greenhouses to be installed in different regions having different HDD values and different equipment.

Keywords: Greenhouse, Heating, Heating degree-day, Heating energy

1. GİRİŞ

Farklı dönemlerde ortaya çıkan enerji krizleri serada üretimin ılıman iklim bölgelerine kaymasına neden olmuştur. Orta ve kuzey Avrupa ülkelerindeki seralar Akdeniz bölgesinde kurulan seralardan daha modern ve karmaşık olup tüm yıl boyunca bitkilerin arzuladıkları gelişim etmenlerini (sıcaklık, nem, ışınım ve CO_2) optimum düzeyde tutmak zorundadırlar.

Akdeniz bölgesindeki seralar ise makul yatırım bedelleri ile kurulup bitki gelişim etmenlerini ucuz işletme yatırımları ile optimum düzeyde tutmaya çalışan yapılardır. Ancak Akdeniz bölgesinde yapılan seracılıkta, sıcak yaz aylarında seraların boş bırakılması nedeniyle üretim periyodu kısadır. Bu durum birim alandan elde edilen verimin düşmesine neden olmaktadır.

Soğuk iklim bölgelerinde kurulan seralar, yılın uzun dönemlerinde ısıtılmak zorundadır. İlıman iklim bölgelerinde ise ısıtma süresi daha kısa olup ısıtma gereksinimi kış aylarında ortaya çıkmaktadır. İsrail gibi sıcak iklim ve Akdeniz gibi ılıman iklim bölgelerinde, ısı gereksinimi kış aylarının sadece gece saatlerinde ortaya çıkmaktadır.

Akdeniz bölgesi seralarında ısı enerjisi gereksinimi soğuk kuzey Avrupa ülkelerine göre çok daha azdır. De Pascale ve Maggio'ya [1] göre, güney İtalya'da 1 ha'lık kesme çiçek serası için 5200–6800 GJ yıl⁻¹ ısı enerjisi gereksinimi ortaya çıkarken, Hollanda'da bu değer 16000 GJ yıl⁻¹ olmaktadır.

Kuzey ve güney Avrupa ülkelerinde kurulan seralarda gereksinilen yakıt tüketimleri ciddi anlamda farklılık göstermektedir. Kuzey Avrupa ülkelerinde ihtiyaç duyulan yakıt miktarı, güney Avrupa ülkelerinin 10 - 13 katı olmaktadır [2]. Kuzey Avrupa ülkelerindeki seralarda ısı enerjisi gereksinimi 1900 MJ m⁻² a⁻¹ (528 kWh m⁻² a⁻¹) iken, bu değer orta Avrupa ülkeleri için 1500 MJ m⁻² a⁻¹ (417 kWh m⁻² a⁻¹), güney Avrupa ülkeleri için 500 MJ m⁻² a⁻¹ (139 kWh m⁻² a⁻¹) olmaktadır. Kuzey Avrupa ülkelerinde 1900 MJ m⁻² a⁻¹ ısı enerjisi gereksinimi için üretim periyodu boyunca 45 l m⁻² fueloile ihtiyaç duyulurken, orta Avrupa ülkelerinde 35 l m⁻², Güney Avrupa ülkelerinde 12 l m⁻² fueloile ihtiyaç duyulmaktadır [3].

Avrupa'nın 7 ayrı ülkesinde standartlara göre inşa edilen seralarda birim alana bağlı olarak gereksinilen yıllık ısı enerjisi değerleri Garcia vd. [4] tarafından hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda en yüksek ısı enerjisi gereksinimi Almanya'da (453 kWh m⁻² a⁻¹) en düşük Almeria'da (İspanya) (88 kWh m⁻² a⁻¹) ortaya çıkmıştır. Akdeniz ikliminden kuzeye doğru çıkıldıkça ısı enerjisi gereksiniminde ciddi artışlar meydana gelmektedir.

Akdeniz bölgesi daha az ısı enerjisi gereksinimi açısından orta ve kuzey Avrupa ülkelerine göre büyük bir avantaja sahiptir. Ancak yılın belli dönemlerinde yüksek sıcaklık nedeniyle serada üretimin yapılmaması elde edilen verim açısından bir dezavantaj yaratmaktadır.

Akdeniz bölgesinde küçük aile tipi işletmelerde bulunan seralar basit yöntemlerle düşük sıcaklıklara karşı korunmaktadırlar. Ancak son yıllarda Akdeniz bölgesinde inşa edilen modern

seralarda düzenli ısıtma yapılmaktadır. Bu seralarda çoğunlukla ısı koruma önlemleri tam olarak uygulamadan, çevre üzerinde olumsuz etkileri olan fosil enerji kaynakları kullanılarak ısıtma yapılmaktadır.

Seralarda ısı enerjisi gereksinimi farklı yöntemlere göre hesaplanmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerden biri ortalama sıcaklık değerlerine göre yapılan hesaplamalardır. Bu yöntemle göre yapılan hesaplamalarda ısıtma zamanı çoğunlukla kabul edilerek veya sadece gece uzunluğu dikkate alınarak ısı enerjisi gereksinimi belirlenmektedir.

Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Akdeniz bölgesinin farklı illeri için değişik araştırmacılar tarafından farklı yöntemlere göre yapılan ısı enerjisi hesaplamaları Çizelge 1’de verilmiştir [5].

Çizelge 1. Akdeniz bölgesinde farklı iller için plastik serada sıcaklığın 16°C’de tutulduğu koşullarda farklı yöntemlere göre hesaplanan ısı enerjisi gereksinimleri

İller	Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh m ⁻² a ⁻¹)		
	Çanakçı vd. (2013)	Saatlik iklim değerlerine göre	ISIGER-SERA uzman sisteme göre
Antalya	147,1	114,6	101,0
Muğla	290,5	217,1	203,6
Mersin	99,8	88,7	76,8
Adana	156,2	102,9	90,8
Hatay	159,9	121,8	109,5

Çanakçı ve arkadaşları [6] PE plastik seralarda sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C’de tutulmak istenmesi durumunda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimini, serada arzulan sıcaklık ile gece saatlerinde ortaya çıkan ortalama sıcaklık farkını ve her ayın gece uzunluğunu dikkate alarak belirlemişlerdir. Çizelgeden de görüleceği gibi Çanakçı ve arkadaşları [6] Akdeniz bölgesindeki farklı iller için yaptıkları hesaplamalarda yıllık ısı

enerjisi gereksinimleri 100-290 kWh m⁻² a⁻¹ arasında bulmuşlardır. Aynı illerimiz için saatlik iklim değerlerinden gidilerek DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler 89–204 kWh m⁻² a⁻¹ arasında değişmektedir [5].

Zabeltitz [7] yaptığı hesaplamalarda sera kurulan yerin enlem derecesi, gün uzunluğu ve serada ortaya çıkan sıcaklık yükselmelerini dikkate alarak Akdeniz ülkelerindeki farklı yerler için ısı enerjisi gereksinimini belirlemiştir. Zabeltitz Antalya için serada sıcaklığın 16°C’de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca ısı enerjisi gereksinimini gece saatleri için 56,1 kWh m⁻² a⁻¹ olarak hesaplamıştır.

Seralarda ısı gereksiniminin ortalama sıcaklık değerlerinden gidilerek hesaplanması sıcaklığın yüksek olduğu geçiş dönemleri ve serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda yanıtıcı sonuçlara neden olabilmektedir [8,9].

Seralarda ısı enerjisi gereksinimi, saatlik iklim değerlerine göre en doğru hesaplanmaktadır [10,11,7,9]. Ancak saatlik iklim değerlerinin elde edilmesi güç olup yapılan hesaplamalar oldukça fazla zaman almaktadır.

DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre, seralarda ısı enerjisi hesaplamalarında kullanılan toplam ısı gereksinim katsayısı (u_{cs}), rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir. Literatürlerde verilen toplam ısı gereksinim katsayısı (u_{cs}) genelde rüzgar hızının 4 m s⁻¹ olduğu koşullar için geçerlidir. Saatlik iklim değerlerine göre yapılan hesaplamalarda u_{cs} katsayısı, saatlik rüzgar hızına göre yeniden belirlenerek hesaplamalara katılmalıdır.

DIN 4701 standartlarına göre serada ısı enerjisi gereksiniminin hesaplanmasında, serada arzulan sıcaklık ve dış sıcaklık arasındaki fark dikkate alınmaktadır. Ancak ısıtılmayan ve belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan seralarda ortaya çıkan gerçek sıcaklık değerleri, dış sıcaklık değerlerinden yüksektir. Belirtilen nedenle hesaplamalarda dış sıcaklık yerine hesaplanan teorik sıcaklık, serada arzulan sıcaklık ve

havalandırma sıcaklığına bağlı olarak belirlenen gerçek sera sıcaklığı dikkate alınmalıdır [11]. Ayrıca ılıman iklim bölgelerinde kurulan seralarda gün boyu depolanan ısı enerjisi, serada sıcaklık yükselmelerine neden olmaktadır. Belirtilen nedenle serada ısı enerjisi gerekisinin belirlenmesinde, serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve sıcaklık yükselmeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar daha gerçekçi sonuçlar vermektedirler [11]. Zabeltitz [7] Akdeniz Bölgesi için seralarda sıcaklık yükselmelerinin 1-2°C alınabileceğini ifade etmektedir.

Baytorun ve arkadaşları [5] Rath [11] tarafından geliştirilen matematiksel modeli kullanarak, yukarıda belirtilen sakıncaları ortadan kaldıran ve saatlik iklim değerlerine bağlı ısı enerjisi gerekisini hesaplayabilen ISIGER-SERA uzman sistemi geliştirmişlerdir. ISIGER-SERA uzman sistemle, farklı donanımlara sahip seraların farklı sıcaklık değerlerinde gereksindikleri ısı enerjisinin hesaplanması yanında, ısıtma sistemlerinin projelenmesi için gerekli olan parametrelerin de belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Ancak bu programın kullanılması bilgisayar desteği gerektirmektedir.

Bir yerin iklim sertliği Derece-Gün cinsinden hassasiyetle karakterize edilebilmektedir. Tüm dünyada özellikle ısıtma ve ısı yalıtımı uygulamaları için Derece-Gün sayıları kullanılarak coğrafik bölgelerden farklı olarak Derece-Gün bölgeleri tespit edilmektedir [12,13,14].

Yapılan bu çalışmada son yıllarda Türkiye’de kurulan sera boyutları dikkate alınarak farklı donanımlara sahip PE plastik seralar için ISIGER-SERA uzman sistemle hesaplanan ısı enerjisi gerekisini ile, Isıtma-Derece-Gün değerleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve elde edilen nomogram yardımıyla Isıtma-Derece-Gün değerlerine göre farklı bölgeler için ısı enerjisi gerekisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Hesaplamalarda gerekli olan Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri, Bulut ve arkadaşları [15]

tarafından eşitlik 1’e göre 16°C eşik sıcaklığı için hesaplanmış değerler alınmıştır.

$$HDD(\vartheta_h) = \sum_1^N (\vartheta_h - \vartheta_o) \quad (1)$$

ISIGER-SERA uzman sistem yardımıyla serada ısı enerjisi gerekisini eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlikte bulunan değişkenlerin belirlenmesi Baytorun [2] tarafından yapılan çalışmada detaylı verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan seranın boyutları Çizelge 2’de verilmiştir.

$$Q_{cs} = \sum_{n=1}^{8760} \left(\left((\vartheta_i - \vartheta_{i,oH} - \Delta\vartheta_{sp}) * u_{cs} * \sum_{r \in HFa} A_r * (1 - EE_{ES,n}) \right) * t_{si} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte;

Q_{cs} : Seranın yıllık ısı enerjisi gerekisini (Wh)

ϑ_i : Serada arzulan sıcaklık değeri (°C)

$\vartheta_{i,oH}$: Isıtmasız serada ortaya çıkan sıcaklık (°C)

$\Delta\vartheta_{sp}$: Serada ortaya çıkan sıcaklık yükselmesi (°C)

u_{cs} : Seranın ısı gerekisini katsayısı (W.m⁻² K⁻¹)

A_r : Örtü yüzey alanı (m²)

EE_{ES} : Isı perdesi ile sağlanan ısı tasarrufu (-)

n : Yılın saatleri

t_{si} : Simulasyon zaman dilimi (1 h)

Çizelge 2. Hesaplamalarda kullanılan PE plastik seranın boyutları

Bölme sayısı	(Adet)	10
Bölme genişliği	(m)	9,60
Sera uzunluğu	(m)	50,0
Yan duvar yüksekliği	(m)	4,25
Çatı yüksekliği	(m)	2,75
Örtü alanı	(m ²)	7338,04
Taban alanı	(m ²)	4800,0
A_H/A_G	(-)	1,53

3. BULGULAR

Türkiye’nin farklı illeri için hesaplanmış Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri Bulut ve arkadaşları [15] tarafından yapılan çalışmalardan 16°C eşik değeri için alınmıştır (Çizelge 3). Çizelgeden de

görüreceği gibi en düşük Isıtma-Derece-Gün (HDD) değeri Akdeniz bölgesindeki Mersin ilinde ortaya çıkarken, en yüksek HDD değeri Ardahan ilinde görülmektedir.

Çizelge 3. Türkiye'nin farklı illeri için ısıtma derece-gün (HDD) değerleri [15]

Şehir	16°C	Şehir	16°C
Adana	579	Isparta	2120
Adapazarı	1413	İstanbul	1433
Adıyaman	1328	İzmir	845
Afyon	2325	K. Maraş	1284
Ağrı	3867	Karaman	2229
Aksaray	2157	Kars	4145
Amasya	1778	Kastamonu	2567
Ankara	2199	Kayseri	2587
Antalya	731	Kilis	1196
Ardahan	4469	Kırıkkale	2145
Artvin	1951	Kırklareli	1828
Aydın	867	Kırşehir	2365
Balıkesir	1498	Kocaeli	1375
Bartın	1747	Konya	2350
Batman	1450	Kütahya	2360
Bayburt	3545	Malatya	2037
Bilecik	1933	Manisa	1166
Bingöl	2399	Mardin	1621
Bitlis	2800	Mersin	552
Bolu	2291	Muğla	1458
Burdur	1902	Muş	3088
Bursa	1491	Nevşehir	2508
Çanakkale	1371	Niğde	2362
Çankırı	2370	Ordu	1361
Çorum	2428	Rize	1375
Denizli	1245	Samsun	1377
Diyarbakır	1739	Siirt	1577
Edirne	1791	Sinop	1430
Elazığ	2211	Sivas	2896
Erzincan	2564	Şanlıurfa	1157
Erzurum	4205	Tekirdağ	1586
Eskişehir	2516	Tokat	1938
Gaziantep	1605	Trabzon	1291
Giresun	1328	Tunceli	2280
Gümüşhane	2702	Uşak	1945
Hakkari	2986	Van	2938
Hatay	797	Yalova	1409
Iğdır	2319	Yozgat	2853
		Zonguldak	1557

Seracılığın yoğun olarak yapıldığı Akdeniz Bölgesindeki illerde Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri 552 (Mersin) ile 797 (Hatay) arasında değişmektedir. Ege ve Marmara bölgesinde bu değer 1500'e Jeotermal kaynakların bulunduğu iç Ege ve Orta Anadolu'da 2500'lere kadar yükselmektedir.

Çizelge 4. Farklı ısıtma-derece-gün değerlerine sahip illerde çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı seralarda sıcaklığın gece/gündüz 16°C'de tutulduğu koşullarda gereksinilen ısı enerjisi

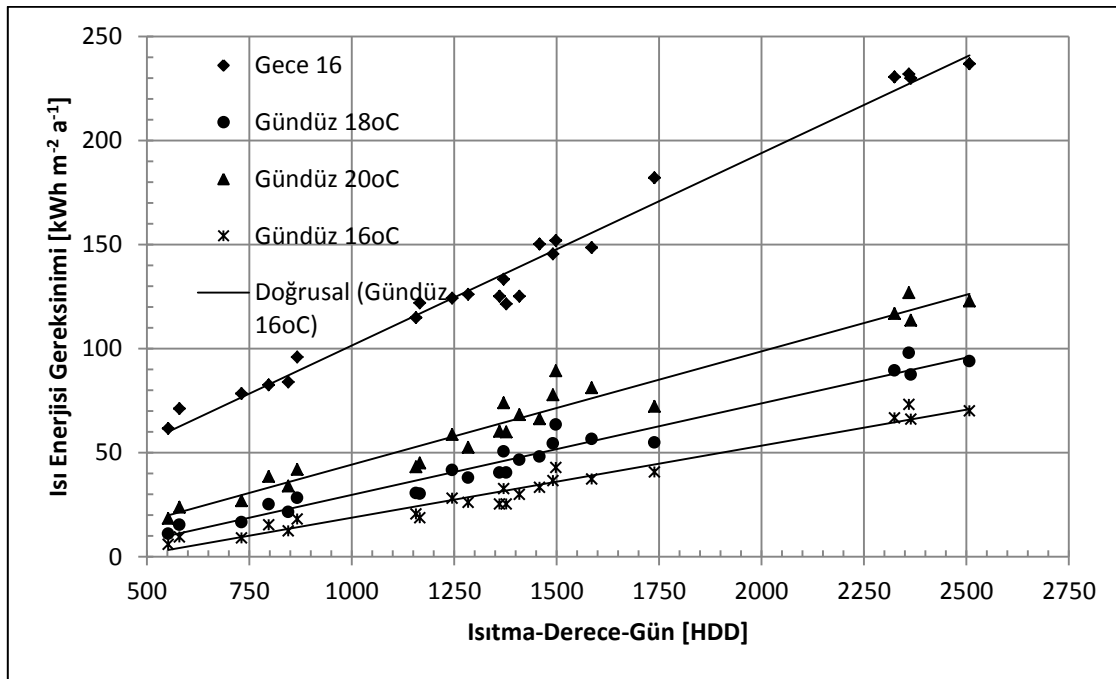
İl	HDD	Isı enerjisi gereksinimi kWh m ⁻² a ⁻¹		
		Isı perdesiz	Isı perdesi yalıtımı orta	Isı perdesi yalıtımı iyi
Adana	579	99,6	80,7	68,9
Mersin	552	84,1	67,5	57,1
Antalya	731	110,7	87,5	73,0
Antakya	797	120,7	97,8	83,4
Aydın	867	139,6	114,0	98,0
İzmir	845	121,5	96,4	80,7
Denizli	1245	185,0	152,3	131,8
Manisa	1166	173,7	140,6	119,9
Şanlıurfa	1157	165,8	135,5	116,5
Bursa	1491	221,9	182,0	157,0
Çanakkale	1371	207,1	166,0	140,2
K.Maraş	1284	184,9	152,2	131,7
Muğla	1458	224,5	183,6	158,0
Ordu	1361	183,8	150,4	129,4
Samsun	1377	180,7	146,7	125,4
Yalova	1409	188,9	155,1	133,9
Balıkesir	1498	236,9	194,8	168,4
Diyarbakır	1739	272,6	222,7	191,5
Tekirdağ	1586	228,7	185,9	159,2
A.Karahisar	2325	360,8	297,1	257,3
Kırşehir	2365	358,7	296,0	256,8
Kütahya	2360	366,1	305,0	266,9
Nevşehir	2508	373,5	306,9	265,3

ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerinden gidilerek Türkiye'de seracılığın yoğun olarak yapıldığı iller ve jeotermal kaynaklar

bakımından seracılık potansiyeline sahip iller için, çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı farklı donanımlara sahip seralarda sıcaklığın 16°C'de tutulduğu koşullar için üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri hesaplanarak Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi illerin Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerlerine bağlı olarak serada üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri değişmektedir. ISIGER-SERA uzman sisteme göre yapılan hesaplamalarda en düşük ısı enerjisi gereksinimi Mersin ilinde ($57,1 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ortaya çıkarken, en yüksek ısı enerjisi gereksinimi Nevşehir ($265,3 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) için hesaplanmıştır.

Seralarda istenen gece ve gündüz sıcaklık değerleri üretilen bitki çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Seralarda en fazla üretilen domates bitkisi

17-27°C sıcaklığa adapte olmuştur [16,17]. Seralarda domates üretiminde enerji tasarrufu amacıyla gece/gündüz sıcaklıkları 16/18°C'de tutulmaktadır. Akdeniz bölgesinde seralarda sıcaklığın 16°C'de tutulmak istenmesi durumunda gündüz saatlerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu bölgede gündüz saatlerinde seralarda sıcaklığın 18°C veya 20°C'ye yükseltilmesi ısı enerjisi gereksinimini fazla etkilememektedir. Çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeleri orta derecede olan serada, sıcaklığın gece 16°C, gündüz 16°C, 18°C ve 20°C'de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca birim sera alanı için gece ve gündüz saatlerinde gereksinilen ısı enerjisi farklı HDD değerleri için Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çatısı tek, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli serada sıcaklığın gece 16°C ve gündüz 16°C, 18°C, 20°C'de tutulması durumunda HDD değerlerine bağlı gereksinilen ısı enerjisi değerleri

Şekil 1'den de görüleceği gibi Isıtma-Derece-Gün (HDD) değeri 1250 olan bir yerde kurulacak PE plastik serada sıcaklığın tüm gün 16°C'de tutulmak istenmesi durumunda, üretim periyodu boyunca

gece ve gündüz gereksinilen toplam ısı enerjisi $124+27=151 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ olurken, gündüz sıcaklığın 18°C'ye yükseltilmesi durumunda bu değer $124+40=164 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ olmaktadır. Diğer bir ifade ile serada gündüz saatlerinde sıcaklığın

16°C'den 18°C'ye yükseltilmesi, toplam ısı enerjisi gereksinimini %8 artırmaktadır. Gece 16°C ve gündüz farklı sıcaklıklar için yapılan istatistiksel analizler sonucunda çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı serada farklı HDD değerleri için elde edilen istatistiksel ilişkiler Çizelge 5'te verilmiştir.

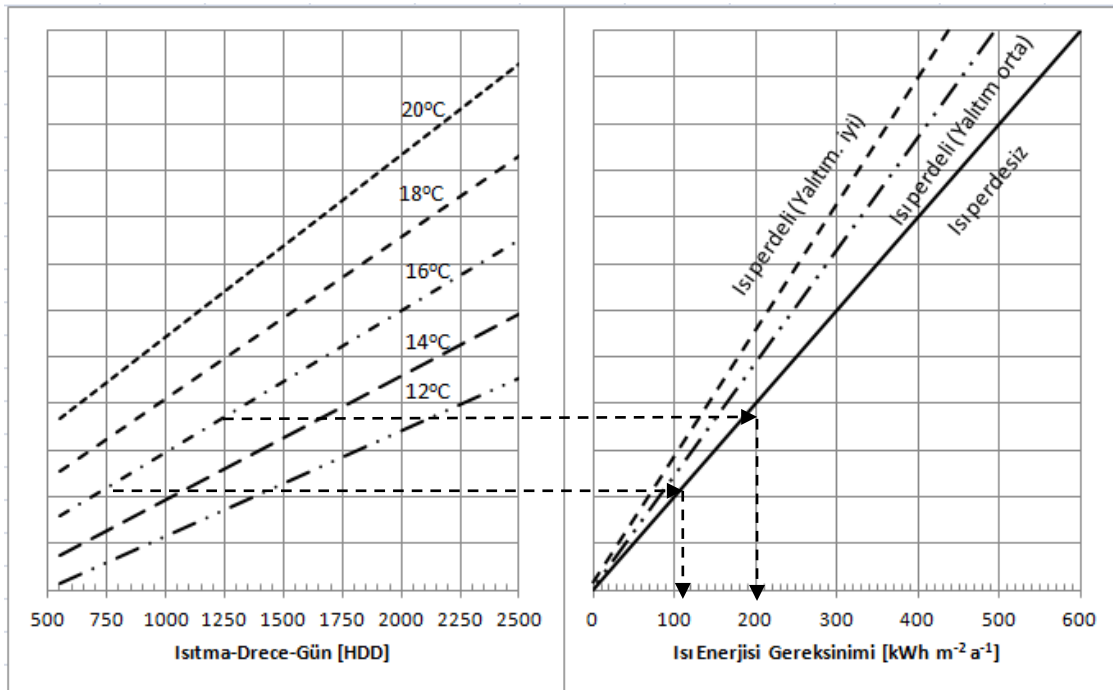
Çizelge 5. Isı perdeli PE plastik serada ısı enerjisi ve ısıtma-derece-gün (HDD) değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

Sıcaklık	İlişki	R ²
Gece 16°C	$q=0,092*HDD + 9,000$	0,983
Gündüz 16°C	$q=0,034*HDD - 15,87$	0,962
Gündüz 18°C	$q=0,043*HDD - 14,22$	0,962
Gündüz 20°C	$q=0,054*HDD - 10,18$	0,950

Seralarda Gece/Gündüz ısı enerjisi tüketim oranı bölge iklimine ve serada istenen sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Ilıman iklimin hakim olduğu yerlerde düşük gündüz sıcaklıkları için gece/gündüz enerji gereksinim oranı 9 olurken,

HDD değerinin büyüdüğü soğuk bölgelerde bu oran 3'e düşmektedir. Ilıman iklim bölgelerinde gündüz sıcaklık değerlerinin yükseltilmesi, gece/gündüz enerji tüketim oranını soğuk iklim bölgelerindeki değerlere yaklaştırmaktadır.

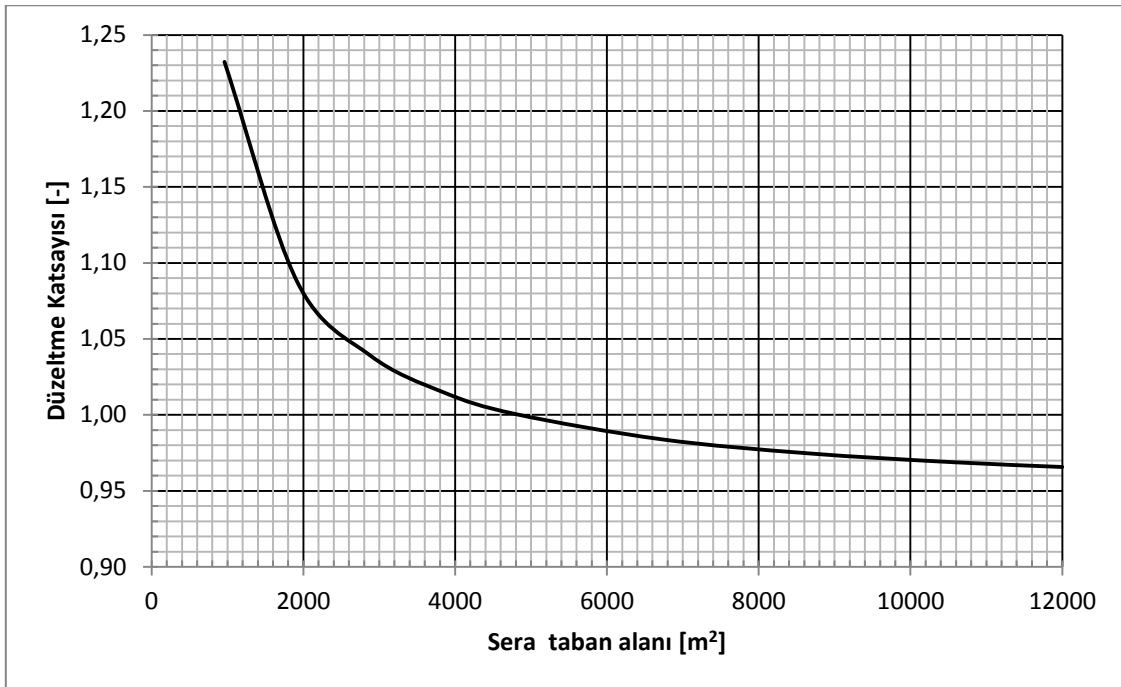
Seralarda ısı enerjisi gereksinimi seranın tipine, dış iklim koşullarına, sera donanımına ve serada arzulan sıcaklık değerlerine göre değişim göstermektedir. Serada arzulan sıcaklık ve ısı perdelerinin yalıtım durumuna bağlı olarak üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisinin belirlenmesi için geliştirilen nomogram Şekil 2'de verilmiştir. Geliştirilen bu nomogram yardımıyla herhangi bir yerin Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerine, serada istenen sıcaklık ve serada kullanılan ısı perdesinin yalıtımına bağlı olarak, üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi gereksinimi belirlenebilmektedir.



Şekil 2. Çatısı tek yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli serada ($A_G/A_H=1,53$) HDD değerlerine bağlı ısı enerjisi gereksinimi (Isıtma boruları sera tabanına yakın yerleştirilmiş)

Serada ısı enerjisi gereksinimi sera örtü yüzeyinin sera taban alanına oranına bağlı olarak değişmektedir. Serada alan büyüdükçe örtü yüzeyinin taban alanına oranı küçülmektedir. Bu durum serada birim alan için gereksinilen ısı enerjisini de etkilemektedir. Şekil 2’de verilen ısı enerjisi gereksinimleri örtü yüzey alanının sera taban alanına oranının (A_H/A_G) 1,53 olduğu sera

için geçerlidir. Farklı A_H/A_G oranına seralar için yapılacak hesaplamalarda Şekil 3’ten elde edilen düzeltme faktörüyle, Şekil 2’den belirlenen ısı enerjisi gereksiniminin çarpılması gereklidir. Şekil 3’ten de görüleceği gibi sera alanı büyüdükçe örtü yüzey alanının sera taban alanına oranı küçülmekte, bu durum ısı enerjisi gereksinimini de o oranda azaltmaktadır.



Şekil 3. Sera taban alanına bağlı olarak ısı enerjisinin belirlenmesinde gerekli olan düzeltme faktörü

Seralarda üretim periyodu boyunca tüketilen ısı enerjisi, sera ısıtma sisteminin tipine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalarda ısıtma sistemi sera tabanına ve bitki masuralarına yakın olarak kabul edilmiştir. Serada üfleli ısıtma sistemlerinin kullanılması veya ısıtma borularının seranın yan duvarlarına, çatı bölgesine veya masa altına yerleştirilmesi durumunda enerji tüketimleri farklı olmaktadır [8]. Çizelge 6’da Tantau [8] tarafından farklı ısıtma sistemleri için belirlenen ısı gereksinim katsayılarından yararlanılarak farklı ısıtma sistemleri için hesaplanan düzeltme faktörleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği

gibi en yüksek ısı enerjisi tüketimi ısıtma borularının sera tavanına yakın yerleştirildiği ve üfleli ısıtıcıların düşük kademelerde çalıştırılması durumunda ortaya çıkmaktadır.

Şekil 2’deki nomogram serada ısıtma borularının sera tabanına yakın yerleştirildiği koşullar için geçerlidir. Serada farklı ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda Çizelge 6’da verilen ısıtma sistemlerinden hangisi kullanılıyorsa, Şekil 2 ve 3 yardımı ile belirlenen ısı enerjisi gereksinimi Çizelge 6’dan alınan düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır.

Çizelge 6. Seralarda farklı ısıtma sistemleri için düzeltme faktörleri

Isıtma Sistemi	Düzeltilme Faktörü [-]
Yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma	1,22
Masa altına borulu ısıtma sistemi	1,10
Yan duvarlarda borulu ısıtma sistemi	1,21
Isıtma boruları tabana yakın	1,00
Düşük hızlı hava ısıtıcısı (1. Kademe)	1,48
Orta hızlı hava ısıtıcısı (2. Kademe)	1,06
Yüksek hızlı hava ısıtıcısı (3. Kademe)	1,19
Delikli plastik borulu hava ısıtıcısı	1,04

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Seralarda ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi işletme planlamasında ve yapılacak olan fizibilite hesaplamaları için gereklidir. Isı enerjisi seranın tipine, donanımına, serada arzulan sıcaklık değerlerine ve dış iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Serada ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi genelde ortalama sıcaklık değerlerinden ve ısıtma zamanının kabul edilmesiyle belirlenmektedir.

Ortalama sıcaklık değerlerine göre yapılan hesaplamalarda özellikle serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda veya hava sıcaklığının yüksek olduğu geçiş dönemlerinde elde edilen sonuçlar, gerçek değerlere göre sapmalar göstermektedir. Seralarda ısı enerjisinin saatlik iklim değerlerinden gidilerek belirlenmesi en sağlıklı sonuçları vermektedir. Aynı zamanda seranın termik özelliğine bağlı olarak serada ortaya çıkan sıcaklık yükselmelerinin de dikkate alınması elde edilen sonuçları daha sağlıklı kılmaktadır.

Sera kurulacak farklı yerler için saatlik iklim değerlerinin elde edilmesi ve saatlik değerlerden yararlanarak seralarda ısı gereksinimi hesaplarının elle yapılması zaman alıcı ve sıkıcıdır. Ayrıca ısıtılmayan ve havalandırılmayan seralarda hesaplamalar için gerekli olan gerçek sıcaklık

değerlerinin belirlenmesinde mantıksal ifadelerin kullanılması, hesaplamaların elle yapılmasını zorlaştırmaktadır. Belirtilen nedenle yapılan bu çalışmada seralarda ısı enerjisi gereksinimi ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerinden gidilerek hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada yukarıda ifade edilen dezavantajlar nedeniyle elde edilen ısı enerjisi gereksinimleri ile bölge iklimini temsil eden Isıtma-Derece-Gün değerleri arasında istatistiksel analizler yapılarak, belirlenen matematiksel ilişkiler ve grafikler yardımı ile farklı donanımlara sahip seraların ısı enerjisi gereksiniminin kolayca belirlenmesi mümkündür. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda farklı donanımlara sahip seralarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimleri ile Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri arasında yüksek güvenilirlikli ilişkiler elde edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 114O533 nolu proje çerçevesinde geliştirilen ISIGER-SERA uzman sistemden yararlanarak hazırlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. De Pascale, S., Maggio, A., 2005. Sustainable Protected Cultivation at Mediterranean Climate, Perspectives and Challenges. Acta Horticulturae, 691, 29-42.
2. Campiotti, C.A., Dondi, F., 2007. ENEA Casaccia, dpt. BASE mail: campiotti@casaccia.enea.it.
3. Bot, G.P.A., 2008. Greening the Greenhouse General Consideration. Wageningen UR Greenhouse Horticulture.
4. Garcia, J.L., De la Plaza, S., Navas, L.M., Benavente, R.M., Luna, L., 1998. Evaluation of the Feasibility of Alternative Energy Sources for Greenhouse Heating J. agric. Engng Res. 69, s.107-114.
5. Baytorun, A.N., Akyüz, A., Üstün, S., 2016. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere

- Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. Proje No: 114O533.
6. Çanakçı, M., Emekli, Y.N., Bilgin, S., Çağlayan, N., 2013. Heating Requirement and Cost in Greenhouses: A Case Study for Mediterranean Region of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 483-490.
 7. Zabeltitz, Chr. von., 2011. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer -Verlag Berlin Heidelberg.
 8. Tantau, H.J., 1983. *Heizungsanlagen im Gartenbau*. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
 9. Baytorun, A.N., Zaimoğlu, Z., Üstün, S., 2012. Akdeniz Bölgesi Seralarında Isı Enerjisi Gereksiniminin ve Enerji Artırım Önlemlerinin Etkisinin Belirlenmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. Bornova, İzmir.
 10. Damrath, J., 1980. Tabellen zur Heizenergieermittlung von Gewächshäusern. *Gartenbautechnische Information ITG Hannover*. Heft 8 Klima Hannover.
 11. Rath, T., 1992. Einsatz wissenbasierter Systeme zur Modellierung und Darstellung von Gartenbautechnischen Fachwissen am Beispiel des Hybriden Expertensystems HORTEX. *Gartenbautechnische Informationen*, Heft 34, Institut für Technik im Gartenbau der Universität Hannover.
 12. Dağsöz, A.K., 1998. Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı, Demirdöküm Teknik Yayınları No:6, İstanbul.
 13. Sahal, N., 2006. Proposed Approach for Defining Climate Regions for Turkey Based on Annual Driving Rain Index and Heating Degree-Days for Building Envelope Design, *Building and Environment* 41,520–526.
 14. Lstiburek, J.W., 2001. Hygrothermal Climate Regions, Interior Climate Classes and Durability, *Proceedings of the Eighth Conference on Building Science and Technology*, Toronto, Canada, pp. 319–29.
 15. Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2007. Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri.
 16. Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martinez-Garcia, P.F., Monteiro, A., Verlot, H., Villele, O., Zabeltitz, C.V., Denis, J.C., Baudoin, W., & Garnaud, J.C., 1988. *Cultures Protegees en Climat Mediterranean*. FAO, Rome.
 17. Verlot, H., 1990. *Greenhouses in Cyprus, Protected Cultivation in the Mediterranean climate*. FAO, Rome, Italy.

AHP-WRA Bütünleşik Yöntemi Kullanılarak Mobilya Sektöründe Müşteri Şikayetlerinin Değerlendirilmesi

Cansu DAĞSUYU¹, Elif Buçe DERE¹ ve Ali KOKANGÜL^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Adana

Geliş tarihi: 02.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada mobilya sektöründe yer alan müşteri şikayetleri incelenerek her bir şikayetin önem seviyesi belirlenmiştir. Müşteri şikayetleri şikayetin tipi, açıklaması ve şikayet konusu marka olmak üzere üç ana kritere göre sınıflandırılmıştır. Her bir ana kriterde etkisi olan alt kriterler belirlenmiştir. Müşteriden gelen şikayetlerin önem seviyeleri belirlenirken bu ana ve alt kriterler dikkate alınarak Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Ağırlıklı Sıralama Analizi'nden faydalanılmıştır. Böylece müşteri şikayetlerinin önem seviyesi ve dolayısıyla öncelik sırası belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar mobilya alanında faaliyet gösteren firmaların müşteri memnuniyetini maksimum seviyede sağlamak amacıyla yapılacak çalışmalara yön verecektir.

Anahtar Kelimeler: AHP, Müşteri şikayetleri, WRA

Evaluation of Customer Complaints in Furniture Industry by Using Integrated AHP-WRA

Abstract

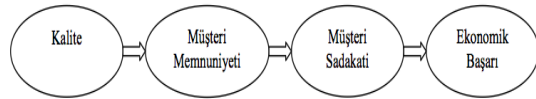
In this study, importance level of complaints has been determined with examination of customer complaints in furniture industry. Customer complaints have been divided and classified in three main criteria as type of complaint; explanation of complaint and brand the complaint subject. Sub criteria, which affect main criteria, have been determined. Importance level of complaints, which are coming from customers, have been analysed with AHP and WRA with the consideration of sub and main criteria. Thus, importance level of customer complaints and their priorities have been specified. Results will help to companies, who are operating in furniture industry, to direct their studies about maximum customer satisfaction.

Keywords: AHP, Customer complaints, WRA

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali KOKANGÜL, kokangul@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerdeki artış günümüzde firmaları rekabette yeni yollar aramaya zorlamıştır. Teknolojideki gelişmelerin üretim hattına ve ürüne yansıtılması işçilik maliyetlerini ve birim üretim sürelerini azaltmakta ve dolayısıyla üretim miktarını arttırabilmektedir. Bu durum ürünün satış fiyatının rakiplere göre daha uygun olmasını sağlamaktadır. Gelişmiş teknoloji ile düşük maliyete üretilen ürünün pazarda yer edinebilmesi için ürünün müşteri tarafından kabul görmesi gerekmektedir. Uygun satış fiyatında kaliteli üretilen ürün Şekil 1'de de görüldüğü gibi beraberinde müşteri memnuniyetini getirmektedir. Memnun müşteri sayesinde müşteri sadakati ve dolayısıyla firmanın ekonomik başarısı artmaktadır.



Şekil 1. İşletme başarı zinciri [1]

Müşteri memnuniyetinin sağlanması firmaya fayda sağlarken müşteri memnuniyetsizliği de firmaların hem prestij hem de ekonomik açıdan kayıplar yaşamasına neden olacaktır. Müşteri memnuniyetsizliğinde müşteriler memnuniyetsizliklerini 10 başka kişiye aktarmaktadır. Bu 10 kişinin de %13'ü bu durumu 20 başka kişiye aktarır [2]. Memnuniyetsizliğin kişiden kişiye aktarılması sonucunda firmanın müşteri gözündeki değeri azalacak ve firma müşteriler tarafından tercih edilmeyecektir. Ayrıca yeni müşteri kazanmanın maliyeti var olan müşterileri elde tutma maliyetinden çok daha yüksek olduğundan var olan müşterilerin memnuniyetlerinin sağlanması firmalar açısından son derece önem arz etmektedir [3].

Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi ancak müşteri beklentilerinin karşılanması ve müşteri şikayetlerinin değerlendirilerek giderilmesiyle mümkün olmaktadır. Şikayetlerin değerlendirilmesi ve en kısa sürede giderilmesi çoğu zaman önemli bir iş gücü gerektirmektedir. Birden fazla müşteri şikayeti olması durumunda firmaların işgücünü

yönetebilmeleri ve müşteri memnuniyetini maksimize edebilmeleri ancak müşteri şikayetlerinin önem seviyelerinin belirlenmesiyle sağlanabilir.

Müşteri şikayetlerinin veya müşteri memnuniyetlerinin önem seviyelerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Oğuzlar [4] çalışmasında otomotiv sektöründeki müşteri şikayetlerini Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile önceliklendirmiştir. Çalışmada genel şikayetler servis, garanti, ses ve bakım alt başlıklarında; parça şikayetleri ise motor, boya, cam, yağ, fren ve lastik alt başlıklarında incelenmiştir. Bu alt başlıklardan faydalanarak otomobillerin orijinlerine göre değerlendirmesi yapılmıştır. Murat ve Çelik [5] çalışmalarında otellerde müşteri memnuniyet ve sadakatini etkileyen kalite parametrelerini belirlemiş ve AHP ile ikili kıyaslamalar yaparak en iyi otel alternatiflerini belirlemiştir. Bhattacharya ve arkadaşları [6] kalite fonksiyon göçerimi uygulamalarında robot seçiminde müşteri beklentilerinin önceliklendirilmesinde AHP yaklaşımından faydalanmıştır. Medjoudj ve arkadaşları [7] çalışmalarında elektrikli enerji sistemlerinde müşteri memnuniyeti ve finansal başarının sağlanması amacıyla AHP tekniğini kullanmıştır. Baliga ve arkadaşları [8], çalışmalarında güneş enerjili ısıtıcı kullanan müşterilerin memnuniyetlerini arttırmak için, Yıldız ve Yıldız [9], restoranlarda servis kalitesinin artırılarak müşteri memnuniyetinin sağlanması amacıyla AHP tekniğinden faydalanmıştır. Aksoy [10] çalışmasında tekstil perakende sektöründe müşteri beklentilerinin belirlenmesinde AHP yöntemini kullanmıştır. Elde edilen öncelikleri kalite fonksiyon göçeriminde kullanmıştır. Doğan ve Karakuş [11] çalışmalarında kalite fonksiyon göçeriminde müze ziyaretçilerinin beklentilerinin önem seviyelerini belirlerken AHP yönteminden faydalanmıştır. Urfalıoğlu ve Tüter [12] müşteri memnuniyetini sağlayacak granit seçiminde AHP yönteminden faydalanmıştır.

Literatürde müşteri memnuniyetinin artırılmasında AHP tekniğinin kullanıldığı

pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada da mobilya sektöründe müşteri memnuniyetinin artırılması amacıyla müşteri şikayetlerinin giderilmesi konusunda çalışılmıştır. Mobilya sektöründe müşteri şikayeti olabilecek ana ve alt kriterler belirlenmiş ve önem seviyeleri AHP ve Ağırlıklı Sıralama Analizi (Weighted Ranking Analyses-WRA) ile belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Müşteri şikayetlerinin belirlenip önceliklendirildiği çalışmamızda mobilya sektöründe hizmet veren bir işletmenin verilerinden faydalanılmıştır. Firmaya gelen müşteri şikayet formları incelenmiş ve müşteri şikayetleri belirlenmiştir. Her bir şikayete

ait ürünün markası; şikayetin çağrı tipi ve hata açıklaması kayıt altına alınmıştır.

Firmada üç farklı marka ile çalışmaktadır. Şikayetlerin çağrı tipi; ürün şikayetleri, iade/değişim talebi, servis hizmet memnuniyetsizliği, servis talebi, işlem gecikmesi / termine uymama ve ücretsiz işlem talebi olmak üzere 6 ana grupta incelenmiştir. Her bir çağrı tipine ait olası nedenler analiz edilmiş ve Çizelge 1’de verilmiştir.

Mobilya sektöründe hizmet veren firmada hata açıklamaları ürünün lekelenmesi, rahatsız edici olması, kırılması, çökmesi, kumaşta deformasyon, montaj hatası ve servis hatası olmak üzere yedi ana başlıkta özetlenmiştir. Çizelge 2’de her bir hatanın oluşmasının olası nedenleri verilmiştir.

Çizelge 1. Çağrı tiplerinin olası neden analizi

Çağrı Tipi	Olası Nedenler
Ürün Şikayetleri	1. Ürünlerde kalitesiz hammadde kullanılması 2. Gelişen teknolojiye uygun olmaması 3. Dikkatsizlikten dolayı teslimat sırasında ürüne zarar verilmesi, hasar oluşması 4. Farklı boyut, malzeme ve ağırlıklara sahip ürünlerin aynı araçta taşınması sırasında ürünlerin birbirine zarar vermesi
İade/Değişim Talebi	1. Üründe telafisi olmayan hataların oluşması 2. Müşteri beklentilerinin karşılanamaması
Servis Talebi	1. Tüketicinin ürünü yanlış kullanmasına bağlı sorun oluşması 2. Üretim hatasına bağlı sorun oluşması 3. Dağıtımdan kaynaklı sorun oluşması
İşlem Gecikmesi/ Termine Uymama	1. Gelen servis taleplerini karşılayacak elemanın yetersiz olması 2. Servis elemanlarını ve servis işlerini denetleyici bir sistemin mevcut olmaması
Servis Hizmeti Memnuniyetsizliği	1. Servis elemanlarının sorumsuz davranışı 2. Servis elemanlarının işi standartlara göre yürütememesi
Ücretsiz İşlem Talebi	1. Tüketicinin üreticiden kaynaklı olduğunu düşündüğü bir sorunun olması 2. Ürünün tüketiciye teslimatından önceki zaman diliminde hasara uğramış olması

Çizelge 2. Hatalar ve olası nedenleri

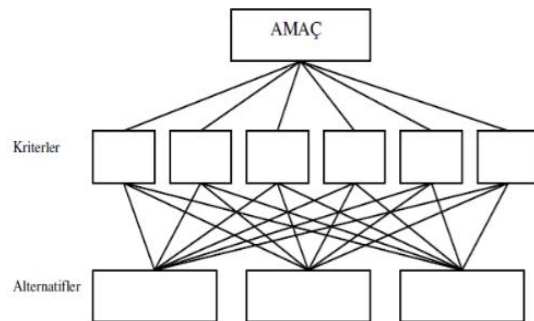
Hata Açıklaması	Olası Nedenler
Leke	1. Üretim esnasında leke oluşması 2. Teslimat esnasında leke oluşması 3. Depoda stoklama sırasında leke oluşması
Rahatsız Edici	1. Ürün tasarımının ergonomik olmaması 2. Ürünün üretiminde kullanılan malzemelerin yanlış seçilmesi
Kırılma	1. Tüketicinin kullanımına bağlı ürünün kırılması 2. Ürün malzemesinin ve/veya boyutlarının yanlış seçilmesinden dolayı ürünün kırılması
Çökme	1. Ürün malzemesinin yanlış seçilmesi 2. Üretim hatası 3. Tüketici hatası
Kumaşta Deformasyon	1. Kullanılan kumaşın kalitesinin iyi olmaması 2. Ürünün kullanım şartlarına bağlı deformasyonu
Montaj Hatası	1. Servis personelinin kalifiye olmaması 2. Montaj standartlarının olmaması veya mevcut personelin bu standartlara dikkat etmemesi
Servis Hatası	1. Servis elemanının görev bilincinde olmaması 2. Servis hizmetini kontrol ve/veya iyileştirme sisteminin yetersiz olması

Çalışmanın yapıldığı firma 3 farklı markanın satışını gerçekleştirmektedir. Gizlilik politikası nedeniyle marka isimleri verilmemiş olup çalışmada A, B ve C markaları olarak bahsedilecektir.

2.2. Metot

Bu çalışmada WRA ve AHP yöntemlerinden faydalanılmıştır. WRA yönteminde kriterler belirlenen skalaya göre puanlandırılmaktadır. AHP çok kriterli karar verme yöntemlerinden olup öznel yargıların hesaplamalar sonucunda sayısallaştırmasına dayanmaktadır. AHP yöntemi, Saaty tarafından 1971-1975 yılları arasında geliştirilmiştir [13]. Yöntemin adımları şu şekilde özetlenebilir [14]:

- a. Problemin hiyerarşik bir yapı şeklinde gösterilmesi: Hiyerarşik yapıda amaç, kriterler ve alternatifler bulunmaktadır. Eğer istenirse kriterleri ana ve alt kriterler olmak üzere gruplandırarak hiyerarşik yapının seviyesi artırılabilir. Şekil 2’de klasik bir hiyerarşik yapı görülmektedir.



Şekil 2. AHP örnek gösterim

- b. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması: İkili karşılaştırmalar yapılırken kriterler kendi aralarında Çizelge 3'deki skala dikkate alınarak karşılaştırılır ve puanlandırılır.

Çizelge 3. AHP skala [15]

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önem
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması
5	Güçlü düzeyde önem
7	Çok güçlü düzeyde önem
9	Aşırı düzeyde önem
2,4,6,8	İki komşu değer arasındaki değer (Ortalama Değerler)

- c. İkili karşılaştırma matrislerinin öncelik değerlerinin bulunması: Puanlamanın ardından AHP formülasyonları uygulanarak her bir kriterin ağırlık puanı elde edilir.
- d. Tutarlılık oranının hesaplanması: Kriterlerin Çizelge 3'e göre puanlandıktan sonra, her bir satırın geometrik ortalaması alınarak " w_i " sütun vektörü oluşturulur. Oluşturulan sütun vektörü normalize edilerek, göreceli önemler vektörü " W_i " hesaplanır. Matristeki her bir satırın her bir elemanı göreceli önemler vektörü (W_i) sütunundaki elemanlarla çarpılıp toplanmasıyla V_1 sütun vektörü elde edilir. V_1 sütun vektörünün her elemanı, W_i vektöründe karşı gelen elemana bölünür ve V_2 vektörü hesaplanır. V_2 sütun vektörünün aritmetik ortalaması alınarak da en büyük öz değer λ_{max} elde edilir. n dikkate alınan kriter sayısı olmak üzere tutarlılık göstergesi ve tutarlılık oranı sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2 ile elde edilir [15].

$$\text{Tutarlılık Göstergesi} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi}}{\text{Rassallık Göstergesi}} \quad (2)$$

Rassallık göstergesi (RG) ana kriter sayısına göre değişmektedir. Çizelge 4'de rassallık gösterge değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. Kriter sayısına göre rassal indeks değerleri [16]

n	RG	n	RG
3	0,5245	9	1,4499
4	0,8815	10	1,4854
5	1,1086	11	1,5141
6	1,2479	12	1,5365
7	1,3417	13	1,551
8	1,4056	14	1,5713

Tutarlılık Oranı 0,10'a eşit ya da 0,10'dan küçük ise yapılan ikili karşılaştırmalar tutarlıdır yorumu yapılabilir. Tutarlılık Oranı 0,10'dan büyük olduğunda tutarlılık yoktur ve bu durumda puanlamayı yapan uzmanlara AHP puanlamasının tekrar yaptırılması gerekebilmektedir.

- e. Nihai öncelik değerlerinin belirlenmesi: Hiyerarşinin en üstünden en altına doğru adım adım her bir seviyede yer alan ağırlıklar çarpılır ve bu çarpımlar toplanarak her bir alternatifin nihai öncelik değeri elde edilir.

Firmaya gelen müşteri şikayetlerinin önceliklendirilmesinde çağrı tipi, hata açıklaması ve marka ana kriterler olarak alınmış ve ana kriterlerin önem seviyeleri AHP yöntemi ile belirlenmiştir. AHP yönteminde kullanılan skala Çizelge 3'te verilmiştir. Her bir ana kriterde bulunan alt kriterlerin puanlandırılmasında ise WRA tekniğinden faydalanılmıştır. WRA tekniğinde Çizelge 5'de bulunan 1-5'lik skala kullanılmıştır. Her bir ana kriterin önem seviyesi ile alt kriterlerin puanları çarpılarak ağırlıklı puanlar elde edilmektedir. Elde edilen toplam puana göre de sıralama yapılarak müşteri şikayetlerinin öncelik sırası belirlenmiştir.

Çizelge 5. WRA skala

Puan	Açıklama
1	Çok az önemli
2	Az önemli
3	Orta önemli
4	Önemli
5	Çok önemli

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada dikkate alınan çağrı tipi, hata açıklaması ve marka ana kriterlerinin ağırlıkları belirlenirken uzman görüşü doğrultusunda AHP ile puanlama yapılmıştır. Çalışmada uygulanan AHP adımları aşağıda verilmiştir.

- Problemin hiyerarşik bir yapı şeklinde gösterilmesi: Çalışmada uygulanan AHP hiyerarşisi Şekil 3’de verilmiştir. Müşteri şikayetlerinin önceliklerinin belirlenmesi çalışmada amaçlanmaktadır. Müşteri şikayetleri ‘alternatifler’i oluşturmaktadır. Şikayetlerin önceliklendirilmesinde WRA tekniği ile entegre bir yöntem izleneceğinden hiyerarşide alternatiflere yer verilmemiştir.
- İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması: Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisine Çizelge 6’da yer verilmiştir. Alt kriterlerin önem seviyelerinin belirlenmesinde WRA tekniğinden faydalanılmıştır.

c. İkili karşılaştırma matrislerinin öncelik değerlerinin bulunması: İkili karşılaştırmalar sonucunda her bir ana kriterin önem seviyeleri Çizelge 6’da son kolonda ağırlık değerleri olarak verilmiştir. Bu çalışmada alt kriterlerin önem değerleri bulunurken WRA tekniği kullanılmıştır. Çizelge 5’de verilen WRA skalasına göre puanlama yapılmış ve puanlamalar Çizelge 7’de verilmiştir.

- Tutarlılık oranının hesaplanması: Denklem 1 ve Denklem 2 için $n=3$ alınarak hesaplamalar yapıldığında tutarlılık Göstergesi= $0,026810788$; Tutarlılık Oranı = $0,051559208$ olarak bulunmaktadır. Tutarlılık Oranı 0.10 ’dan küçük olduğu için yapılan puanlamanın tutarlı olduğu söylenebilir.
- Nihai öncelik değerlerinin belirlenmesi: Ana kriterlerin WRA’da kullanılacak olan ağırlıkları AHP ile belirlenmiş ve her bir alt parametrelerin 1-5 skalasına ait puanları uzman görüşü ile ortaya konulmuştur. Firmaya gelen müşteri şikayetlerinin önem seviyeleri belirlenip önceliklendirilirken Çizelge 6’daki ve Çizelge 7’deki puanlar kullanılmaktadır. Ana ve alt kriterlerin ağırlıkları Şekil 3’de verilmiştir.

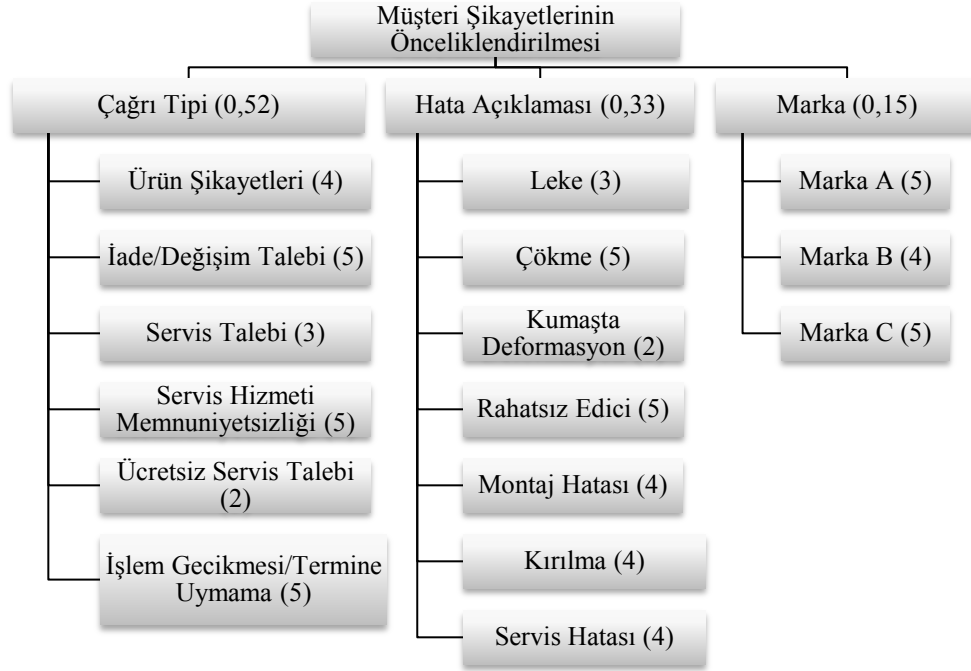
Alternatifleri oluşturulan müşteri şikayetlerinin önceliklendirilmesinde firmaya gelen müşteri şikayetlerinin beş tanesi dikkate alınmış ve Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 6. Ana kriterlerin AHP değerlendirmesi

Parametreler	Marka	Çağrı Tipi	Hata Açıklaması	Ağırlık Değerleri
Marka	1	1/3	1/3	0,15
Çağrı Tipi	3	1	2	0,52
Hata Açıklaması	3	1/2	1	0,33

Çizelge 7. Alt parametrelerin puanlandırılması

Çağrı Tipi	Puan	Hata Açıklaması	Puan	Marka	Puan
Ürün Şikayetleri	4	Leke	3	Marka A	5
İade/Değişim Talebi	5	Rahatsız Edici	5	Marka B	4
Servis Talebi	3	Kırılma	4	Marka C	5
İşlem Gecikmesi/Termine Uymama	5	Çökme	5		
Servis Hizmeti Memnuniyetsizliği	5	Kumaşta Deformasyon	2		
Ücretsiz Servis Talebi	2	Montaj Hatası	4		
		Servis Hatası	4		



Şekil 3. AHP hiyerarşik yapı

Çizelge 8. Firmaya gelen müşteri şikayetleri

Şikayet No	Marka	Çağrı Tipi	Hata
Ş(1)	Marka A	İade/Değişim Talebi	Leke
Ş(2)	Marka B	Ürün Şikayetleri	Rahatsız Edici
Ş(3)	Marka A	Servis Talebi	Montaj Hatası
Ş(4)	Marka C	Ücretsiz İşlem Talebi	Leke
Ş(5)	Marka B	Ürün Şikayetleri	Çökme

Çizelge 8’de dikkate alınan şikayetleri AHP ve WRA tekniğine göre derecelendirme sonuçları Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelge 9’da ikinci kolonda ana kriterler için AHP’den elde edilen ağırlık puanlarına (AP) yer verilmiştir. Her bir şikayetin sınıfına göre Çizelge 7’deki puanlandırmaya göre aldığı puanlar ve bu puanların ait oldukları parametrelerin AHP ağırlık puanları ile çarpımı ‘Ağırlıklı Şikayet Puanı (AŞP)’na da Çizelge 9’da yer verilmiştir. Çizelge 9’un son satırında da her bir şikayetin ağırlıklı toplam puanları elde edilmiştir.

Şikayetlerin AHP ve WRA tekniklerine göre önceliklendirilmesi Çizelge 9’dan incelendiğinde en yüksek puanı 2 numaralı şikayete aittir. Bu nedenle şikayetlerin giderilmesinde ilk olarak 2 numaralı şikayete öncelik verilecek ve firmada bulunan personelin ve alet-ekipmanın bu şikayetin çözümünde kullanılması sağlanmaya çalışılacaktır. Çizelge 9’da yapılan değerlendirmeye göre 2 numaralı şikayetin giderilmesinin ardından sırasıyla 1, 5, 3 ve 4 numaralı şikayetlerin çözülmesi gerekmektedir.

Çizelge 9. Müşteri şikayetlerinin nihai puanlaması

Parametre	AP	Ş (1)	AŞP (1)	Ş (2)	AŞP (2)	Ş (3)	AŞP (3)	Ş (4)	AŞP (4)	Ş (5)	AŞP (5)
Marka	0,15	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6	4	0,6
Çağrı Tipi	0,52	5	2,6	4	2,08	3	1,56	2	1,04	4	2,08
Hata	0,33	3	0,99	5	1,65	4	1,32	3	0,99	5	1,65
Toplam			4,34		4,48		3,63		2,63		4,33

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada mobilya sektöründe teknik servis hizmeti veren bir firmaya gelen müşteri şikayetleri değerlendirilmiş ve şikayetlerin önceliklendirilmesi yapılmıştır. Firmadaki olası şikayetler tip, hatalar ve marka olmak üzere 3 ana kriter ile incelenmiş ve ana kriterler AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Firmaya gelen şikayetlerin alt kriterlerden alacağı puanlar WRA ile belirlenmiş ve şikayetlerin WRA puanları AHP puanları ile çarpılarak şikayetlerin ağırlıklı puanları elde edilmiştir. Bu ağırlıklı puanlara göre hangi şikayetin öncelikli olarak çözülmesinin firmaya maksimum faydayı getireceği ortaya konulmuştur.

Bu çalışma sonucunda firma aynı anda birden fazla müşteri şikayeti ile karşılaştığında mevcut personel ve alet-ekipman kapasitesini daha etkin yönetebilecektir. Firma için öncelikli müşteri şikayetinin en hızlı şekilde çözüme kavuşturulması müşteri memnuniyetini de arttıracığından firmanın kar marjını ve pazardaki rekabet gücünü de arttıracaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Türkyılmaz, A., Özkan, C., 2005. Ulusal Müşteri Memnuniyet İndeksleri. In KalDer Forum, 16, 73-77.
2. Gerson, F. R., 1997. Müşteri Tatmininde Süreklilik. (Çev: Tülay Savaşer). Rota Yayınları, İstanbul.
3. Burucuoğlu, M., 2011. Müşteri Memnuniyeti ve Sadakatini Arttırmada Müşteri Şikayetleri Yönetiminin Etkinliği: Bir Örnek Olay İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.

4. Oğuzlar, A., 2007. Analitik Hiyerarşi Süreci İle Müşteri Şikayetlerinin Analizi. Akdeniz University Faculty of Economics & Administrative Sciences Faculty Journal/Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(14).
5. Murat, G., Çelik, N., 2007. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Otel İşletmelerinde Hizmet Kalitesini Değerlendirme: Bartın Örneği. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 3(6), 1-20.
6. Bhattacharya, A., Sarkar, B., Mukherjee, S. K., 2005. Integrating AHP with QFD for Robot Selection under Requirement Perspective. International Journal of Production Research, 43(17), 3671-3685.
7. Medjoudj, R., Laifa, A., Aissani, D., 2012. Decision Making on Power Customer Satisfaction and Enterprise Profitability Analysis Using the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Production Research, 50(17), 4793-4805.
8. Baliga, A.J., Rodrigues, L.L., Shiva Prasad, H.C., 2015. Prioritising The Sub Criteria to Gauge Customer Satisfaction Levels of Solar Water Heater Users Using AHP Approach. International Journal of Current Research and Review, 7(5), 16311-16317.
9. Yıldız, S., Yıldız, E., 2015. Service Quality Evaluation of Restaurants Using The AHP And Topsis Method. Journal of Social and Administrative Sciences, 2(2), 53-61.
10. Aksoy, A., Hazır Giyim Perakende Sektöründe İçsel Kıyaslama Çalışmasına Bir Örnek, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013.
11. Doğan, N. Ö., Karakuş, Y., 2014. KFG-AHP Bütünleşik Yöntemi Kullanılarak Turizm Sektöründe Hizmet Kalitesinin

- Değerlendirilmesi: Göreme Açık Hava Müzesi Üzerine Bir Uygulama, Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences, 19(3).
12. Urfaloğlu, F., Tüter, K., 2015. Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle Müşteri Memnuniyeti Açısından Uygun Granitin Seçimi Üzerine Bir Uygulama, Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi, 1, 233-260.
 13. Saaty, R.W., 1987. The Analytic Hierarchy Process: What it is and How it is Used, Mathl Modelling, 9(3-5): 161-176.
 14. Vaidya, O.S., Kumar, S., 2006. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications, European Journal of Operational Research, 169: 1-29.
 15. Saaty, T.L., 1980. The analytic hierarchy process. New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996, 2000), Pittsburgh: RWS Publications.
 16. Alonso, J.A., Lamata, M.T., 2006. Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A New Approach, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 14(4): 445-459.

Çapraz Akışlı Saptırılmış Boru Demeti Isı Değiştiricilerinin Ekonomik Optimizasyonu

Mehmet Tahir ERDİNÇ¹, Alper YILMAZ^{*2}, Tuncay YILMAZ¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Osmaniye,

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendislik Bölümü,
Adana

Geliş tarihi: 02.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Çapraz akışlı saptırılmış boru demeti ısı değiştiricileri kolay temizlenebilir olmaları, hacimsel ısı transferinin büyük olması dolayısıyla ısı geri kazanımında ve kuru tip soğutma kulelerinde en çok tercih edilen ısı değiştiricilerinden biridir.

Bu çalışmada, mahal olarak Türkiye'nin 2. bölgesinden bir şehir seçilerek, ısı değiştiricisi için ilk yatırım, işletme ve toplam giderler araştırılarak ekonomik optimizasyon yapılmıştır. İlk yatırım giderlerinde pompa, vantilatör ve ısı değiştiricisi fiyatları, işletme giderlerinde pompa ve vantilatörün harcadığı elektrik enerjisi dikkate alınmıştır. Ancak işletme giderleri bugünkü değere göre belirlenmiştir. Çeşitli parametrelere göre elde edilen sonuçlar grafikler şeklinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz akış, Saptırılmış boru demeti, Ekonomik optimizasyon

Economic Optimization of Cross-flow Staggered Plain Tube Bank Heat Exchangers

Abstract

Cross-flow staggered tube bank heat exchangers are among the most commonly used heat exchangers in heat recovery systems and closed type cooling towers due to resistance to fouling and high rate of volumetric heat transfer.

In this study, initial investment cost, operating cost and total cost for economic optimization of heat exchanger is investigated in a city of 2. climatic zone of Turkey. For initial investment cost, pump, ventilator and heat exchanger prices, and for operating cost electricity consumption of pump and ventilator are taken into consideration. But present values are used for operating costs. Results to be obtained are shown graphically for different parameters.

Keywords: Cross-flow, Staggered tube banks, Economic optimization

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Alper YILMAZ, alpyil@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çapraz akışlı boru demeti ısı değiştiricileri (ÇABDID) endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Isı transferinin daha iyi olmasından ve kolay temizlenebilme özelliklerinden dolayı saptırılmış boru demetleri tercih edilmektedir.

ÇABDID içinde ısı transferi kapsamlı olarak Gnielinski [1] tarafından incelenmiş ve ısı transferi için çeşitli parametreleri içeren eşitlikler verilmiştir. Bu ısı değiştiricilerinde basınç kaybı için genel eşitlikler ise Gaddis [2] tarafından elde edilmiştir.

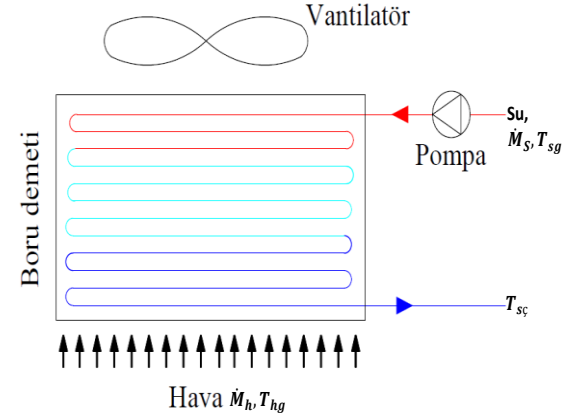
ÇABDID bilhassa kapalı yaş soğutma kulelerinde ısı değiştiricisi olarak kullanılmaktadır. Bunların modellenmesi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır [3-6]. Ekonomik optimizasyon üzerine Caputo ve arkadaşları [7] ve Manossaldi ve arkadaşları [8] tarafından kanatçıklı borulu ısı değiştiriciler için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken en önemli fiyatlar ilk yatırım fiyatları ve işletme maliyetleri olup, bunlar hakkında geniş bilgi Taal ve arkadaşları [9] tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada ÇABDID'ın ekonomik olarak optimizasyonu kanatçık içermeyen düz borular için gerçekleştirilecektir.

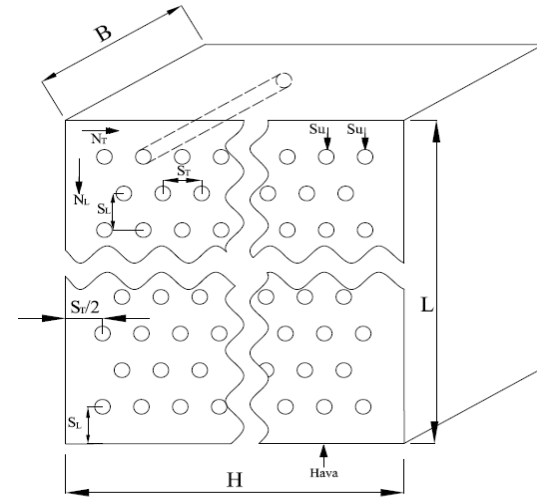
2. ÇAPRAZ AKIŞLI SAPTIRMALI BORU DEMETİ

Çapraz akışlı saptırmalı boru demeti ısı değiştiricisinin sistemdeki yeri Şekil 1'de gösterilmiştir. Isı değiştiricisi dışında burada \dot{M}_h debisini basan vantilatör ve \dot{M}_s debisini basan

pompa gösterilmiştir. Şekil 2'de ise boru demeti verilmiştir.



Şekil 1. Isı değiştiricisinin sistemdeki yeri



Şekil 2. Çapraz akışlı saptırmalı boru demeti

Isı değiştiricisinin borularının içinden soğutulacak su, boru dışlarından ise hava akmaktadır. Hava girişinde ısı değiştiricisinin kesit alan boyutları B ve H'dir. Isı değiştiricisinin hava akışı doğrultusunda uzunluğu da L'dir. Boru iç ve dış çapları d_d ve d_i olarak verilmektedir. Şekilden de gösterildiği gibi, akışa dik yönde boru merkezleri arasındaki mesafe s_T ve akış yönündeki mesafe ise s_L 'dir. Akışa dik yönde boru sayısı N_T ve akış yönünde ise N_L 'dir. Buna göre toplam boru sayısı

$$N=2 \cdot N_T \cdot N_L \quad (1)$$

şeklinde yazılır. Isı değiştiricisi girişindeki hava hızı

$$u_h = \frac{\dot{M}_h}{\rho_h \cdot A} \quad (2)$$

olarak belirlenir. Burada $A=B \cdot H$ ısı değiştiricisi kesit alanıdır. ρ_h hava yoğunluğu olup

$$\rho_h = \frac{P_h}{R_h \cdot T_h} \quad (3)$$

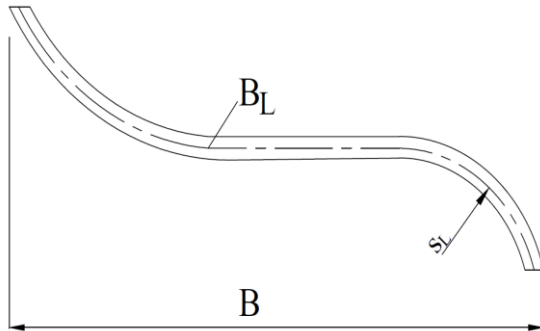
eşitliğinden hesaplanır. Burada P_h hava basıncı, ısı değiştiricisinin bulunduğu mahaldeki rakım H_{ma} verildiğinde ASHRAE [10] tarafından verilen bağıntıdan hesaplanır:

$$P_h = 101,325 \cdot \left(1 - 2,256 \cdot \frac{H_{ma}}{100.000} \right)^{5,256} \quad (4)$$

Burada P_h kPa ve H_{ma} da m olarak birimlendirilmiştir.

Isı değiştiricisi eni B ile ısı değiştiricisi içindeki tek boru uzunluğu B_L Eşitlik 3' te gösterilmiş olup, aralarındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$B_L = B + (\pi - 2) s_L \quad (5)$$



Şekil 3. B ve B_L 'nin gösterimi

3. ISI TRANSFERİ VE BASINÇ KAYBININ HESAPLANMASI

\dot{M}_{s1} ve \dot{V}_{s1} her kolondan akan suyun kütle ve hacimsel debileri olup, aşağıda verilmiştir:

$$\dot{M}_{s1} = \frac{\dot{M}_s}{2N_T} \quad (6)$$

$$\dot{V}_{s1} = \frac{\dot{M}_{s1}}{\rho_s} \quad (7)$$

Su kütle debisi ise transfer edilmek istenen \dot{Q} ısısından belirlenir:

$$\dot{M}_s = \frac{\dot{Q}}{c_{ps}(T_{sg} - T_{sç})} \quad (8)$$

Burada T_{sg} ve $T_{sç}$ suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları olup, c_{ps} de suyun özgül ısıdır. Boru içindeki su hızı

$$u_s = \frac{\dot{V}_{s1}}{A_i} \quad (9)$$

Bağıntısından ve boru içi kesit alanı da

$$A_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (10)$$

eşitliğinden bulunmalıdır.

Hesaplarda gerekli olacak Re_s sayısı

$$Re_s = \frac{u_s d_i}{\nu_s} \quad (11)$$

şeklinde hesaplanır. Kinematik viskozite ν_s dahil, fiziksel özellikler suyun ortalama sıcaklığı T_{sm} 'de alınmalıdır.

$$T_{sm} = \frac{T_{sg} + T_{sç}}{2} \quad (12)$$

Boru içinden akan suyun basınç kaybı

$$\Delta P_s = \left(\zeta_y + \zeta_s \cdot \frac{L_{B1}}{d_i} \right) \cdot \frac{\rho_s u_s^2}{2} \quad (13)$$

şeklinde belirlenir. L_{B1} uzunluğu suyun bir kolonda akma uzunluğu olup

$$L_{B1} = N_L \cdot B_L \quad (14)$$

eşitliğinden bulunur.

Su tarafındaki ısı transferi katsayısı

$$h_s = Nu_s \cdot \frac{k_s}{d_i} \quad (15)$$

şeklinde hesaplanır. Burada k_s suyun ısı iletim katsayısıdır. Yerel basınç kayıp katsayısı giriş ve çıkış kayıpları dikkate alınarak $\zeta_y = 2$ alınacaktır. Sürtünme kayıp katsayısı ve Nusselt sayısı laminar ve türbülanslı akış durumları için aşağıda verilen eşitliklerden bulunabilir [11].

$Re_i \leq 2300$ için

$$Nu_s = 3,66 + \frac{0,0677 z_s^{-1,33}}{1 + 0,1 Pr_s^{0,117} z_s^{-0,83}} \quad (16)$$

$$z_s = \frac{L_{B1}}{d_i} \frac{1}{Re_s Pr_s} \quad (17)$$

$$\xi_s = \frac{64}{Re_s} + 1,33 \quad (18)$$

$Re_s > 2300$ için

$$Nu_s = \frac{\lambda_s}{8} \frac{(Re_s - 1000) Pr_s}{1 + 12,7 (\lambda_s/8)^{1/2} (Pr_s^{2/3} - 1)} \quad (19)$$

$$\lambda_s = \frac{1}{(1,82 \log Re_s - 1,64)^2} \quad (20)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\xi_s}} = 3,48 - 1,7372 \ln \left(\frac{\varepsilon}{d_i/2} + \frac{9,35}{Re_s \sqrt{\xi_s}} \right) \quad (21)$$

Burada ε iç borudaki bağıl pürüzlülük

$$\varepsilon = \frac{s_p}{d_i} \quad (22)$$

olup s_p 'de mutlak pürüzlülüktür.

Hava ile boru dışı arasındaki ısı transferi katsayısı

$$h_h = Nu_h \cdot \frac{k_h}{d_i} \quad (23)$$

bağıntısından bulunur. k_h havanın ısı iletim katsayısıdır. h_h Gnielinski [1] tarafından açıklanan yöntemle göre hesaplanacaktır. Bu metoda göre

$$Nu_L = 0,3 + (Nu_{L,L}^2 + Nu_{L,t}^2)^{0,5} \quad (24)$$

$$Nu_{L,L} = 0,664 Re_{V,L}^{0,5} Pr_h^{1/3} \quad (25)$$

$$Nu_{L,t} = \frac{0,037 Re_{V,L}^{0,8} Pr_h}{1 + 2,443 Re_{V,L}^{-0,1} (Pr_h^{2/3} - 1)} \quad (26)$$

$$Nu_{h,\infty} = \frac{2}{\pi} Nu_L \quad (27)$$

$$Nu_N = f_{A,N} Nu_a \quad (28)$$

$$f_{A,N} = \frac{1 + (N_L - 1) f_A}{N_L} \quad (29)$$

$$f_A = 1 + \frac{2}{3 s_L^*} \quad (30)$$

eşitlikleriyle elde edilir.

Burada $Re_{v,L}$ değeri

$$Re_{v,L} = \frac{\pi \left(1 - \frac{1}{s_T^*}\right)}{2 \left(1 - \frac{\pi}{4s_T^*}\right)} Re_{max} \quad (31)$$

$$Re_{max} = \frac{u_{max} d_d}{\nu} \quad (32)$$

$$Nu_h = \frac{2}{\pi} Nu_L \quad (33)$$

bağıntıları ile belirlenir. Burada ayrıca

$$s_L^* = \frac{s_L}{d_d} \quad (34)$$

$$s_T^* = \frac{s_T}{d_d} \quad (35)$$

şeklinde tarif edilmişlerdir.

Isı değiştiricisinde transfer edilen ısı

$$\dot{Q} = U \cdot F \cdot \Delta T_m \quad (36)$$

olarak belirlenir. Su giriş ve çıkış sıcaklıkları ile hava giriş sıcaklığı verildiğinde, hava çıkış sıcaklığı bellidir. Bu durumda ΔT_m ve UF değerleri

$$\Delta T_m = \frac{(T_{sg} - T_{hç}) - (T_{sç} - T_{hg})}{\ln \left(\frac{(T_{sg} - T_{hç})}{(T_{sç} - T_{hg})} \right)} \quad (37)$$

$$\frac{1}{UF} = \frac{1}{\frac{1}{h_i F_i} + \frac{s_d}{k_d F_{dm}} + \frac{1}{h_h F_d}} \quad (38)$$

şeklinde bulunurlar. Ayrıca boru iç, dış ve ortalama yüzey alanları

$$F_d = N \cdot \pi \cdot d_d \cdot B_L \quad (39)$$

$$F_i = N \cdot \pi \cdot d_i \cdot B_L \quad (40)$$

$$F_m = \frac{F_d - F_i}{\ln \frac{F_d}{F_i}} \quad (41)$$

olarak belirlenir. u_{max} ile u_h arasında

$$u_{max} = \frac{s_T^*}{2(s_d^* - 1)} u_h \quad (42)$$

$$s_d^* = \left[s_L^{*2} + (s_L^*/2)^2 \right]^{0.5} \quad (43)$$

bağıntıları geçerlidir. Hava tarafındaki basınç kaybı

$$\Delta P_h = \lambda_N N_L \frac{\rho_h u_{max}^2}{2} \quad (44)$$

bağıntısıyla hesaplanır. λ_N değeri de Gaddis [2] tarafından verilen eşitlikle elde edilir.

$$\lambda_h = \lambda_{hl} + \lambda_{ht} \left[1 - \exp \left(- \frac{Re_{max} + 200}{1000} \right) \right] \quad (45)$$

$$s_L^* \geq 0,5 (2s_T^* + 1)^{0.5} \text{ için}$$

$$\lambda_{hl} = \frac{280 \pi \left[\left(s_L^{*0.5} - 0,6 \right)^2 + 0,75 \right]}{Re_{max} \left(4s_L^{*2} s_T^* - \pi \right) s_T^{*1.6}} \quad (46)$$

$$s_L^* < 0,5 (2s_T^* + 1)^{0.5} \text{ için ise}$$

$$\lambda_{hl} = \frac{280 \pi \left[\left(s_L^{*0.5} - 0,6 \right)^2 + 0,75 \right]}{Re_{max} \left(4s_L^{*2} s_T^* - \pi \right) c^{*1.6}} \quad (47)$$

$$c^* = \left(s_L^{*2} + s_T^{*2} / 4 \right)^{0,5} \quad (48)$$

yazılır. λ_{ht} ise aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\lambda_{ht} = \left[2,5 + \frac{1,2}{(s_T^* - 0,85)^{1,08}} + 0,4 \left(\frac{s_L^*}{s_T^*} - 1 \right)^3 - 0,01 \left(\frac{s_T^*}{s_L^*} - 1 \right)^3 \right] / \text{Re}_{\max}^{0,25} \quad (49)$$

4. İŞLETME GİDERLERİNİN HESABI

İşletme giderleri olarak vantilatör ve pompanın harcadıkları elektrik enerjisi dikkate alınacaktır. Su pompasının işletme gideri

$$\dot{W}_s = \frac{\Delta P_s \cdot \dot{V}_s}{\eta_{pT}} \quad (50)$$

şeklinde hesaplanır. η_{pT} toplam pompa verimi olup; pompa, aktarma organı ve elektrik motoru verimlerini içermektedir.

Vantilatör toplam basınç kaybı

$$\Delta P_V = \Delta P_h + \xi_h \frac{\rho u_h^2}{2} \quad (51)$$

olarak belirlenir. ξ_h yerel basınç katsayısı olup, giriş ve çıkış kayıpları dikkate alınarak $\xi_h = 2$ olarak kabul edilmiştir. Vantilatörün harcadığı güç de

$$\dot{W}_V = \frac{\Delta P_V \cdot \dot{V}_h}{\eta_{VT}} \quad (52)$$

şeklinde hesaplanmıştır. η_{VT} toplam vantilatör verimi olup; vantilatör, aktarma organı ve elektrik motoru verimlerini içermektedir. Toplam elektrik tüketimi

$$\dot{W} = \dot{W}_V + \dot{W}_p \quad (53)$$

şeklinde belirlenir. Yıllık harcanan elektrik tutarı FI'da

$$FI = \dot{W} \cdot YS \cdot fe / 1000 \quad (54)$$

olarak elde edilir. YS yıllık çalışma saati olup, genelde YS=8000 olarak kabul edilmektedir. fe ise elektrik birim fiyatı olup, 2016 ilk yarıyıldaki fe = 0,2 TL/kWh olarak alınabilir.

Ancak, ilk yatırım masraflarıyla karşılaştırmak için işletme masraflarının bugünkü değeri FI_{BD} 'nin bulunması gerekmektedir. FI_{BD} 'de

$$FI_{BD} = FI \cdot F_{BD} \quad (55)$$

$$F_{BD} = \frac{(1+i_r)^n - 1}{i_r \cdot (1+i_r)^n} \quad (56)$$

olarak elde edilir [12]. i_r reel faiz olup, enflasyon i_e ve nominal faiz i_n den elde edilir [12]:

$$i_r = \frac{i_n + i_e}{1 + i_e} - 1 \quad (57)$$

Eşitlik 56'da n pompa ve vantilatör amortizasyon yılıdır.

5. İLK YATIRIM GİDERLERİNİN HESABI

İlk yatırım fiyatı FY

$$FY = FYV + FYP + FYE \quad (58)$$

olarak, vantilatör, pompa ve ısı değiştiricisi ilk yatırım fiyatlarından oluşur. Burada ısı değiştiricisi fiyatı

$$F_{YE} = L_B \cdot f_B \cdot f_E \quad (59)$$

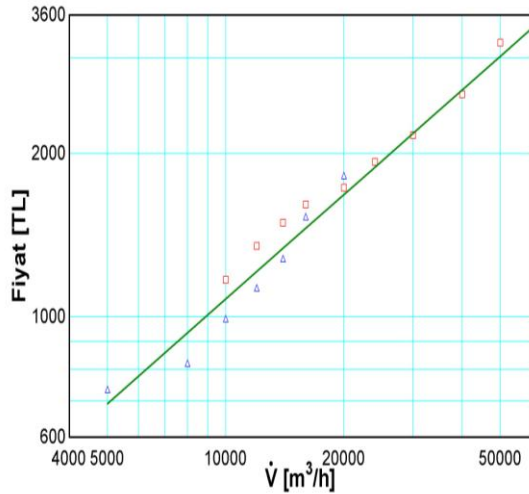
şeklinde bulunabilir. Burada da L_B ısı değiştiricisi boru uzunluğu olup

$$L_B = B_L \cdot N \quad (60)$$

olarak hesaplanır. f_B birim boru uzunluğu, f_E 'de imalat katsayısıdır. Vantilatör fiyatı F_{YV} , 2015 yılı birim fiyat listesine göre [13] şekil 4'te verilmiştir. Bu değerler eşitlik olarak

$$F_{YV} = 2,97 \cdot \dot{V}_h^{0,64} \quad (61)$$

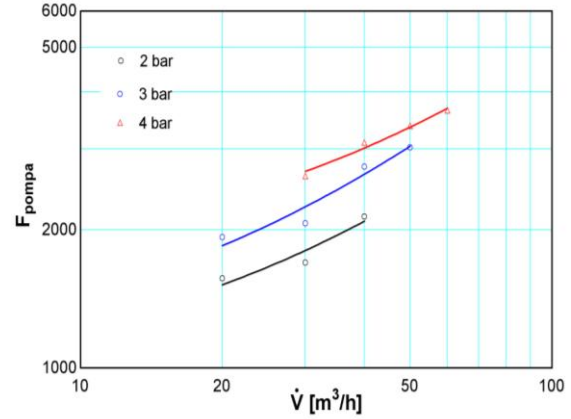
şeklinde bulunmuştur. F_{YV} , TL olarak ve \dot{V}_h 'de m^3/h olarak birimlendirilmiştir.



Şekil 4. F_{YV} 'nin değişimi

Pompa fiyatı F_{YP} yine birim fiyat listesine göre [14] şekil 5'te gösterilmiştir. F_{YP} değişimi ve basınca bağlı olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$F_{YP} = 255 \cdot P^{0,42} \cdot \dot{V}_p^{0,5} \quad (62)$$



Şekil 5. F_{YP} 'nin değişimi

Pompa çıkış basıncı P bar ve pompa değişimi \dot{V}_p 'de m^3/h olarak verilmektedir. F_{YP} 'de TL olarak bulunmaktadı. Toplam fiyat da

$$F_{YI_{BD}} = F_{YV} + F_{I_{BD}} \quad (63)$$

olarak hesaplanır.

6. SONUÇLAR

Hesaplarda ısı değiştiricilerde en çok kullanılan 3/4"lik çelik boru alınacak olup, $d_d=26,9$ mm, $d_i=21,1$ mm'dir. Mahal olarak Türkiye'de 2. Bölge seçilmiş olup, kış aylarına uygun ortalama dış sıcaklık $T_{hg} = 1^\circ C$ alınmıştır. 2. Bölgede şehir olarak Gaziantep seçilmiş olup, $H_{ma}=840$ m'dir. Borular eşkenar üçgen şeklinde yerleştirilmiş olup, bundan dolayı

$$s_L = \frac{\sqrt{3}}{2} s_T \quad (64)$$

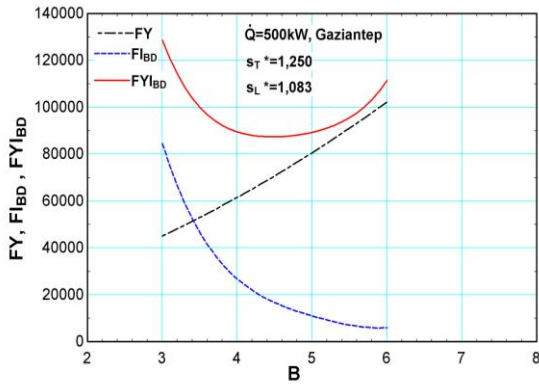
olarak alınacaktır. Isı değiştiricisi kesit alanı kare olarak kabul edilecek ve bundan dolayı

$$B = H \quad (65)$$

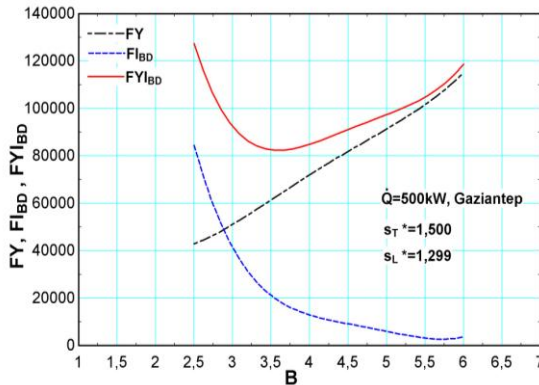
olarak hesaplar yapılacaktır. Hesaplanan ısı değiştiricisinin yoğuşturucu soğutulması için

kullanıldığı düşünülürse, su giriş ve çıkış sıcaklıkları Gaziantep için $T_{sg} = 33^{\circ}\text{C}$ ve $T_{sç} = 28^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilecektir. Kullanılan borunun birim fiyatı 2016 fiyatlarıyla $f_B=5,06$ TL/m ve $f_E=1,5$ kabul edilmiştir. Ayrıca nominal faiz $i_n=0,11$ ve enflasyon da $i_e=0,07$ olarak alınacaktır. Pompa çıkış basıncının da $P_p=2$ bar olduğu düşünölmektedir.

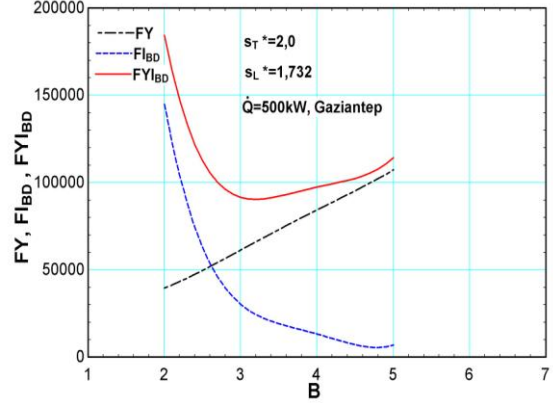
Yukarıda verilen değerler dikkate alınarak ekonomik optimizasyon için değişkenler olarak transfer edilen ısı \dot{Q} , hava kütle debisi \dot{M}_h , ve akışa dik yönde borular arası mesafe s_T alınacaktır.



Şekil 6. İlk yatırım işletme bugünkü değer ve toplam bugünkü fiyatın B ile değişimi

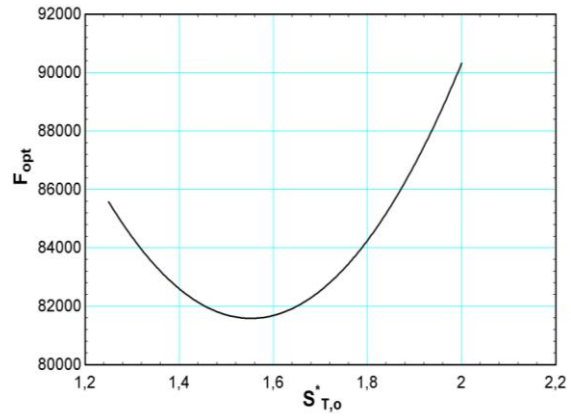


Şekil 7. İlk yatırım işletme bugünkü değer ve toplam bugünkü fiyatın B ile değişimi

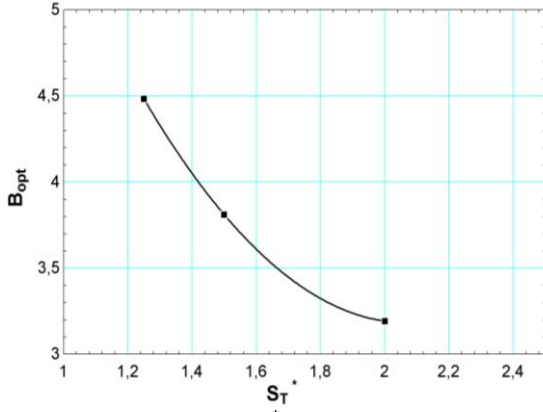


Şekil 8. İlk yatırım işletme bugünkü değer ve toplam bugünkü fiyatın B ile değişimi

Şekil 6, 7 ve 8'de ısı değiştiricisi, pompa ve vantilatörün ilk yatırım tutarı FY ile işletme masrafları bugünkü değeri ve toplam masraf bugünkü değer F_{IBD} , $F_{Y_{IBD}}$ ısı değiştiricisi eni B'nin fonksiyonu olarak verilmiştir. İlk yatırım masrafları B ile artarken işletme masrafları da azalmaktadır. Ancak belirli bir B değerinde toplam masraf en küçük değere erişmekte olup, bu değer ısı değiştiricisinin optimum ekonomik değeridir. Bu üç diyagramda s_T^* değeri sırasıyla 1,25, 1,50 ve 2,00 olarak alınmıştır. Optimum ısı değiştiricisi eni B_{opt} ve optimum toplam bugünkü fiyat da F_{opt} olarak gösterilirse, bunlar $s_{T,o}^*$ 'un fonksiyonu olarak Şekil 9 ve 10 verilmiştir.



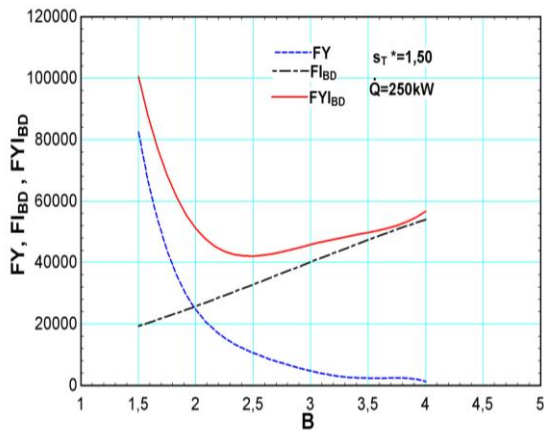
Şekil 9. F_{opt} değerinin $s_{T,o}^*$ ile değişimi



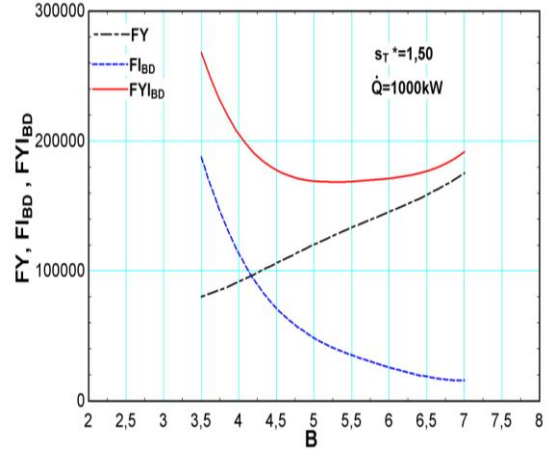
Şekil 10. B_{opt} değerinin $s_{T,o}^*$ ile değişimi

Şekil 9'dan görüleceği gibi F_{opt} değeri $s_{T,o}^*$ ile önce artmakta olup, yaklaşık $s_{T,o}^* = 1,55$ 'te en küçük olmaktadır. Buna karşı B_{opt} değeri $s_{T,o}^*$ ile düşmektedir. Bunun nedeni $s_{T,o}^*$ küçüldüğünde basınç kayıpları hızla artmakta, bu artışı telafi etmek için ise B_{opt} düşmektedir.

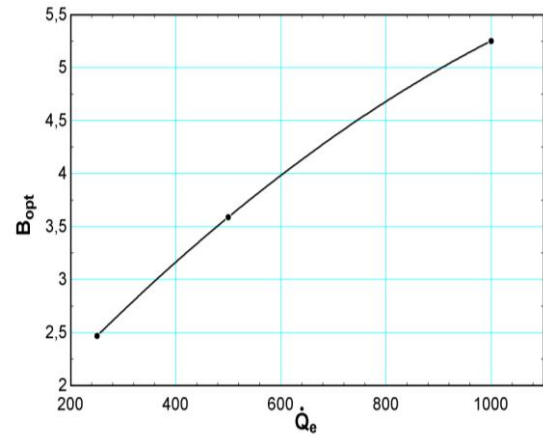
Şekil 11 ve 12'de ise $s_T^* = 1,5$ durumunda \dot{Q}_e değeri, Şekil 7'de verilenin yarısına ve iki katına çıkarılmıştır. Bu durumlarda hava kütle debisi de yarıya ve iki katına çıkarılmıştır. B_{opt} ve F_{opt} değerleri beklendiği gibi kule yükü \dot{Q}_k ile artmaktadır. Şekil 13 ve 14'te F_{opt} ve B_{opt} değerlerinin \dot{Q}_e ile değişimi verilmiş olup, hem F_{opt} hem de B_{opt} , \dot{Q}_e ile artmaktadır.



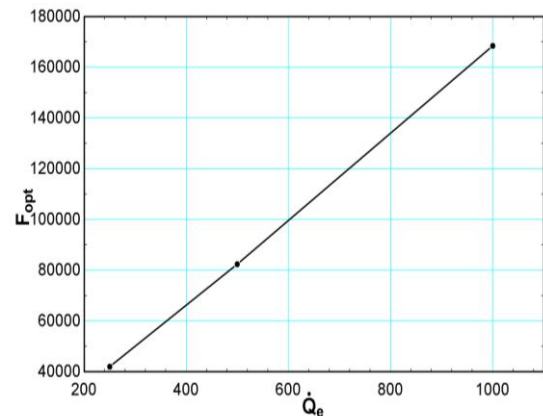
Şekil 11. Fiyatların B ile değişimi



Şekil 12. Fiyatların B ile değişimi



Şekil 13. B_{opt} değerinin \dot{Q}_e ile değişimi



Şekil 14. F_{opt} değerinin \dot{Q}_e ile değişimi

7. KAYNAKLAR

1. Gnielinski, V., 2010. Heat Transfer in Cross Flow Around Single Rows of Tubes and Through Tube Bundles, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 725–729.
2. Gaddis, E.S., 2010. Pressure Drop of Tube Bundles in Cross Flow, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 1076–1091.
3. Yılmaz, A., Erdinç, M. T., 2016. A New Model for the Calculation of Closed Wet Cooling Towers, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), March 19-20, p. 2454-2471, Kilis.
4. Zalewski, W., Niezgoda-Zelasko, B., Litwin, M., 2000. Optimization of Evaporative Fluid Coolers, International Journal of Refrigeration, 23, 553-565.
5. Gan, G., Riffat, S.B., 1999. Numerical Simulation of Closed Wet Cooling Towers for Chilled Ceiling Systems, Applied Thermal Engineering, 19, 1279-1296.
6. Hasan A., Siren K., 2001. Theoretical and Computational Analysis of Closed Wet Cooling Towers and its Applications in Cooling of Buildings, Energy and Building, 34,477-486.
7. Caputo A. C., Pelagage P. M., Salin, P., 2008. Heat Exchanger Design Based on Economic Optimization, Applied Thermal Engineering, 28, 1151-1159.
8. Nabassaldi J.I., Nicolas J.S., Mussati S.F., 2014. Optimization Mathematical Model for the Detailed Design of Air Cooled Heat Exchangers, Energy, 64, 734-746.
9. Taal, M., Bulatov I., Klemes J., Stehlik P., 2003. Cost Estimation and Energy Price Forecasts for Economic Evaluation of Retrofit Projects, Applied Thermal Engineering, 23, 1819-1835.
10. ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009. Chapter 1: Psychometrics, Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
11. Yılmaz, T., 1999. Teorik ve Uygulamalı Isı Transferi, Papatya Yayıncılık.
12. Mishra, S., 2010. Engineering Economics and Costing, PHI Learning Private Limited.
13. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016. Birim Fiyat Listesi, Poz No: 253.101-253.107-253.201-253.209.
14. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016. Birim Fiyat Listesi, Poz No:217.122-217.160.

Parasetamolün İçme Sularından Koagülasyonla Giderimi ve Sıcaklığın Etkisi

Mesut BAŞIBÜYÜK¹, Fatma Elçin ERKURT*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, parasetamolün içme sularından koagülasyonla giderimi, dört farklı koagülant ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) kullanılarak araştırılmıştır. Tüm koagülasyon deneyleri jar test analizleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimum pH ve koagülant dozlarının belirlenmesinden sonra sıcaklığın etkisinin incelenmesi amacıyla dört farklı sıcaklıkta (10, 15, 20 ve 25°C) koagülasyon çalışmaları yapılmıştır. Parasetamolün en yüksek giderim verimi (%46) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile pH 11’de elde edilmiştir. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile optimum değerlerde 10°C’de parasetamol giderim verimi %22 iken aynı şartlarda sıcaklık 25°C’ye çıkarıldığında yüzde giderim verimi %53 olarak elde edilmiştir. Tüm koagülasyon deneylerinde sıcaklığın artmasıyla yüzde giderim veriminin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Parasetamol, Koagülasyon, İçme suyu

Removal of Paracetamol from Drinking Water by Coagulation and Effect of Temperature

Abstract

In this study, the removal of paracetamol by using four different coagulants ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) from drinking water was investigated. All of the coagulation experiments were performed by using jar test. After the determination of optimum coagulant dosage and pH, coagulation experiments were performed at four different temperatures to determine the effect of temperature. The highest removal efficiency of paracetamol was obtained with $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and at pH 11. While paracetamol removal efficiency was determined 22% with $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ under optimum conditions, at 10°C, it was removed with 53% efficiency at 25°C under same conditions. It was determined that the removal efficiency increased with increasing temperature for all coagulation experiments.

Keywords: Paracetamol, Coagulation, Drinking water

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Elçin ERKURT, eerhurt@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Farmasötiklerin günümüzde insan kullanımı ve veteriner amaçlı kullanımının giderek yaygınlaşıp, artması neticesinde kirleticiler arasında önemli ve acil önlem alınması gereken gruplar arasına girmiştir. Farmasötik olarak aktif olan bileşikler (FAM), insan ve hayvanlarda görülebilen bir takım hastalıkların, düzensizliklerin, anormal fiziksel durumların veya bunların semptomlarının teşhisi, tedavisi, hafifletilmesi amacı ile üretilen bir veya birkaç etken madde karışımını ihtiva edebilen bileşiklerdir [1]. Farmasötik terimi geniş bir aralık sınıfında, değişken yapıda, fonksiyonda, davranışta ve aktivitede bileşikler kapsar [2].

Farmasötikler karaciğer, bağırsak, böbrek, akciğer gibi vücut dokularında bir takım enzimatik transformasyonlara uğrarlar. Vücut kendisine yabancı olan bu maddeleri gidermek ve detoksifikasyon amacıyla metabolize ederek tepki verir. Metabolizmanın önemli bir kısmı karaciğerde gerçekleşir. Her ilaç vücutta, etken maddenin bir kısım veya tüm farmasötik aktivitesini giderecek şekilde farklı seviyelerde daha polar metabolitlerine dönüştürülür. Farmasötiklerin sucul ortamlara geçişindeki en yaygın yol insani tüketim neticesinde vücut tarafından kanalizasyon sistemine atılması buradan atıksu arıtma tesislerine ve neticede yüzey sularına ulaşmasıdır. FAM'ların vücuttan atılması neticesinde bu kimyasal maddeler veya onların vücut içerisinde oluşan metabolit ürünleri idrar ve dışkı yoluyla su ortamına karışabilmektedir. FAM'lar bu yüzden toprakta, yüzey sularında, dip çamurlarında, evsel atıksularda, arıtma çamurlarında ve yer altı sularında tespit edilmektedir [3]. Farmasötiklerin vücut tarafından metabolize edilmesi farmasötik türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Karbamazepin %97 metabolize olurken bir antibiyotik olan amoksisilin %80-90 arasında vücuttan ana formda atılmaktadır [4]. Kullanıma hazır içme sularında FAM'ların mevcudiyetini bildiren sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu durum içme sularında bulanabilecek FAM'ların çok düşük ng/L mertebelerinde olmasından dolayı oluşan analitik zorluklardan kaynaklanmaktadır. Bu

konsantrasyonlar çoğu zaman tespit limitlerinin altında kalabilmektedir. Musluk sularında FAM'ların bu kadar düşük konsantrasyonda bulunmaları, bu konuyu önemsiz bir duruma getireceği asla düşünülmemelidir. Sıradan bir insanın günde 2 litre su içtiği farz edilirse kalıntı şeklinde alınması mümkün olan ilaç miktarları tedavi amaçlı alınan miktarların çok altında kalmaktadır. Ancak bu kalıntı miktarlarının sürekli alınması ayrıca bir ilaç kokteyli şeklinde alınması da önem arz etmektedir. Burada etken maddelerin birbirleriyle sinerjistik etki sergilemesi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca bu durum yetişkinlerin yanında bebek ve çocuklarda daha büyük önem arz etmektedir. FAM'ların içme sularında mevcudiyetinin en önemli nedeni su kaynağında bulunan FAM'ların geleneksel içme suyu arıtma proseslerine karşı dirençli olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kimyasallar genellikle; yüksek kimyasal kararlılığa, düşük biyolojik indirgenmeye, suda yüksek oranda çözünme ve düşük sorpsiyon katsayılarına sahiptirler [5].

Koagülasyon içme sularında doğal organik maddelerin ve bulanıklılığın giderilmesinde etkili bir yöntem olmasından dolayı yaygın kullanılan bir işlemdir [6]. Literatürde yapılan bazı çalışmaların sonucuna göre içme sularında koagülasyon ile ilaçların giderim verimleri genellikle düşük kalmıştır [7,8,9]. Bu durum büyük olasılıkla ilaçların genellikle düşük hidrofobikliği ve flok içine adsorbe olacak mekanizmanın eksikliğinden kaynaklanmaktadır [7].

Çoğu analjezikler (ağrı kesiciler) anti-inflamatuar ve antipiretik özelliklere sahiptir. Pek çok ağrı kesici ilaç grupları pek çok ülkede çok miktarlarda kullanılıp aynı zamanda reçetesiz olarak satılmaktadır. Parasetamol ve asetilsalisilik asit dünyada en yaygın kullanılan ağrı kesicilerdir. Almanya'da 2001 yılında yıllık asetilsalisilik asit satışı 500 tonun üzerinde olarak hesaplanmıştır. Bunu yanında yine Almanya'da diğer ağrı kesicilerden ibuprofen veya diklofenağın yıllık satış miktarları yaklaşık olarak 75 ve 180 ton olarak hesaplanmıştır. Ternes 1998'de yaptığı çalışmasında Asetilsalisilik asit konsantrasyonunun

Almanya atıksu arıtma tesisi çıkış sularında yaklaşık olarak 0,22 µg/L olarak saptamıştır [10].

Parasetamol (asetaminofen), ağrı kesici ve ateş düşürücü etkiye sahip bir ilaç etken maddesidir. Günümüzde analjezik ve antipiretik amaçlı en sık kullanılan ilaçlardan biri olan parasetamol (asetaminofen; para-asetil-amino-fenol) ilk kez 1878 yılında sentezlenmiş, ve 1893 yılında tıbbi kullanıma girmiştir [11,12]. Parasetamol özellikle çocuk, yaşlı, gebe gibi özel gruplar başta olmak üzere tıbbi kullanımdaki en güvenilir analjezik/antipiretik ilaçlardan biri olarak kabul edilmektedir ve günümüzde tüm dünyada milyonlarca hasta tarafından kullanılmaktadır [13].

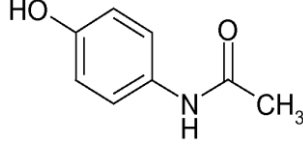
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan İlaç ve Koagülanlar

Çalışmada yaygın olarak kullanılan bir ilaç etken maddesi olan parasetamol kullanılmıştır. Parasetamol (Asetaminofen) Sigma firmasından temin edilmiştir. Parasetamolün bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Parasetamolün bazı özellikleri

PARASETAMOL	
Kimyasal yapısı	
Kimyasal formül	C ₈ H ₉ NO ₂
CAS No	103-90-2
Molekül Ağırlığı	151,2 g/mol
Log K _{ow}	0,46
pK _a	9,4
Diğer isimler	Acetaminophen, N-(4-Hydroxyphenyl) acetamide
Erime Noktası	170 °C(338°F)
Toksosite	LD50: 338 mg/kg (fare)
Yoğunluk	1,3 g/cm ³

Gerek endüstriyel atıksuların arıtılmasında ve gerekse içme suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan koagülanlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan koagülanlar Merck firmasından temin edilmiştir. Kullanılan koagülanlar, kimyasal formülleri ve molekül ağırlıkları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan koagülanlar

Koagülan madde	Kimyasal formülü	Mol. ağırlığı (g/mol)
Alüminyum sülfat	Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	666,42
Demir III Klorür	FeCl ₃ .6H ₂ O	270,33
Demir II Sülfat	FeSO ₄ .7H ₂ O	278,02
Magnezyum Klorür	MgCl ₂ .6H ₂ O	203,30

2.2. Metod

2.2.1. Jar Test Analizi

Jar test deneyleri, rpm ayarlı, 6’lı jar test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Jar testi deneylerinde giderimi araştırılan ilaç etken maddesinin her bir koagülan için optimum çalışma şartları belirlenmiştir. Yapılan tüm jar testleri, 100 rpm’de 1 dk hızlı karıştırma, 30 rpm’de 30 dk yavaş karıştırma ve 30 dk çökeltme işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında kullanılan her koagülan için optimum pH değeri belirlenmiştir. Bu aşamada ilaç konsantrasyonu 5 mg/L ve koagülan konsantrasyonları 100 mg/L olarak sabit tutularak farklı pH değerlerinde (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) ilaç giderimi çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasından her koagülan için ayrı ayrı belirlenmiş olan optimum pH değerlerinde optimum koagülan dozu belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ilaç konsantrasyonu 5 mg/L’de sabit tutularak farklı koagülan dozları denenmiştir (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 mg/L). Daha sonra 5 mg/L ilaç konsantrasyonu için optimum koagülan dozu ve optimum pH değerlerinde, ilaç giderimi üzerine sıcaklığın etkisini araştırmak için farklı sıcaklık

değerleri (10, 15, 20 ve 25°C) çalışılmıştır. Sıcaklık ayarlaması su ceketini ile sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan jar test düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Jar test düzeneği

2.2.2. İlaç Etken Madde Ölçümleri

Çalışmada ilaç etken maddesinin (parasetamol) ölçümü UV detektöre sahip Perkin Elmer marka HPLC'de (yüksek basınçlı sıvı kromatografisi) yapılmıştır. Parasetamol için dalga boyu taraması yapılmış maksimum adsorbans veren dalga boyu seçilmiş ve literatüre uygunluğu kontrol edilmiştir.

2.2.3. Katı Faz Ayırma Metodu

HPLC'de analiz öncesi örneklerde katı faz ekstraksiyon teknikleri kullanılarak örnek hazırlama basamağı gerçekleştirilmektedir. Katı faz ekstraksiyonunu kullanmamızın nedeni örneklerin istenmeyen bileşiklerden temizlenmesi ve yoğunlaştırılmasıdır. Temizleme işlemi ile analizin yanlış sonuçlanmasına neden olabilecek, aranan maddenin tespit edilmesini engelleyebilecek veya analiz cihazının kirlenmesine neden olabilecek kirliliklerin uzaklaştırılması sağlamaktır. Numunelerdeki yoğunlaştırma işlemi ise atıksudaki ilaç konsantrasyonlarının HPLC/UV sisteminde doğrudan tespitini mümkün kılmayacak düşük seviyelerde olmasından kaynaklanmaktadır.

Katı faz ekstraksiyonu (solid phase extraction, SPE) yöntemi, sıvı-sıvı ekstraksiyon (liquid-liquid extraction, (LLE) yöntemine göre; daha kısa sürede uygulanabilmesi ve daha yüksek geri kazanım oranına sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. HPLC analizlerinden önce numuneler

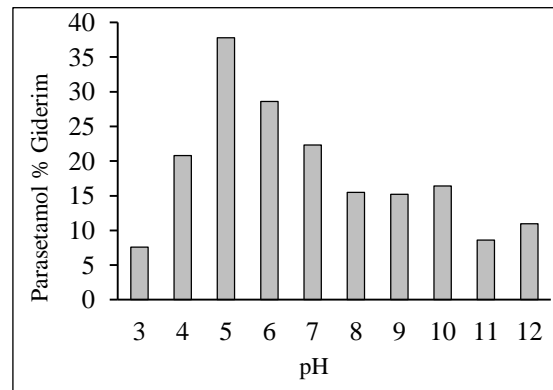
Oasis HLB 3 cc 60 mg SPE kartuşu kullanılarak ekstrakte edilmekte, böylece analizlerde girişim yapacak diğer organik bileşiklerden ve kolonu tıkkayabilecek inorganik iyonlardan arındırılmaktadır. Numuneler 1 N hidroklorik asit (HCL) ile pH=2'ye ayarlanmıştır. Seçilen farmasötik bileşikler asidik olduklarından atıksu numunelerinin pH'ını düşürmek bu maddelerin ekstraksiyon kartuşu üzerinde daha fazla tutunmasını sağlayarak geri kazanımını artırır. Yapılan çalışmalarda asidik ilaçların katı faz ekstraksiyonunda en iyi geri kazanımı pH=2'de sağlanmıştır [14,15].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. FeSO₄.7H₂O Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminin İncelenmesi

3.1.1. Optimum pH'ın Belirlenmesi

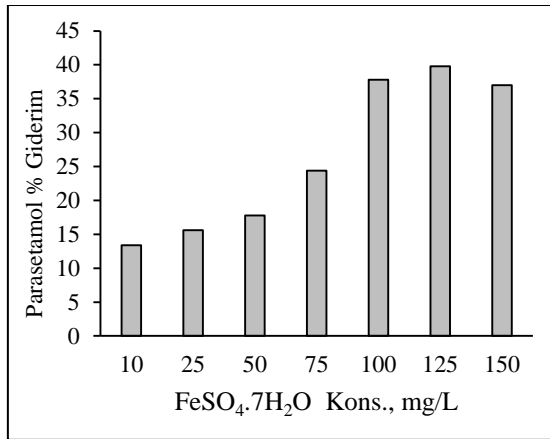
Koagülant olarak FeSO₄.7H₂O kullanılarak yapılan optimum pH belirleme çalışmasında 10 farklı pH değerinde (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10,11,12) 100 mg/L koagülant dozu ve 5 mg/L ilaç konsantrasyonunda jar test deneyleri yapılmıştır. En yüksek parasetamol yüzde giderim oranı pH 5'de %37,8 olarak elde edilmiştir. Tüm pH değerlerinde elde edilen yüzde giderim oranları şekil 2'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2. FeSO₄.7H₂O ile koagülasyonda farklı pH değerlerinde parasetamol yüzde giderim oranları

3.1.2. Optimum Koagülant Dozunun Belirlenmesi

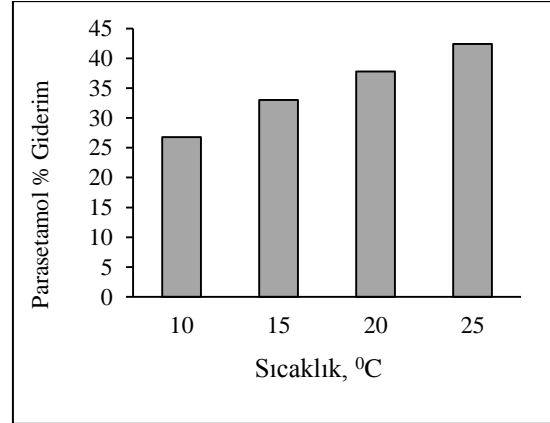
Belirlenen optimum pH değerinde (5), 5 mg/L ilaç konsantrasyonu ve 20°C'de, 7 farklı $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ koagülant dozu (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 mg/L) denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda optimum koagülant dozu olarak 100 mg/L seçilmiştir. 100 mg/L koagülant dozunda parasetamol yüzde giderim oranı % 37,8 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucu elde edilen yüzde giderim değerleri Şekil 3'de verildiği gibidir.



Şekil.3. Farklı $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ koagülantı dozlarında parasetamol yüzde giderim oranları

3.1.3. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminde Sıcaklığın Etkisi

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ile koagülasyonda parasetamol giderimine sıcaklığın etkisini araştırmak amacıyla 4 farklı sıcaklık değeri (10, 15, 20 ve 25°C) jar test düzeneğine uygulanarak incelenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla giderim yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. 4 farklı sıcaklık değerindeki yüzde giderimler Şekil 4'te grafik olarak gösterilmiştir.

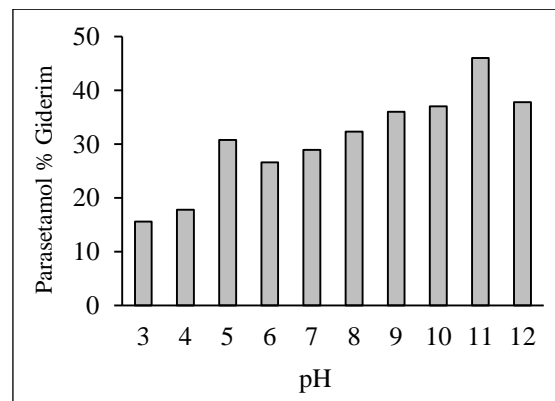


Şekil 4. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ile koagülasyonda farklı sıcaklık değerlerindeki parasetamol yüzde giderim oranları

3.2. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminin İncelenmesi

3.2.1. Optimum pH'in Belirlenmesi

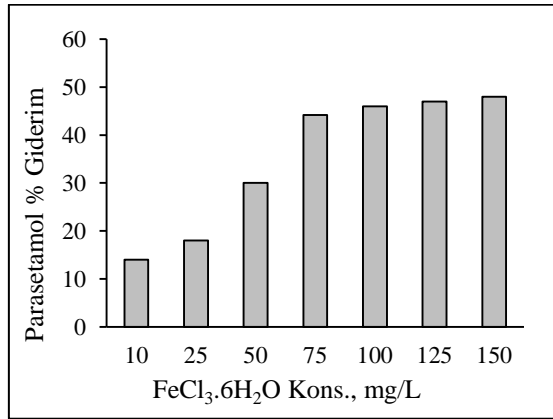
Koagülant olarak $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak yapılan optimum pH belirleme çalışmasında 10 farklı pH değerinde (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) 100 mg/L koagülant dozu ve 5 mg/L ilaç konsantrasyonunda jar test deneyleri yapılmıştır. En yüksek parasetamol yüzde giderim oranı pH 11'de %46 olarak elde edilmiştir. Tüm pH değerlerinde elde edilen yüzde giderim oranları Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile farklı pH değerlerinde parasetamol yüzde giderim oranları

3.2.2. Optimum Koagülant Dozunun Belirlenmesi

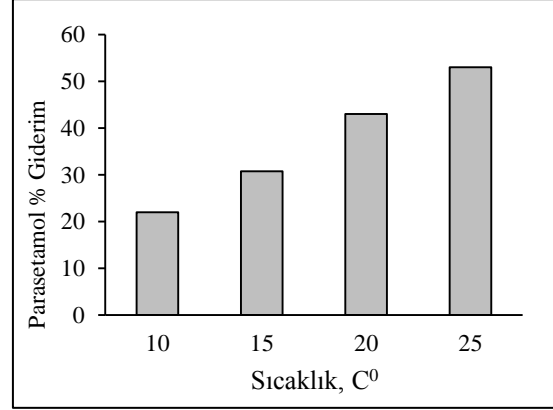
Belirlenen optimum pH değerinde (11), 5 mg/L ilaç konsantrasyonu ve 20°C’de, 7 farklı $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülant dozu (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 mg/L) denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda optimum koagülant dozu olarak 100 mg/L seçilmiştir. 100 mg/L koagülant dozunda parasetamol yüzde giderim oranı %46 olarak hesaplanmıştır. Uygulanan koagülant dozları ve yüzde giderim oranları Şekil 6’daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı dozlarında parasetamol yüzde giderim oranları

3.1.3. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminde Sıcaklığın Etkisi

$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile koagülasyonda parasetamol giderimine sıcaklığın etkisini araştırmak amacıyla 4 farklı sıcaklık değeri (10, 15, 20 ve 25°C) jar test düzeneğine uygulanarak incelenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla giderim yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. 4 farklı sıcaklık değerindeki yüzde giderimler Şekil 7’deki grafikte gösterilmiştir.

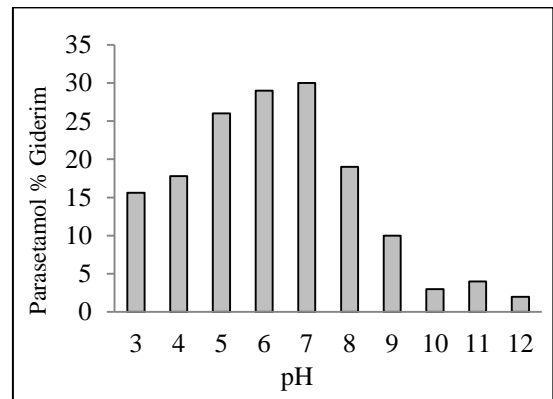


Şekil 7. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile koagülasyonda farklı sıcaklık değerlerindeki parasetamol yüzde giderim oranları

3.3. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminin İncelenmesi

3.3.1. Optimum pH’in Belirlenmesi

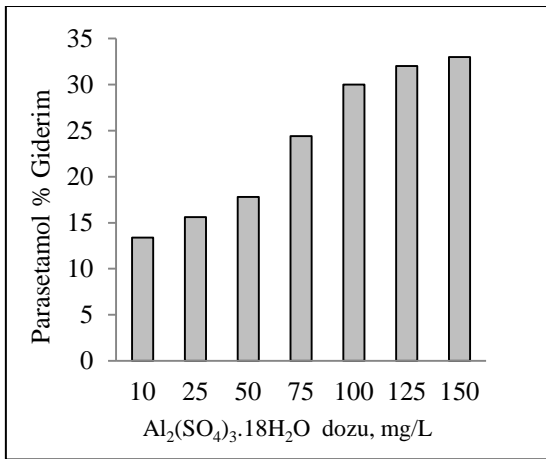
Koagülant olarak $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ kullanılarak yapılan optimum pH belirleme çalışmasında 20 C°’de, 100 mg/L koagülant dozu ve 5 mg/L ilaç konsantrasyonunda 10 farklı pH değeri (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10,11,12) için jar test deneyleri yapılmıştır. En yüksek parasetamol yüzde giderim oranı pH 7’de %30 olarak elde edilmiştir. Tüm pH değerlerinde elde edilen yüzde giderim oranları Şekil 8’deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 8. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile farklı pH değerlerinde parasetamol yüzde giderim oranları

3.3.2. Optimum Koagülant Dozunun Belirlenmesi

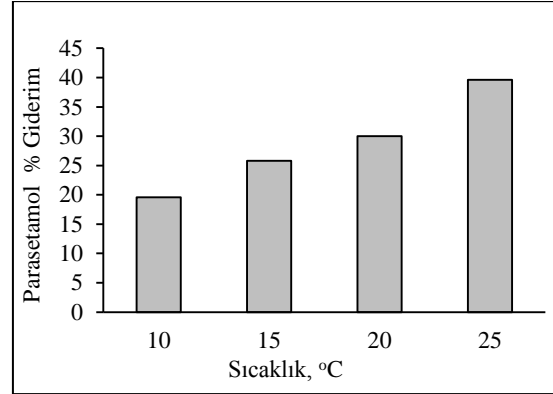
Belirlenen optimum pH değerinde (7), 5 mg/L ilaç konsantrasyonu ve 20°C'de, 7 farklı $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülant dozu (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 mg/L) denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda optimum koagülant dozu olarak 100 mg/L seçilmiştir. 100 mg/L koagülant dozunda parasetamol yüzde giderim oranı %30 olarak hesaplanmıştır. Uygulanan koagülant dozları ve yüzde giderim oranları Şekil 9'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 9. Farklı $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı dozlarında parasetamol yüzde giderim oranları

3.3.3. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminde Sıcaklığın Etkisi

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile koagülasyonda parasetamol giderimine sıcaklığın etkisini araştırmak amacıyla 4 farklı sıcaklık değeri (10, 15, 20 ve 25°C) jar test düzeneğine uygulanarak incelenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla giderim yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. 4 farklı sıcaklık değerindeki yüzde giderimler Şekil 10'daki grafikte gösterilmiştir.

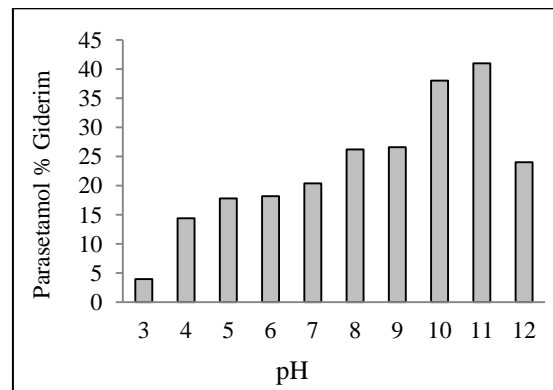


Şekil 10. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile koagülasyonda farklı sıcaklık değerlerindeki parasetamol yüzde giderim oranları

3.4. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminin İncelenmesi

3.4.1. Optimum pH'in Belirlenmesi

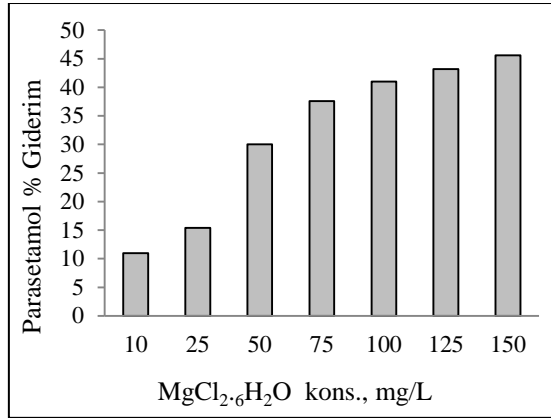
Koagülant olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ kullanılarak yapılan optimum pH belirleme çalışmasında 20°C'de, 100 mg/L koagülant dozu ve 5 mg/L ilaç konsantrasyonunda 10 farklı pH değeri (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) için jar test deneyleri yapılmıştır. En yüksek parasetamol yüzde giderim oranı pH 11'de %41 olarak elde edilmiştir. Tüm pH değerlerinde elde edilen yüzde giderim oranları Şekil 11'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 11. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile farklı pH değerlerinde parasetamol yüzde giderim oranları

3.4.2. Optimum Koagülant Dozunun Belirlenmesi

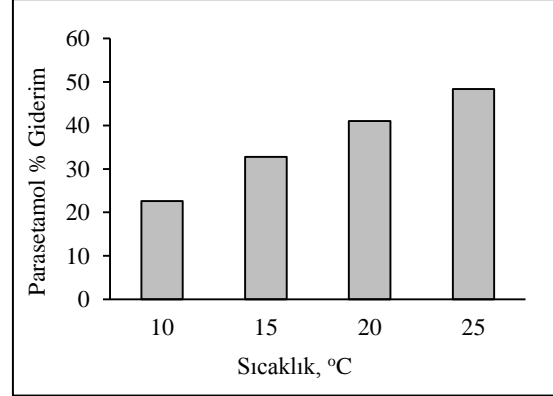
Belirlenen optimum pH değerinde (11), 5 mg/L ilaç konsantrasyonu ve 20°C'de, 7 farklı $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ koagülant dozu (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 mg/L) denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda optimum koagülant dozu olarak 100 mg/L seçilmiştir. 100 mg/L koagülant dozunda parasetamol yüzde giderim oranı %41 olarak hesaplanmıştır. Uygulanan koagülant dozları ve yüzde giderim oranları Şekil 12'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 12. Farklı $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ koagülant dozlarında parasetamol yüzde giderim oranları

3.4.3. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ Koagülasyonu ile Parasetamol Gideriminde Sıcaklığın Etkisi

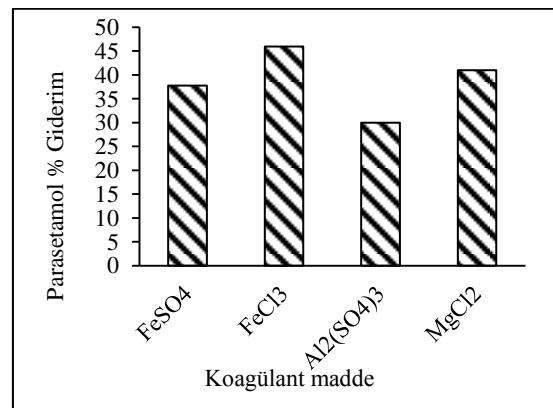
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ile koagülasyonda parasetamol giderimine sıcaklığın etkisini araştırmak amacıyla 4 farklı sıcaklık değeri (10, 15, 20 ve 25°C) jar test düzeneğine uygulanarak incelenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla giderim yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. 4 farklı sıcaklık değerindeki yüzde giderimler Şekil 13'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 13. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ile koagülasyonda farklı sıcaklık değerlerindeki parasetamol yüzde giderim oranları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Parasetamol ilaç etken maddesinin 4 farklı koagülant için optimum pH ve dozajları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırabilmesi amacıyla koagülant madde bazında değerlerin grafiksel gösterimi yapılmıştır. Parasetamol ilaç etken maddesinin 4 farklı koagülant için elde edilen optimum pH ve dozda giderim verimleri Şekil 14'deki grafikte gösterilmiştir. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile koagülasyonda optimum giderim oranına pH 11'de ulaşılmıştır. Parasetamolün farklı koagülantlar ile gideriminde en yüksek giderim verimi $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile %46 olarak elde edilmiştir.



Şekil 14. Parasetamolün 4 farklı koagülant madde ile optimum şartlarda yüzde giderim verim değerleri

Son yıllarda oktanol/su ayrıştırma katsayısı (K_{ow}) olarak adlandırılan organik kimyasalların çevresel ortamlardaki akıbetleri konusunda yapılan çalışmalarda anahtar parametre haline gelmiştir. K_{ow} değeri, bir maddenin iki fazındaki (n-oktanol ve su fazı) ayrışma katsayısını karakterize etmektedir [16]. Ayrıca, farmasötiklerin sudan giderilmesinde hidrofobik ve hidrofilik özellikleri önem taşımaktadır [7].

Parasetamol koagülasyon çalışmalarında dört farklı koagülant için dört farklı sıcaklık değerinde yüzde giderim verimleri incelenmiş olup sıcaklığın artmasıyla giderim verimlerinin arttığı görülmüştür. Xiao ve arkadaşları düşük sıcaklığın yumaklaşma oranına olumsuz etki ettiğini bildirmişlerdir [17]. Ayrıca Guan ve arkadaşları yaptığı çalışmada sıcaklığın artması ile bulanıklık gideriminin arttığını görmüşlerdir [18]. Bu çalışmada parasetamol giderim veriminin sıcaklık artışıyla artmasının, flok yapısının artmasından ve büyümesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Bila, D.M., Dezotti, M., 2003. Pharmaceuticals Drugs in the Environment. *Quim. Nova*, 26:523-530.
2. Derksen, J.G.M., Rijs, G.B.J., Jongbloed, R.H., 2004. Diffuse Pollution of Surface Water by Pharmaceutical Products. *Water Sci. Technol*, 49:213-221.
3. Halling-Sorensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P.F., Ingerslev, F., Lutzhoft, H.C., Jorgensen, S.E., 1998. Occurrence, Fate and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment a Review. *Chemosphere*, 36: 357-93.
4. Bound, J.P., Voulvoulis, N., 2004. Pharmaceuticals in The Aquatic Environment A Comparison of Risk Assessment Strategies. *Chemosphere*, 56: 1143-1155.
5. Zwiener, C., 2007. Occurrence and Analysis of Pharmaceuticals and Their Transformation Products in Drinking Water Treatment. *Anal Bioanal Chem.*, 387: 1159-1162.
6. Matilainen, A., Lindqvist, N., Korhonen, S., Tuhkanen, T., 2002. Removal of Nom in The Different Stages of the Water Treatment Process. *Environment International*, 28(6): 457-465.
7. Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S. Wert, E., 2005. Fate of Endocrine-Disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals During Simulated Drinking Water Treatment Processes, *Environmental Science And Technology*, 39(17): 6649-6663.
8. Boyd, G.R., Reemtsma, H., Grimm, D.A., Mitra, S., 2003. Pharmaceuticals and Personal Care Products (Ppcps) in Surface and Treated Waters of Louisiana, Usa and Ontario, Canada. *Science of The Total Environment*, 311(13): 135-149.
9. Ternes, T.A., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H.J., Haist-Gulde, B., Preuss, G., Wilme, U. Zulei-Seibert, N., 2002. Removal of Pharmaceuticals During Drinking Water Treatment. *Environmental Science and Technology*, 36(17): 3855-3863.
10. Ternes, T.A., 1998. Occurrence of Drugs in German Sewage Treatment Plants and Rivers. *Water Research*, 32(11): 3245-3260
11. Morse, H.N., 1978. Ueber Eine Neue Darstellengsmethode der Acetylamidophenole. *Ber. Deutscher. Chem. Ges.* 11, 232-233.
12. Von, Mering, J., 1893. Beitrage Zur Kenntniss der Antipyretica. *Ter Monatsch.* 7, 577-587.
13. İlkaya, F., Yılmaz, M.Z., Karakus, O., 2013. Parasetamol ve Siklooksijenaz Enzim İnhibisyonu, *J. Exp. Clin. Med.*, 30: 9-14.
14. Ollers, S., Singer, H.P., Fassler, P., Muller, R.S., 2001. Simultaneous Quantification of Neutral and Acidic Pharmaceuticals and Pesticides at the Low-Ng/L Level in Surface and Waste Water. *J. Chromatogr. A* 911: 225-234.
15. Koutsouba, V., Heberer, T.H., Fuhrmann, B., Schmidt-Baumler, K., Tsipi, D., Hiskia, A., 2003. Determination of Polar Pharmaceuticals in Sewage Water of Greece by Gas Chromatography-Mass Spectrometry, *Chemosphere* 51, 69-75.
16. Kabak, H., Basibuyuk, M., 2012. Diklofenak ve Parasetamol'ün Aktif Çamur Tarafından Adsorbsiyonu, *Ekoloji* 21, 85, 41-48.
17. Xiao, F., Huang, J-C. H., Zhang, B., Cui, C.,

2009. Effects of Low Temperature on Coagulation Kinetics and Floc Surface Morphology Using Alum, *Desalination* 237: 201-213.
- 18.** Guan, D., Zhang, Z., Li, X., Lui, H., 2011. Effect of Ph and Temperature on Coagulation Efficiency in a North-China Water Treatment Plant, *Advanced Materials Research*, 243-249: 4835-4838.

Çamlıbel (Tokat) Diyabazlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Esmâ KAHRAMAN^{*1}, Ahmet Mahmut KILIÇ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş Tarihi: 02.06.2016 Kabul Tarihi: 23.11.2016

Öz

Diyabaz, yüksek dayanım özelliğinden dolayı inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Çamlıbel (Tokat) diyabazlarının bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneyler TS 699'a göre yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda; Birim hacim ağırlık, su emme, porozite, eğilme dayanımı, don sonrası eğilme dayanımı, böhme aşınma dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı ve sertlik değerleri bulunmuştur. Bütün bunların yanı sıra; kimyasal, petrografik ve mineralojik özellikleri de belirlenmiştir. Deneyler sonucunda diyabazın sınıflandırılması yapılmış ve ülkemizdeki standartlara uygun olup olmadıkları belirlenmiştir. Deney ve incelemeler sonucunda elde edilen veriler Çamlıbel (Tokat) diyabazlarının TSE Standartlarına göre yapılarda döşemede iç ve dış kaplamada kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyabaz, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler, TSE standartları

Investigation of Pyhsico-Mechanical Properties of Çamlıbel (Tokat) Diabases

Abstract

Diabase is widely used in construction industry because of highly strength properties. This study aims at determining the some physical and mechanical properties of Çamlıbel (Tokat) diabase. Experimental studies were determined according to TS 699. In this study, appearance, unit volume weight, water absorption ratio, hardness, porosity, flexural strength, böhme abrasion resistance, bending strength and bending strength value after frost were found. In addition to the chemical, petrographic and mineralogical characteristics were determined. According to the results of the experimental studies, the diabase samples have been classified and investigated if they are suitable to standards in country. In result of obtained data indicated the Çamlıbel of diabases usable in structure, floor, interior trim and shell by TSE standard.

Keywords: Diabase, Physical properties, Mechanical properties, TSE standards

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Esmâ KAHRAMAN, ekahraman@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğal taşlar insanlığın var oluşundan beri pek çok amaç için kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının en başında ise inşaat sektörü gelmektedir. Ülkemizde gelişen inşaat sektörünün talepleri doğal taş üretiminin hız kazanmasına yol açmıştır.

Türkiye’de doğal taş olarak kullanılabilen çeşitli renk ve desende kristalin kalker (mermer), kalker, traverten oluşumlu kalker (oniks), konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalar (granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, vb.) bulunmaktadır. Dünya pazarlarında beğeni kazanabilecek nitelikte doğal taş çeşidine sahip olan Türkiye’de, rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Rezervlerin bölgelere göre dağılımı, Ege Bölgesi %32, Marmara %26, İç Anadolu % 11, Doğu Anadolu Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi %31 şeklindedir [1].

Sektörde yaklaşık 1.500 adet doğal taş ocağı, fabrika ölçeğinde faaliyet gösteren 2.000 kadar tesis, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölye faaliyet göstermektedir. İstihdam edilen kişi sayısı 300.000 civarındadır. Üretim en fazla olduğu iller; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Denizli ve Muğla’dır. Bu bölgelerdeki üretim, tüm üretimin %65’ini oluşturmaktadır. Ekonomik mermer yataklarının bulunduğu diğer iller ise; Bursa, Kırşehir, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Niğde, Kayseri, Artvin, Bitlis, Erzincan, Bayburt, Sivas, Tokat, Denizli, Kütahya, Eskişehir, Diyarbakır, Elazığ, Çanakkale, Konya, İstanbul ve Manisa’dır. Ülkemizde 80’nin üzerinde değişik yapıda, 120’nin üzerinde değişik renk ve desende mermer ve doğal taş rezervi belirlenmiştir.

İşlenmesi güç olmasına rağmen diyabazın doğal taş olarak kullanılması oldukça yaygındır. Bunun nedenleri [2];

- Renginin güzel olması,
- Dayanımının yüksek olması,
- Cila tutma özelliğinin yüksek olması,
- Cilasını uzun süre koruyabilmesi,
- Su emme oranının düşük olmasıdır

Diyabaz konutlarda gerek iç gerekse dış mekan uygulamaları olarak yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Özellikle cephe, zemin, kolon-sütun, merdiven kaplamaları, park, bahçe, meydan, yürüyüş yolları, trafiğe kapatılmış kent içi yol, üst-alt geçit, köprü kaplamaları ile duvar ve havuz kaplamalarında kullanılır [3]. Diyarbaz taşının atıkları; parke taşı, karayolları üst yapı kaplamasında mıcır, demiryollarında raylar arasına serilen sıkılama malzemesi (balast), beton üretiminde kullanılan granüler malzeme, seramik sanayinde sırlama yapımı ham maddesi, yapı kimyasalları sanayinde mikronize kum ve izolasyon sanayinde kaya yünü’nün hammaddesi olarak değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmada; Çamlıbel (Tokat) diyabazının bazı mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca kimyasal, mineralojik ve petrografik açıdan da incelemeler yapılmıştır. Deneylemler elde edilen bulgular TSE standartları ile ilişkilendirilerek Çamlıbel (Tokat) diyabazlarının kullanım alanları belirlenmiştir. Şekil 1’de diyabazın makroskobik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Çamlıbel diyabazı görüntüsü

2. ÇALIŞMA ALANI

2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı Tokat İli Merkez İlçesi sınırları içinde bulunan Çamlıbel mevkiinde Çatalkaya Köyü’nün 500 m güneyinde, yer almaktadır. Ulaşım D850 ve D 190 karayolu üzerinden sağlanmaktadır. Şekil 2’de çalışma sahası üretim basamaklarının genel görüntüsü verilmektedir.



Şekil 2. Çalışma sahası üretim aynasının genel görüntüsü

2.2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma bölgesinin büyük bir kısmı ofiyolitik seri ile kaplıdır. Seride alttan üste doğru serpantinitler ve diyabazlar şeklinde genel bir stratigrafik sıralanma saptanmıştır. Bölgede bulunan seride ofiyolitik serisindeki sedimanter kayaların genellikle küçük ve dağınık zuhurlar halinde ofiyolitlerin üzerinde, yer yer de içlerinde sokulu olarak bulunuşları, seriye ofiyolitik melanj görünümü kazandırmaktadır [4].

Ultramafiklerin esasını ve temelini serpantinitler oluşturmakta ve arazide kolayca izlenebilmektedir. Vadiler boyunca diyabaz örtüsü altından serpantinit mostraları gözlenmiştir. Kurtsekisi Tepe bölgesinde, serpantinitler üzerinde aşınma ile ortaya çıkmış diyabaz kalıntılarında rastlanmaktadır. Ofiyolitik serinin güneyindeki sınırlar ise tektoniktir. Serpantinitler bölgede ortalama 400 m kadar bir kalınlığa ulaşmaktadır. Kayaç çoğunlukla masif görümlü, yer yer kırıklı, fazla tektonize olan kısımlarda ezikli ve kısmen şistî yapıya sahiptir. Serpantinleşme derecesi genellikle yüksektir. Bu oranın %15 gibi

düşük olduğu peridotitlere, Çamlıbel geçidinin 1 km kuzeydoğusunda rastlanmıştır. Mikroskopik inceleme sonucu peridotitlerin bu kısımlarda lertzolit özelliği taşıdığı anlaşılmıştır. Serpantinitler içinde serpantin mineralleriyle olivin ve piroksenden başka klorit, manyetit, kromit, uvarovit ve grossüler mineralleri saptanmıştır. Kloritleşme arazinin kuzeydoğu kesiminde, uvarovite Balıbey'in 2 km kadar güneyinde ve Çamlıbel'in 3 km kadar kuzeybatısında rastlanmıştır [4].

Bölgede bulunan başka bir ultramafik kayaç türü de piroksenittir. Ancak piroksenite sadece Pamukpınar'ın 5 km kuzeyinde, serpantinitler içinde iki küçük damar halinde rastlanmıştır. Piroksenit hipersten, diyopsit, uralit ve kromit mineralleri kapsar. Hipersten içinde prizmatik dilinime paralel çok ince klinopiroksen levhacıkları olduğu gibi, kısmen uzunca, kısmen şekilsiz klinopiroksen artıkları da görülmüştür [4].

Ultramafiklerin üzerindeki bazik volkanit örtüsünün bölgemizdeki görünür kalınlığı 150-300 m arasında değişmektedir. Bu volkanitlerin

diyabaz tanımına uygun kayaçlar olduğu, özellikle mikroskopik incelemeler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ofiyolitik seri içinde yer alan bazaltik-andezitik bileşimli bu denizaltı volkanitlerinin sonradan kloritleşme ve kısmen de uralitleşme şeklindeki yeşillenmeleri karakteristik özelliklerindedir. Bölgede serpantinler içindeki rodenjitler hariç tutulursa, diyabaz damarlarına, ya da diyabazların çıkış kanalı olarak yorumlanabilecek yapılara rastlanmamıştır. Yastık lavlara ise orijinal çalışmanın tamamlanmasından sonra, yol yapımı sırasında açılan mostralarda, Büyüktör Kurtsekisi tepeleri arasında rastlanmıştır. Diyabazlar genellikle ince taneli, değişik tonlarda yeşil renklidir. Kahverengi veya koyu gri kısımları da bulunmaktadır. Alaca köyü civarında diyabazlar yanında tüf ve aglomeralar da yer almaktadır [4].

3. YÖNTEM

Tokat Çamlıbel bölgesinden alınan diyabazlarının bazı hammadde özelliklerini belirlemek amacı ile numuneler öncelikle standarda uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere fiziksel deneyler, mekanik deneyler, kimyasal deneyler ve petrografik analizler uygulanmıştır.

- Diyabaz numunesinin kimyasal içeriği yarı kantitatif Panalytical marka X-Ray Fluoresence cihazı ile yapılmıştır.
- Petrografik analiz; çıplak göz, lup ve hazırlanmış ince kesitler ile yapılmıştır. İnce kesitler Olympus BH-2 marka polarizan mikroskop ile incelenmiştir.
- Mekanik ve fiziksel özellikler TS 5762 [6] standardına uygun olarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Fiziksel Özellikler

Deneyler sonucunda diyabazın fiziksel özelliklerinden özgül ağırlık, birim hacim ağırlık,

porozite oranı ve doluluk oranları belirlenmiştir. Özgül ağırlık $2,91 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Doğal yapı taşlarının yapılarada kullanılabilmesi için özgül ağırlık değerinin $2,55 \text{ g/cm}^3$ 'den küçük olmaması gerekmektedir [5]. Her bir deney için beşer tane örnek kullanılmış ve bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 1'de deney sonucunda belirlenen fiziksel özelliklerin ortalama değerleri verilmiştir.

Numunenin kuru birim hacim ağırlığı ve doygun birim hacim ağırlığı olmak üzere iki farklı birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Deney sonucunda Çamlıbel diyabazlarının kuru birim hacim ağırlığı $2,818 \text{ g/cm}^3$ ve doygun birim hacim ağırlığı $2,825 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. TS 5762 [6]'e göre yapı ve kaplama olarak kullanılabilmesi için örneğin birim hacim ağırlığının en az $2,55 \text{ g/cm}^3$ olması gerekmektedir.

Çizelge 1. Çamlıbel diyabazının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Bulunan Değer	TS 5762 Sınır Değer
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	$2,818 \pm 0,01$	Kaplama $\geq 2,55$
Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	$2,825 \pm 0,01$	
Ağırlıkça Su Emme (%)	$0,21 \pm 0,05$	Kaplama $\leq 0,75$
Porozite (%)	$1,89 \pm 0,08$	Kaplama ≤ 2
Doluluk Oranı (%)	$99,11 \pm 0,08$	Kaplama $\geq 2,55$

Doğal yapı taşlarında numunenin su emmesinin düşük olması istenir. TS 5762 [6]'e göre diyabazların yapı ve kaplama taşı olarak kullanılması için su emme miktarının en fazla 0,75 olması gerekmektedir.

Doğal yapı taşlarında porozite önemli bir olgudur. Porozite oranının artması numunenin taşın kalitesini düşürecektir. Porozitenin fazla olması sıvı ve gaz geçirgenliğini arttırmaktadır. İç yüzeylerinde sıvı ve gazın tutulmasını da sağlamaktadır [7].

TS 1496 [5] ve TS 5762'e [6] göre kaplama olarak kullanılan doğal taşların porozitesinin %2'den fazla olmaması, buna bağlı olarak doluluk oranının ise %98'den az olmaması istenmektedir. Tarhan tarafından yapılan kayaçların poroziteye göre sınıflaması Çizelge 2'de verilmektedir [8]. Çizelgeye göre Çamlıbel Diyabazı %1,89 değeri ile "az boşluklu" kaya sınıfındadır.

Yapılan fiziksel deneylerde diyabaz örneklerimizin fiziksel özelliklerinin kaplama ve yapı taşı olarak kullanılmasının uygun olduğu gözlenmiştir. Bulunan tüm değerlerin ilgili standartlarda verilen sınır değerleri sağladığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 2. Kayaaların porozite sınıflaması [8]

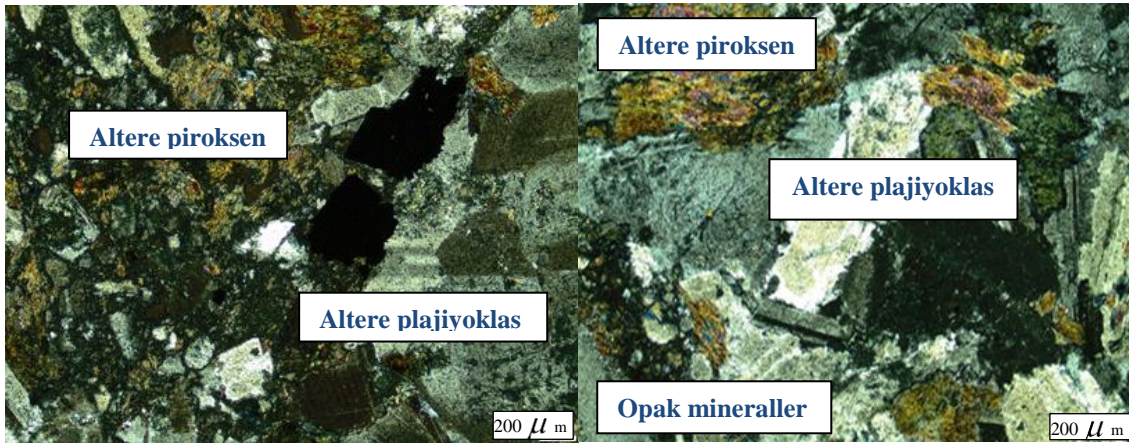
Kaya Sınıfı	Porozite %
Çok Kompakt	< 1
Az Boşluklu	1-2,5
Orta Boşluklu	2,5-5
Oldukça Boşluklu	5-10
Çok Boşluklu	10-15
Çok Fazla Boşluklu	> 20

4.2. Petrografik ve Mineralojik Analiz

Magmatik derinlik kayacıdır. Ana hakim mineraller plajiyoklas, piroksen ve opak minerallerdir ve doloritleşme gözlenmiştir (Şekil 3, 4).

Piroksen: ileri derecede alterasyona uğramıştır. Özellikle krolitleşme görülmektedir.

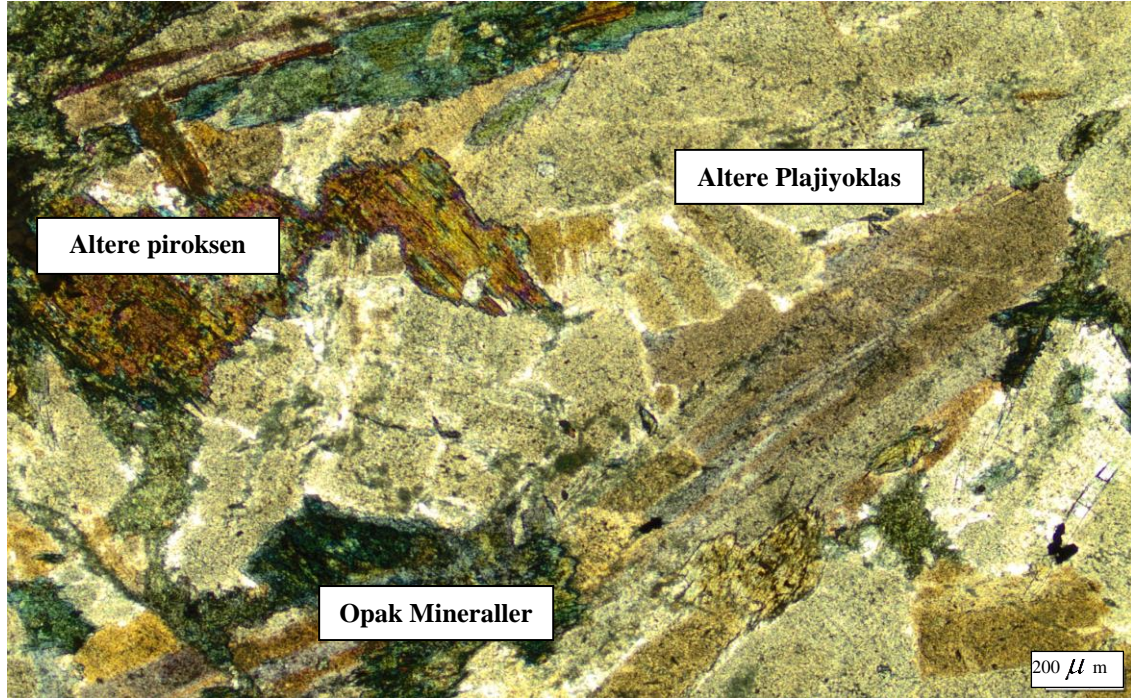
Opak Mineraller: Kayacın içerisinde özşekilsiz demir opakları şeklinde bulunmaktadır.



Şekil 3. Çamlıbel diyabazlarına ait altere olmuş plajiyoklas, piroksen ve opak mineraller (Çift nikol)

Feldispat: İri mafik mineraller şeklindedir. Çoğunluk olarak polisentetik ikizlenme göstermektedir. Çoğu öz şekilsiz ve yarı öz şekillidir. Tamamına yakınında serizitleşme mevcuttur. Yani alterasyona uğramıştır.

Kayaç porfiroblast dokulu olup, bazik bileşimlidir. Minerallerinde gözlenen dönüşüm kayacın kısmen doloritleştiğini ifade etmektedir. Kayaç yapı ve mineral bileşimi olarak diyabaz bileşimindedir.



Şekil 4. Örneğe ait altere olmuş plajiyoklas ve piroksenler (Tek nikol)

Diyabaz, esas olarak genellikle labrodordan ibaret bazik plajiyoklas ile genellikle, ojitten ibaret bazik monoklinik piroksenden meydana gelen, tali olarak da apatit, kuvars, oligoklas, andeniz, magnetit, ilmenit, ortoklas, hornblend, biyotit ve olivin mineralleri ihtiva eden belirgin ofitik dokuya sahip bazaltik bir taştır. Diyabazların içeriğine göre sınıflaması [10];

- Olivin Diyabaz; bünyesindeki olivin miktarı %2'den fazla olan diyabazdır.
- Kuvars Diyabaz; bünyesindeki kuvars miktarı %2'den fazla olan diyabazdır.
- Piroksenli Diyabaz; bünyesinde ojite ilaveten, ojitten daha fazla oranda piroksenli/hipersten içeren diyabazdır. Çamlıbel diyabazları incelendiğinde; olivin miktarının %2'den az olduğu, kuvars mineralinin olmadığı gözlenmiştir. Bu yüzden örneği piroksenli diyabaz sınıfında olduğu söylenebilir.

4.3. Mekanik Özellikler

Çalışma sahsından getirilen blok numuneler TSE 699'a uygun şekilde küp, karot ve prizma olarak

hazırlanmıştır [9]. Hazırlanan örnekler üzerinde mekanik deneyler uygulanmıştır. Her bir deney için 5'er adet numune kullanılmış ve bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çamlıbel diyabazı mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Bulunan Değer	TS 5762 Sınır Değer
Tek Eksenli Basınç Dayanımı MPa	179,82±0,1	Kaplama ≥117,68
Eğilme Dayanımı (MPa)	42,14±0,5	Kaplama ≥7,36
Don Sonrası Eğilme Dayanımı (MPa)	40,19±0,6	Kaplama ≤5
Don Sonrası Eğilme Dayanımı Azalma (%)	4,62±0,9	
Aşınma Dayanımı (Böhme) (cm ³ /50cm ³)	3,45±0,8	Kaplama ≤15

Numunenin sertlik sınıflaması Mohs sertlik sınıflamasına göre yapılmıştır. Örneğin Mohs sertliği 7,5 olarak belirlenmiştir.

Doğal taşlarda tek eksenli basınç dayanım değeri büyük önem taşımaktadır. TS 5762 [6]'e göre sınır değer 117,68 MPa'dır. İncelenen örneğin bulunan değeri bu değerden yüksektir [6].

Eğilme Dayanımı değerini incelediğimizde standartta verilen sınır değer 7,36 MPa'dır [6].

Diyabaz numunesinin don öncesi ve sonrası eğilme dayanım değerleri sınır değerden yüksektir. Don sonrası eğilme dayanımında azalma ilgili standartta göre en fazla %5 olmalıdır. İncelenen örnek bu bakımdan sınır değerinin altındadır.

Böhme aşınma dayanımı TS 5762 [6]'e göre kaplama taşı olarak kullanılacak ise en fazla $15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^3$, yapı yaşı olarak kullanılacak ise en fazla $10 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^3$ olmalıdır. Diyabaz örneğimiz her iki şartı da sağlamaktadır.

4.4. Kimyasal İçeriği

Araziden getirilen parça örnek çeneli kırıcıda kırılarak öğütülmüş ve Panalytical marka X-Ray Fluorescence (XRF) cihazı kullanılarak numunenin kimyasal içeriğini belirlenmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Çamlıbel diyabazının kimyasal içeriği

İçerik	%
SiO ₂	52,11
Al ₂ O ₃	15,16
Fe ₂ O ₃	12,28
CaO	6,88
Na ₂ O	6,38
MgO	4,41
TiO ₂	1,16
P ₂ O ₅	0,78
K ₂ O	0,49
MnO	0,21
Diğer	0,14

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile Çamlıbel (Tokat) diyabazlarının bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler TS 5762 [6] ile karşılaştırılmıştır. Bütün bunların yanı sıra doğal taşların kullanımında önemli bir yer tutan kimyasal içerik ile petrografik ve mineralojik özellikler de belirlenmiştir.

Çamlıbel (Tokat) diyabazının mekanik ve fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde TS 5762'de [6] verilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Özellikle tek eksenli basınç dayanımı, aşınma dayanımı, eğilme ve son sonrası eğilme dayanımlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Çamlıbel (Tokat) diyabazının yüksek dayanıma sahip olduğunu, yapı ve kaplama taşı olarak kullanımının uygun olduğunu göstermektedir. Kimyasal analiz, mineralojik ve petrografik analiz sonuçları da fiziko-mekanik analiz sonuçlarını destekleyici yönde çıkmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Petrografik ve mineralojik analizlerin yapılmasına yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Nil YAPICI' ya teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. www.ntso.org.tr/upload/dosya/dosya/3bfbee2ade33cb40ce3b9bc8c280a8f7.pdf, Erişim Tarihi: 13.06.2016.
2. Tutuş, M., 2007. Çukurova Yöresinde Bulunan Bazı Mermerlere ait Fizikomekanik Özelliklerin İstatistiksel Analizi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
3. http://diyabaz.ticiz.com/product_list/group_154999, Erişim Tarihi: 13.06.2016.
4. Tatar, Y., 1971. Ofiyolitli Çamlıbel (Yıldızeli) Bölgesinin Stratigrafi ve Petrografisi, MTA Dergisi, 88, 56-72, Ankara.
5. TS EN 1469, 2006. Doğal Taş Mamulleri-Kaplamada Kullanılan Plakalar-Özellikleri, TSE, Ankara.

6. TS 5762, 2004. Diyabaz-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan, TSE, Ankara.
7. Gündüz, L., Uğur, İ., Demirdağ, S., 2001. Mermer Türlerinin Özgül Isı Kapasitesi Değerleri Üzerine Teknik Bir İnceleme, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 181-196, Afyon.
8. Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
9. TS 699, 2009. Doğal Yapı Taşları İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
10. Güneri, S., 2009. Doğal Taşların Teknik Özelliklerine Göre Kullanım Alanlarının ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Jeotermal Rezervuar Modelleme ve JMP Programı ile Model Parametre Değerleri Tahmini

Özen KILIÇ¹, Sedat TORAMAN^{*2}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

²MTA Orta Anadolu III. Bölge Müdürlüğü, Ankara

Geliş tarihi: 02.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Jeotermal sahaların doğru işletilmesi sahaların doğru modellenmesi ile mümkündür. Jeotermal sahaların modellemesinde, tank modellemesi veri sayısının az olduğu üretimin ilk aşamalarında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca, tank modellerinin diğer bir avantajı da tarihsel çakıştırmada daha kısa sürede sonuca ulaşılmasıdır. Bu nedenlerle, tank modeller rezervuar özelliklerinde heterojenliği, karmaşık akışkan özelliklerini ve karmaşık kuyu geometrileri gibi zor durumların olmadığı rezervuarların modellemesinde kullanılır. Her bir tank için kütle ve enerji korunum denklemleri yazılarak bu denklemlerin çözülmesiyle ileriye yönelik sıcaklık ve basınç tahminleri yapılabilir. Bu çalışmada, izotermal olmayan tek tank modellemesi kullanılarak Kütahya-Simav jeotermal sahasının modellemesi yapılmıştır. Sahanın model parametreleri interference testi verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Model parametre değerleri kalibrasyonu JMP istatistik programı ile gerçekleştirilmiştir. Modellemede bilgisayar ortamında bir arayüz oluşturulmuş ve bu arayüz üzerinden saha modeli oluşturulmuştur. Model parametre kalibrasyonu ve belirsizlikler tanımlanarak model revize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütahya Simav, Jeotermal saha, Tank modelleme, Model parametreleri tahmini, JMP istatistik programı

Geothermal Reservoir Modeling and Estimation of Model Parameter Values with JMP Program

Abstract

In geothermal reservoir modeling, tank modeling is mainly used at the early life of the field when relatively little data is available. Also, the other advantage of tank modeling is that the result is obtained in shorter time during history matching. Because of that reason, tank modeling is used in reservoir which does not have heterogeneous, the fluid in reservoir is not complex and the well doesn't consist of different geometry structure. Mass and energy balance equations are solved on the tanks for making future

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Sedat TORAMAN, sedat.toraman@mta.gov.tr

performance predictions of pressure and temperature. If production data is available, model parameters that best describe the system could be obtained through history matching. In this study, advantages of tank modeling was considered and we have also pointed out a methodology for determining the best model that represents the system. For this purpose we perform history matching with various models and select the one that matches best the production data and the model that gives the lowest confidence intervals for the model parameters. Effect of temperature is neglected at low temperature geothermal reservoir. Although it is important to make accurate predictions of pressure and temperature. In this study we have used the non-isothermal single tank modeling for performing Kütahya-Simav geothermal field modeling. The scope of the model parameters are determined by using interference test data. Calibration of model parameter values are realized with JMP statistics program. An interface has been created on computer and field model has been developed using this interface. Model has been revised by defining calibration of the model parameters and uncertainties.

Keywords: Kütahya Simav, Geothermal field, Tank modeling, Estimate model parameter, Non-linear regresyon, JMP statistic program

1. GİRİŞ

Jeotermal rezervuar modelleme literatürde genel olarak sayısal ya da tank modelleri olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sayısal modellerin çalışma prensibi herhangi bir rezervuarı hücelere bölerek her bir hücre üstünde kütle dengesi ve enerji dengesi denklemlerinin çözülmesine dayanır. Tank modellerinde ise jeotermal sistemin içindeki rezervuar ve akifer tanklar tarafından temsil edilmektedir. Kütle ve enerji dengesi denklemlerinin tanklar üstünde çözülmesiyle rezervuar ve akiferlerin ortalama basınç ve sıcaklık davranışları modellenenbilir. Sayısal modellerin karmaşıklığı ve detaylı saha verilerine ihtiyaç duymaları nedeniyle tank modelleme daha fazla tercih edilmektedir. Özellikle ülkemizdeki birçok sahanın yeni işletmeye alınmaları nedeniyle sayısal modeller için ihtiyaç duyulan detaylı veriler olmadığından sahaların tank modelleriyle modellenmesi tercih sebebi olmaktadır.

Jeotermal rezervuar modelleme çalışmaları kütle korunum denklemi ve enerji korunum denklemlerinin birlikte çözülmesi ile gerçekleştirilmekte olup bu denklem çözümlerinde ihtiyaç duyulan ve rezervuar karakteristik özelliklerini içeren parametrelerin doğru tespiti yapılacak modellemenin de doğru sonuçlar vermesi için önemlidir. Bu kapsamda jeotermal sahalarda yapılan kuyu testleri çok önemlidir. Kuyu test çalışmaları değerlendirilerek birçok saha

karakteristik özelliklerini içeren parametrelerin tahmini yapılabilmektedir. Model parametre değerlerinin tahmini doğrusal olmayan regresyon analizi ile de mümkündür. Bir çok istatistik programı non-lineer fit modül ile parametre tahmini yapmakta ve belirsizlikleri ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, izotermal olmayan tek tank modellemesi kullanılarak Kütahya-Simav jeotermal sahasının JMP Programı ile model parametre değerleri tahmini yapılmıştır.

2. JEOTERMAL REZERVUARLAR İÇİN TANK MODELLEME

Whiting ve Ramey [1] lumped parametre modeli kullanarak rezervuar özelliklerini belirlemeye çalışmıştır. Brigham ve Morrow [2] lumped parametre modelini buhar baskın bir sistemde uygulamıştır. Bodvarsson ve Pruess [3], Krafla jeotermal alanında rezervuarın gelecekteki performansının tahmini için dağılık parametrelili model çalışması yapmıştır. Bodvarsson ve arkadaşları [4], jeotermal rezervuarların modellenmesine yönelik teorik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı modelleme yaklaşımlarını tanımlamış, bunların avantajını ve limitlerini tartışmışlardır. Kütle ve ısı taşınım eşitliklerinin oluşturulması ve bunların çözüm teknikleri ile jeotermal rezervuarların modellemesinde karşılaşılan problemleri ortaya koymuşlardır. Alkan ve Satman [5] boyutsuz

parametre modelini karbondioksit içeren jeotermal rezervuarlar için geliştirmiştir. Sarak [6] düşük sıcaklıklı jeotermal rezervuarlar için çeşitli konfigürasyonlardaki tank modeller için analitik denklemler geliştirmiştir. Onur ve arkadaşları [7] izotermal olmayan boyutsuz parametre modelini sıvı ağırlıklı düşük sıcaklıklı jeotermal rezervuarlar için geliştirmiştir. Bu çalışmanın bir adım ilerisi olarak Türeyen ve arkadaşları [8] izotermal olmayan sıvı ağırlıklı jeotermal rezervuarlar için boyutsuz parametre modelini geliştirmişlerdir.

Tank modellemesi parametrelerin ve verilerin az olduğu durumlarda sayısal modellere alternatif olarak kullanılan bir yöntemdir. Rezervuar üretim programını belirlemek ve üretim performansını artırmak için kullanılır. Tank modellerinde rezervuar ve akifer homojen tanklar olarak tanımlanır. Tank modelleri rezervuar, akifer ve besleme kaynağı olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan rezervuar ve akifer ortalama özelliklere sahip homojen tanklar tarafından temsil edilmektedir. Besleme kaynağı, bu tanklardan herhangi birine (akifer ya da rezervuarın kendisine) ya da tüm tanklara bağlanabilmekte ve sistemin sabit basınçlı dış sınırını temsil etmektedir. Eğer tank modeli beslenme kaynağına bağlı ise açık sistem, bağlı değil ise kapalı sistem olarak adlandırılır. Tank modellerinde basınç ve sıcaklık hesaplamalarının temelini kütle ve enerjinin korunumu denklemlerinin tank için çözülmesi oluşturur. Tank modelleri izotermal ve non-izotermal tank modelleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

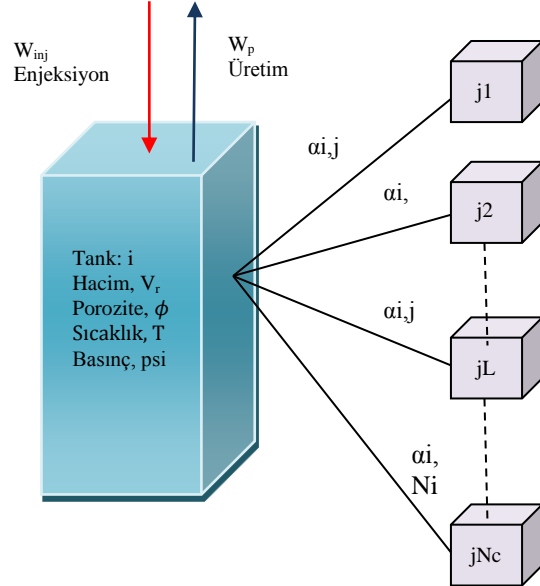
2.1. İzotermal Tank Modelleri

Jeotermal sistemi temsil eden tanklar üstünde sadece kütle korunumu denklemleri çözülmüşse, bu modellere izotermal modeller denir.

2.2. Non-İzotermal Tank Modelleri

Kütle dengesi denklemiyle birlikte enerji dengesi denklemlerinin çözülmesiyle izotermal olmayan modeller elde edilir. Bu modeller sayesinde jeotermal sistemdeki akiferlerin ve rezervuarın basınç davranışlarıyla birlikte sıcaklık davranışları da modellenmektedir. Şekil 1'de geliştirilmiş izotermal olmayan tank modeli

görülmektedir. Tank modellemelerde kullanılan kütle ve ısı taşınım denklemleri Eşitlik 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Genelleştirilmiş izotermal olmayan model

$$V_r \frac{d(\rho_w \phi_r)}{dt} + [W_p(t) - W_{inj}(t)] - \alpha_s [p_1 - p(t)] = 0 \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen kütle korunum denklemindeki ilk terim rezervuarda biriken kütle debisini, ikinci terim net üretim debisini ve son terim ise bağlı olan tankların net akış debisini ifade eder. Isı taşınım denklemi Eşitlik 2'de verilmiştir. Eşitlik 2'de ilk terim akışkanda ve kaya içinde biriken enerjiyi, ikinci terim enjekte edilen akışkandan sisteme giren enerjiyi ve üçüncü terim üretim nedeniyle sistemden çekilen enerjiyi ve son olarak dördüncü terim ise bağlı olan tanklardan sisteme giren enerjiyi ifade eder.

Saha modellemede asıl olan, sahanın karakteristik özelliklerini yansıtan parametrelerin doğru tespitidir. Sahada yapılan jeolojik, jeofizik, sondaj ve kuyu testlerinin birlikte değerlendirilmesi ile doğru parametre değerleri saptanabilir. Doğru saptanamayan parametreler, modelleme çalışmasında tekrar tekrar başa dönülmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, modelleme çalışmasına başlamadan önce saha verileri özenle tetkik edilmelidir.

$$\frac{d}{dt} [(1-\phi_r)V_r\rho_m C_m T + V_r\phi_r\rho_w U_w] - W_{inj}(t)h_{w,inj}(t) + W_p(t)h_{w,p}(t) - \alpha_s [p_i - p(t)]h_{w,s}(t) = 0 \quad (2)$$

Burada;

- V_r : Rezervuar kaba hacmi (m^3)
- ρ_m : Kayaç katı kısmı yoğunluğu, kg/m^3
- C_m : Kayaç katı kısmı özgül ısı kap., $KJ/(kg \text{ } ^\circ C)$
- T : Rezervuar ortalama sıcaklığı, $^\circ C$
- ϕ_r : Rezervuar gözeneklilik değeri
- ρ_w : Jeotermal suyun yoğunluğu, kg/m^3
- U_w : Jeotermal suyun özgül içsel enerjisi, KJ/kg
- $h_{w,s}$: Beslenme suyu özgül entalpisi, KJ/kg
- $h_{w,inj}$: Enjeksiyon suyun özgül entalpisi, KJ/kg
- $h_{w,p}$: Üretilen suyun özgül entalpisi, KJ/kg
- α_s : Beslenme miktarı kg/s
- W_p : Üretim miktarı kg/s
- W_{inj} : Enjeksiyon miktarı kg/s

İzotermal olmayan modelleme çalışmasında ısı korunum ve kütle korunum denklemleri birlikte çözümlendiğinden, her iki denklemde yer alan parametrelerin değerleri saptanmalıdır (Eşitlik 3-5).

1- Kütle korunum,

$$R_1(p^{n+1}, T^{n+1}) = (\rho_w \phi_r)^{n+1} - (\rho_w \phi_r)^n - \frac{\alpha_s \Delta t_{n+1}}{V_r} [p_i - p(t)] + \frac{\Delta t_{n+1}}{V_r} (W_p^{n+1} - W_{inj}^{n+1}) = 0 \quad (3)$$

2- Isı taşınım denklemi,

$$R_2(p^{n+1}, T^{n+1}) = (1 - \phi_i)\rho_m C_m (T^{n+1} - T^n) + [\phi_r^{n+1}\rho_w^{n+1}U_w^{n+1} - \phi_r^n\rho_w^n U_w^n] - \frac{\Delta t_{n+1}}{V_r} W_{inj}^{n+1} h_{w,inj} - \alpha_s \frac{\Delta t_{n+1}}{V_r} [p_i - p^{n+1}] h_{w,s} + \frac{\Delta t_{n+1}}{V_r} W_p^{n+1} h_{w,p} \quad (4)$$

3- Porozitenin basınç ve sıcaklıkla değişimi,

$$\phi(p, T) = \phi_i [1 + c_r(p(t) - p_0) - \beta_r(T(t) - T_0)] \quad (5)$$

$$W^{n+1,k} = \begin{bmatrix} W_1^{n+1,k} \\ W_2^{n+1,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{n+1,k} \\ T^{n+1,k} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Verilen bir ilk tahmin $w^{n+1,0}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ olacak şekilde matris vektör denklemi Newton-Raphson yöntemiyle çözümlenmektedir (Eşitlik 7).

İzotermal olmayan model denklemleri ve porozitenin basınç-sıcaklıkla değişim denklemi incelendiğinde model denklem parametreleri üç grupta toplanabilir. Bunlar; rezervuar kayaç özellikleri, akışkan karakteristik özellikleri ve saha üretim/beslenme ve enjeksiyon bilgileridir.

Kütle ve enerji denklemleri doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerdir. Bu nedenle, tümüyle kapalı Newton-Raphson yineleme yöntemiyle [9] birlikte çözümlenmek gerekmektedir. Çözümlemede birincil değişkenler olarak basınç (p) ve sıcaklık (T) göz önünde bulundurulmaktadır. Denklemler bu değişkenler için zamanın fonksiyonu olarak bir algoritma ile çözümlenmektedir. Kütle denklemi ve enerji denklemi herhangi bir t^{n+1} zamanında ($n=0,1,2,\dots$) $R_i(p^{n+1}, T^{n+1}) = 0$ $i=1$ (kütle denklemi), $i=2$ (enerji denklemi) ile tümüyle kapalı olarak ifade edilmektedir. Newton-Raphson yönteminin k . yineleme adımındaki basınç ve sıcaklığı ihtiva eden vektör, $w^{n+1,k}$ Eşitlik 6'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$J^{n+1,k} \delta w^{n+1,k+1} = -R^{n+1,k} \quad (7)$$

Burada J bir önceki yineleme adımındaki çözüm vektörü $w^{n+1,k}$ değerinde hesaplanmış "Jacobian" matrisini temsil etmektedir (Eşitlik 8).

$$J^{n+1,k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} & \frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} \\ \frac{\partial R_2}{\partial p^{n+1}} & \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}} \end{bmatrix} \quad R^{n+1,k} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \quad \text{ise} \quad \begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} & \frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} \\ \frac{\partial R_2}{\partial p^{n+1}} & \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P^{n+1} \\ \Delta T^{n+1} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

P^{n+1} ve T^{n+1} değerlerinin hesaplanmasında kullanılan basınç ve sıcaklık değişimleri Eşitlik 9 ve Eşitlik 10’da verilmiştir:

$$\Delta P = \frac{-R_2 \cdot \frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} - R_1 \cdot \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}}{\frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} \cdot \frac{\partial R_2}{\partial p^{n+1}} + \frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} \cdot \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}} \quad (9)$$

$$\Delta T = \frac{-\frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} \cdot \Delta P + R_1}{\frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}}} \quad (10)$$

2.3. Tarihsel Çakıştırma ve Doğrusal Olmayan Parametre Tahmini

Model parametrelerinin belirlenmesinde, rezervuarların üretim/re-enjeksiyon esnasında elde edilen veriler kullanılır. Belirli bir süre üretim yapmış rezervuardan gelen veriler, tank modellerinden alınan veriler ile çakıştırma yapılarak rezervuar parametreleri tayin edilir. Başka bir deyişle, ilk olarak rezervuar parametreleri tahmin edilir ve tank modellerinden elde edilen basınç veya su seviyesi değerleri sahadan gelen verilerle uyum sağlayıncaya kadar değiştirilir. Model parametreleri belirlenen rezervuarların geleceğe yönelik davranışlarının tahmininde de aynı yöntem uygulanır. Tahmin edilen parametreler kullanılarak tank modelleri ile geleceğe yönelik basınç tahminleri yapılır.

Bilgisayar destekli doğrusal olmayan eğri çakıştırma yöntemleri ile çok kısa süreler içerisinde ve etkin bir şekilde tarihsel çakıştırma yapılabilir. Tarihsel çakıştırmanın temel nedeni, model ve ölçüm verilerindeki hataların (belirsizliklerin) hesaba katılması ve model ile ölçüm çakışmasından elde edilen parametrelerin istatistiksel olarak nicelik bakımından değerlendirilmesinin mümkün olmasıdır. Bu avantajları nedeniyle bilgisayar destekli doğrusal olmayan eğri çakıştırma yöntemleri, dinamik verilere çakıştırma işlemi ile model parametrelerin belirlenmesinde temel bir araç haline gelmiştir.

Doğrusal olmayan parametre tahmin yöntemlerinde, geçmiş dinamik verilere çakıştırma işlemi, doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak formüle edilir ve genelde çakıştırma ağırlıklı en küçük kareler yöntemi ile yapılır. Ağırlıklı en küçük kareler yönteminde bilinmeyen model parametre vektörü $J(\vec{\chi})$ ’e göre minimize edilecek hedef fonksiyon Eşitlik 11’de verildiği şekliyle tanımlanabilir.

$$J(\vec{\chi}) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{n_j} W_{j,i} \left[f_j(t_i, \vec{\chi}) - y_j(t_i) \right]^2 \quad (11)$$

M, toplam model fonksiyonu (f) sayısını, $(t_i, y_j(t_i))$ $i=1 \dots n_j$ model fonksiyonu f_j ($j=1 \dots M$) için yapılmış n_j gözlemden oluşan veri setini temsil etmektedir. $\vec{\chi}$, göz önünde bulundurulmuş modeldeki bilinmeyen model parametrelerini içeren, bilinmeyen model parametre vektörüdür. Eşitlik 11’de $w_{j,i}$, her ölçüm verisi için pozitif ağırlıkları temsil eder. Bu ağırlıklar, herhangi bir zaman değeri t_i ’de ölçülen y_j için, ölçüm hatalarının varyansının (saçılım değerinin) tersini temsil eder. Eğer verilen bir ölçüm için ağırlık sıfıra yakın (veya başka deyişle ölçüm noktası için varyans, belirsizlik, büyük) ise, o ölçüm verisi güvenilir değildir ve çakıştırmada o veri noktasına daha az ağırlık atanması mümkün olur. Uygulamalarda, y_j ’ler rezervuar basıncı ölçümlerini temsil eder. Ancak, Eşitlik 11 ile tanımlanan hedef fonksiyon, birden fazla ve farklı veri setini (örneğin izotermal olmayan ve boyutlu modellerde) farklı kuyularda ölçülmüş sıcaklık, basınç, izleyici madde konsantrasyonlarını aynı anda çakıştırmak için kullanılacak kadar da geneldir. Eşitlik 11’in minimizasyonu, farklı yöntemlerle yapılabilir. Yaygın olarak kullanılan gradyant temelli Levenberg-Marquardt yöntemidir. Bu yöntemde yineleme işlemi ve yakınsama kriterleri kullanılarak, ölçüm verilerine en iyi çakışma sağlanarak, “en iyi” (optimum) model parametre vektörü $\vec{\chi}$ tahmin edilmektedir. Doğrusal olmayan parametre tahmin yöntemlerinde, geçmiş dinamik verilere çakıştırma

işlemi, doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak formüle edilir ve bunun için çeşitli istatistiki hazır programlar mevcuttur [8]. Non-linear

parametre tahmini algoritması Eşitlik 12-15'de verilen formüllere göre yapılmaktadır.

$$\text{Ölçüm } P = \text{Model } P(\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots, \Theta_n) + \epsilon y_i = f(x_i) + \epsilon \quad (12)$$

$$(x_i)_{j+1} = f(x_i)_j + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_1} \Delta \Theta_1 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_2} \Delta \Theta_2 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_3} \Delta \Theta_3 + \dots + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_n} \Delta \Theta_n \quad (13)$$

$$y_i = f(x_i)_j + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_1} \Delta \Theta_1 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_2} \Delta \Theta_2 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_3} \Delta \Theta_3 + \dots + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_n} \Delta \Theta_n + \epsilon \quad (14)$$

$$y_i - f(x_i)_j = \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_1} \Delta \Theta_1 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_2} \Delta \Theta_2 + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_3} \Delta \Theta_3 + \dots + \frac{\partial f(x_i)_j}{\partial \Theta_n} \Delta \Theta_n + \epsilon \quad (15)$$

Denklem matris ve vektörlerle ifade edildiğinde; $\{D\} = [Z_j] \{\Delta \Theta\} + \{C\}$

Burada;

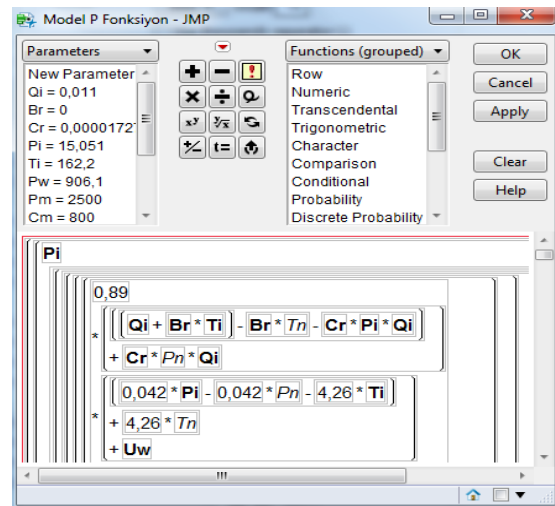
Kuvvet vektörü	Jacobian matrisi	Çözüm vektörü
$\{D\} = \begin{bmatrix} y_i - f(x_1) \\ y_i - f(x_2) \\ \vdots \\ y_i - f(x_2) \end{bmatrix}$	$[Z_j] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \Theta_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \Theta_2} & \frac{\partial f_1}{\partial \Theta_3} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \Theta_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \Theta_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \Theta_2} & \frac{\partial f_2}{\partial \Theta_3} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial \Theta_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial \Theta_1} & \frac{\partial f_n}{\partial \Theta_2} & \frac{\partial f_n}{\partial \Theta_3} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial \Theta_n} \end{bmatrix}$	$\{\Delta \Theta\} = \begin{bmatrix} \Delta \Theta_1 \\ \Delta \Theta_2 \\ \Delta \Theta_3 \\ \vdots \\ \Delta \Theta_n \end{bmatrix}$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada doğrusal olmayan parametre tahmin işlemi SAS INSTITUTE INC.JMP 10.0.0 (demo) istatistiki program yardımı ile yapılmıştır. İzotermal olmayan akış modeli ile ölçüm verileri karşılaştırması, hem basınç hem de sıcaklık verilerine birlikte veya yalnızca basınç ve yalnızca sıcaklık verilerine yapılabilmektedir. Ancak, Kütahya-Simav sahasında yapılan interference test çalışmalarında sadece kuyu dibi basınç verileri kaydedildiğinden, çalışmada sadece basınç verilerine karşılaştırma gerçekleştirilmiş ve karşılaştırma neticesinde tahmin edilen parametre değerleri kullanılarak, sahadaki sıcaklık profil değişimi hesaplanmıştır [10].

Sahada gerçekleştirilen basınç değişim takibi eğer mekanik elementler ile gerçekleştirilmiş ise gözlemlenmiş basınç değerlerine gürültü eklenmelidir. Kütahya-Simav sahasında gerçekleştirilen basınç değişim takibi dijital

element yardımıyla yapıldığından ölçüm (gözlemlenmiş) basınç değerlerine gürültü eklenmemiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Model fonksiyon ve parametrelerin programa işlenmesi

Nonlineer regresyona başlamadan önce model basınç fonksiyonu programa eklenir. Ayrıca tahmin edilecek parametrelerin tanımlamaları ve değerleri sisteme işlenir (Şekil 3).

Model basınç fonksiyonu;

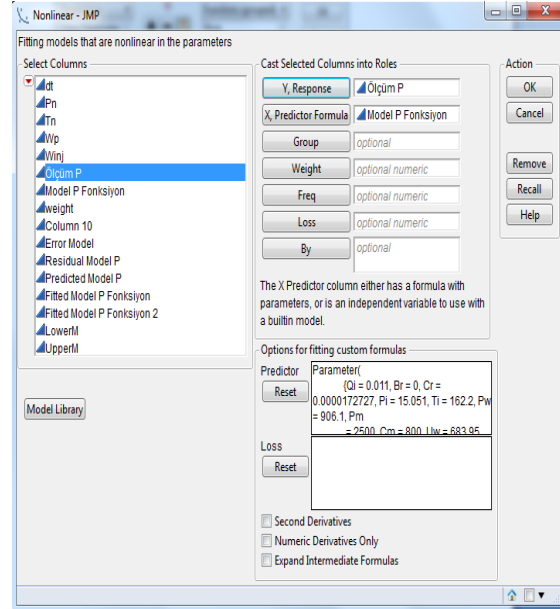
$$P_{model} = P_i - \frac{R_2 * \frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} - R_1 * \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}}{\frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} * \frac{\partial R_2}{\partial p^{n+1}} + \frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} * \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}} + C_{nr}$$

$$\frac{-R_2 * \frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} - R_1 * \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}}{\frac{\partial R_1}{\partial T^{n+1}} * \frac{\partial R_2}{\partial p^{n+1}} + \frac{\partial R_1}{\partial p^{n+1}} * \frac{\partial R_2}{\partial T^{n+1}}} = \Delta P, yi$$

JMP programı Analyz/modelling sekmesinde non-linear modül çalıştırıldığında tahmin edilebilecek porozite, kayaç sıkıştırılabilirliği, ilk basınç, ilk sıcaklık, rezervuar kaba hacmi, akışkan yoğunluğu, kayaç yoğunluğu, kayaç ve akışkan özellikleri ile beslenme indeksi de dahil olmak üzere, toplam 14 parametre tanımlanan model değerleriyle modülde gelir (Şekil 4). Modülde regresyon kriterleri istenilen ölçülerde değiştirilebilir durumdadır. Ayrıca, regresyonda tahmin edilecek parametreler dışındaki parametreler analiz setinden çıkarılmak isteniyorsa, “lock” sütununda o parametre kutucuğu işaretlenir. İşaretlenen parametreler regresyonda bilinen parametre olarak kabul edilir. Kütahya-Simav jeotermal sahası için doğrusal olmayan parametre tahmin işlemi 357. iterasyonda sonuca ulaşılmıştır (Şekil 5). Regresyon sonucu çözüm değerleri ve parametreler arası korelasyon Şekil 6’daki gibi çıkmıştır.

Pi: İlk Basınç değeri

Enr: Newton-Raphson regrasyon analiz artışını ifade eder.



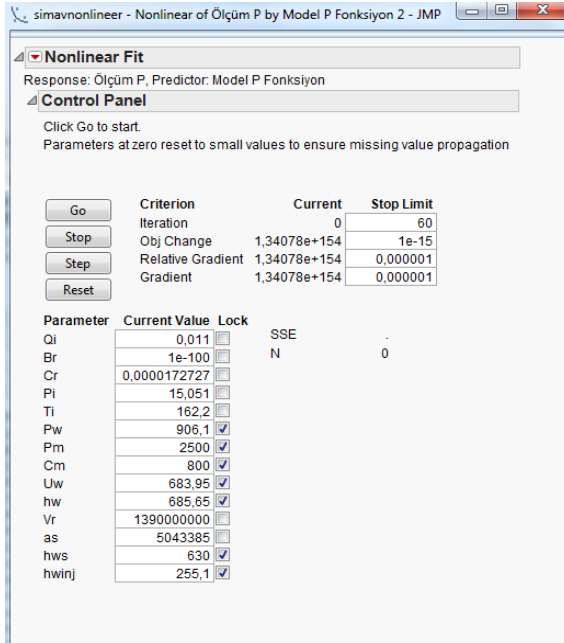
Şekil 3. Nonlineer fit modül

Model parametre değerlerinin kalibrasyonu sonucunda elde edilen parametre değerleri Çizelge 1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

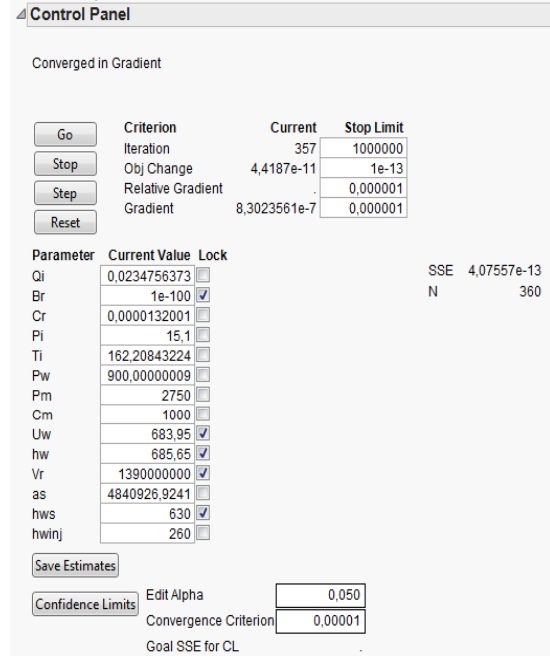
Çizelge 1. Kalibre edilmiş model parametre değerleri

Model Parametre Değerleri	Model İlk Değerleri	Gözlem Basınç Değerleri ile Kalibre Edilmiş Değerler
V _r	(m ³)	1,39x10 ⁹
ρ _m	kg/m ³	2.400
C _m	J/(kg °C)	800
T(i)	°C	162,2
P(i)	bar	15,051
φ	%	1,1
P _w	kg/m ³	906,1
U _w	kJ/kg	683,95
h _{w,s}	kJ/kg	630
h _{w,ini}	kJ/kg	255,1
h _{w,p}	kJ/kg	685,65
C _r	1/bar	1,7272x10 ⁻⁵
β	1/°C	0
α _s	m ³ /s	0,0645

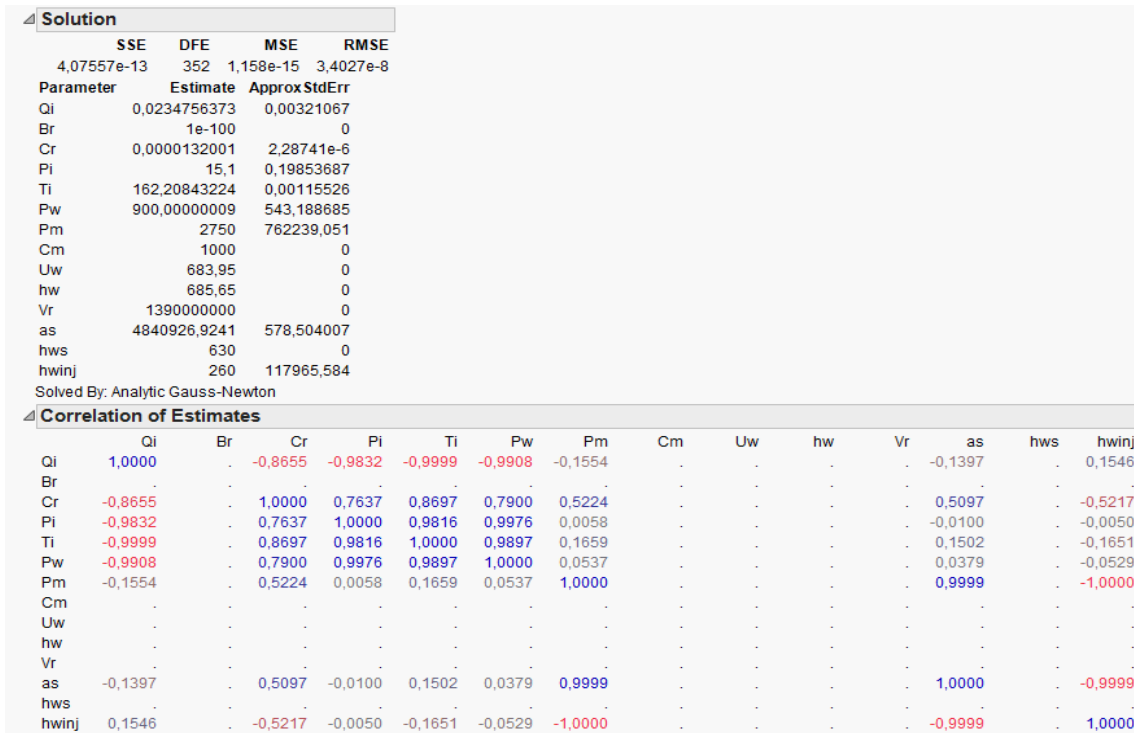
Jeotermal Rezervuar Modelleme ve JMP Programı ile Model Parametre Değerleri Tahmini



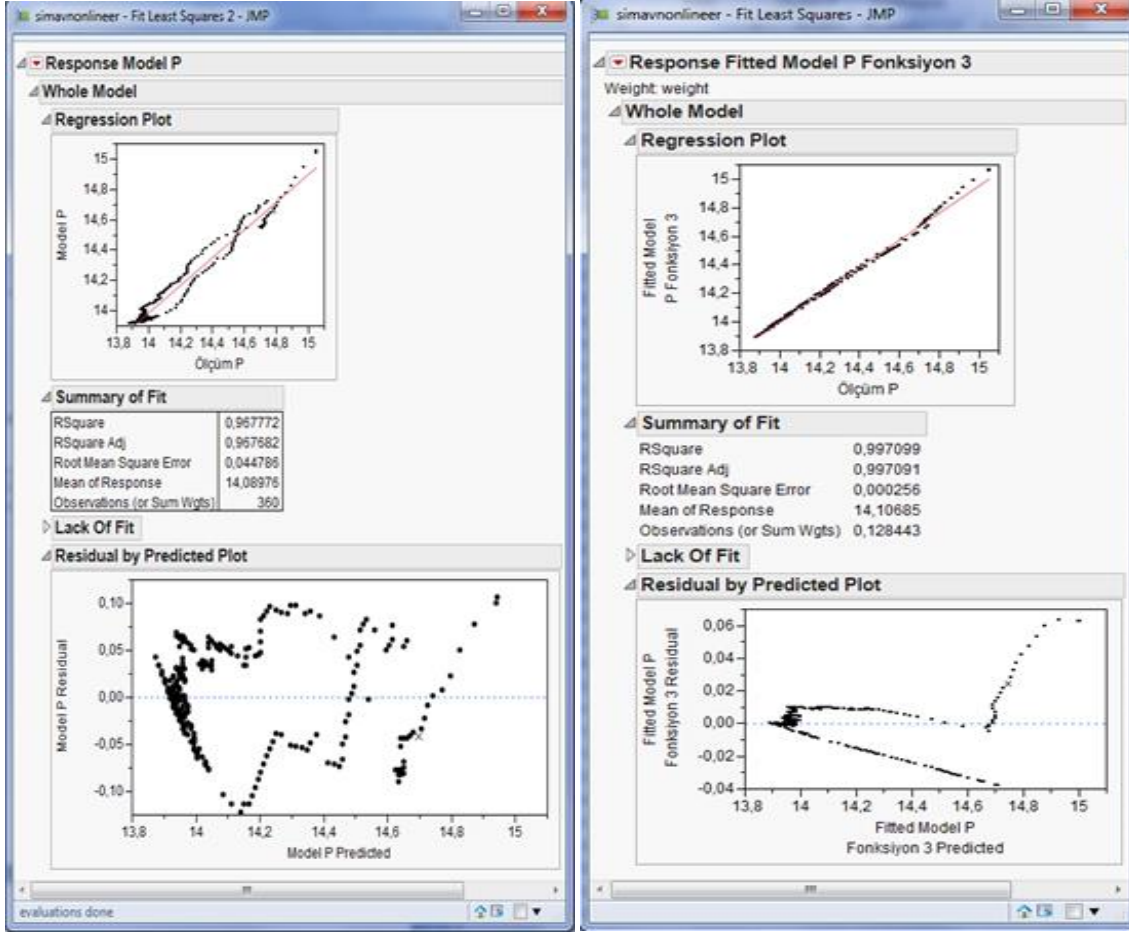
Şekil 4. Non-linear regresyon modülü



Şekil 5. Nonlinear regresyon sonucu



Şekil 6. Nonlinear regresyon sonucu ve parametreler arası korelasyon



(a)

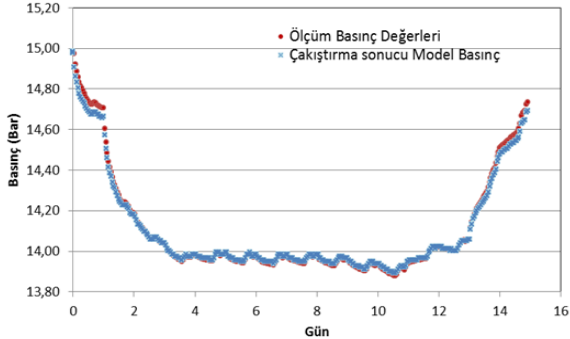
(b)

Şekil 7. Model parametre değerlerinin kalibresi öncesi (a) ve sonrası (b) fit model

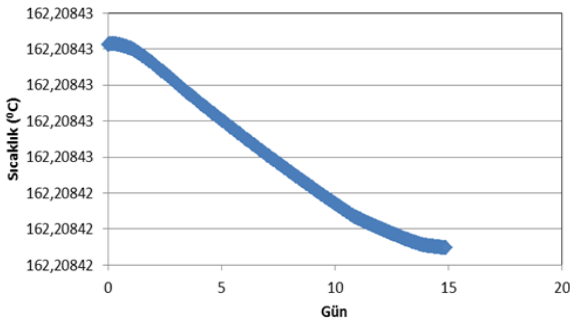
Kalibre edilmiş parametre değerleri sonucunda model basınç değerleri ile gözlem basınç değerleri arasındaki ilişki incelenmiş olup, datalar arası ilişki %99 seviyesine çıkmış, RMSE değeri ise 0,00084'den 0,00025 seviyesine düşmüştür (Şekil 7).

Model parametre değerlerinin doğrusal olmayan regresyon ile kalibresi sonucu parametre değerleri ile residual değerleri model sistemine işlenmiş ve ölçüm/model basınç grafiği (Şekil 8) ile model sıcaklık grafiği (Şekil 9) çizilmiştir. Şekil 8'den de görüleceği gibi ölçüm/model basınç değerleri %99

uyumludur. Model parametre değerlerinin kalibre edilmesi ve belirsizliklerin tespiti neticesinde, sahanın işletilmesinde saha basınç ve sıcaklık profilindeki değişimler tespit edilebilir ve irdelenebilir hale gelmiştir. Bu tespitler neticesinde, saha ile ilgili üretim-enjeksiyon optimizasyonu da gerçekleştirilebilir olmuştur. İşletmenin ihtiyaç duyduğu yıllık akışkan miktarı göz önünde bulundurularak, farklı senaryolar doğrultusunda saha model üzerinde işletilebilir ve sahada basınç kaybı en az olacak şekilde re-enjeksiyon miktarı tespit edilebilir olacaktır.



Şekil 8. İzotermal olmayan model basınç çakıştırma grafiği



Şekil 9. İzotermal olmayan model sıcaklık değişim profili

4. SONUÇLAR

İzotermal olmayan akış modeli, kütle korunum denklemi ile ısı taşınım denkleminin birlikte çözülmesiyle elde edilir. Kütle ve enerji denklemleri doğrusal olmayan diferansiyel denklemler olduğundan tümüyle kapalı Newton-Raphson yineleme yöntemi ile birlikte çözümlenmelidir. Bu çözümlenmeden sonra, saha parametrelerinin kalibrasyonu için sahadan gelen veriler, modelden elde edilen veriler ile çakıştırma yapılarak rezervuar parametreleri kalibre edilmelidir.

İzotermal olmayan akış modeli ile ölçüm verileri çakıştırması hem basınç, hem de sıcaklık verilerini birlikte kullanarak veya yalnızca basınç ve yalnızca sıcaklık verileri ile yapılabilmektedir. Ancak, Kütahya-Simav sahasında yapılan etkileşim test çalışmalarında, sadece kuyu dibi basınç verileri kaydedildiğinden çalışmada sadece

basınç verilerine çakıştırma gerçekleştirilmiş ve çakıştırma neticesinde, tahmin edilen parametre değerleri kullanılarak sıcaklık profil değişimleri hesaplanmıştır.

Doğrusal olmayan model kalibrasyonu ile Pmodel ile Pölçüm değerleri uyumu %96'dan %99 seviyelerine ulaşmıştır. R^2 değeri 0,044'den 0,00025 değerine düşmüştür. JMP Non-linear model parametre tahmini modülü her çalıştırıldığında farklı değerlerle çözüm kümesi oluşturmaktadır. Parametrelerin kalibrasyonu ile modülün model belirsizlikleri tespit edilir. Kalibre edilmiş model parametreleri ve belirsizlikler sisteme dahil edilerek modelleme sonlandırılır.

5. KAYNAKLAR

1. Whiting, R.L., Ramey, H.J., 1969. Application of Material and Energybalance to Geothermal Steam Production, Journal of Petroleum Technology, July, 893-900.
2. Bringham, W.E., Morrow, W.B., 1974. P/Z Behavior for Geothermal Steam Reservoirs. Paper SPE 4899 Presented at the 44th Annual California Regional Meeting of the Society of Petroleum Engineers, AME, San. Francisco, California.
3. Bodvarsson, G.S., Pruess, K., Stefansson, V., Eliasson, E.T., 1984-b. The Krafla Geothermal Field, Iceland: 2. The Generating Capacity of the Field, Water Resources Research, 20 (11), 1531-1544.
4. Bodvarsson, G.S., Pruess, K., Lippman, M.J., 1986. Modeling of Geothermal Systems, Journal of Petroleum Technology, 1007-1021.
5. Alkan, H., Satman, A., 1990. A New Lumped Parameter Model for Geothermal Reservoirs in Presence of Carbon Dioxide, Geothermics, 19/5, 469-479.
6. Sarak, H., 2004. Düşük Sıcaklıklı Jeotermal Rezervuarlar için Boyutsuz Rezervuar Modelleri, PhD Thesis, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
7. Onur, M., Sarak, H., Türeyen, Ö.İ., Çınar, M., Satman, A., Korkmaz, E.D., 2008. Düşük Sıcaklıklı Jeotermal Rezervuarların Akışkan ve Isı Üretim Davranışlarının Tank Modelleriyle Modellenmesi, Tübitak Projesi.

8. Türeyen, Ö. İ., Onur, M., Sarak, H., 2009. A Generalized Nonisothermal Lumped-Parameter Model for Liquid Deominated Geothermal Reservoirs, 34th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 9-11.
9. Burden, R.L., Faires, J.D., 1989. Numerical Analysis, 4th Edition, PWS-KENT Publishing Co., Boston.
10. Toraman, S., 2016. Kütahya-Simav Jeotermal Sahası Kuyu Etkileşimleri ve Üretim/Enjeksiyon Optimizasyonu, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 129, Adana.

Solar Radiation Modeling for Turkey Using Atmospheric Parameters with Artificial Neural Networks

Ozan ŞENKAL*¹

¹Çukurova University, Department of Computer Education and Instructional Technology, Adana

Geliş tarihi: 03.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

Artificial neural network (ANN) method was applied for modeling and prediction of mean solar radiation in given atmospheric parameters (temperature, pressure, humidity, precipitable water and month) in Turkey (26–45°E and 36–42°N) during the period of 2004–2006. Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithms and logistic sigmoid transfer function were used in the network. In order to train the network, meteorological measurements taken by the Turkish State Meteorological Service (TSMS) and Wyoming University for the period from 2004 to 2006 from five stations (Adana, Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun) distributed in Turkey were used as training and testing data. Data from years 2004 and 2005 were used for training, while the year 2006 was used for testing and validating the model. Solar radiation is the output.

Keywords: Solar radiation, Atmospheric parameters, Artificial neural network, Meteorology, Turkey

Yapay Sinir Ağları ile Atmosferik Parametreler Kullanılarak Türkiye için Güneş Radyasyonu Modellemesi

Öz

Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi, Türkiye’de (26-45°E ve 36-42°N) 2004-2006 dönemlerinde atmosferik parametreler olarak verilen (sıcaklık, basınç, nem, yağışmaya geçebilecek su miktarı ve ay) verileri kullanarak ortalama güneş radyasyonunun tahmini ve modellenmesi için uygulanmıştır. Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritmaları ve logistic sigmoid transfer fonksiyonu ağ içinde kullanılmıştır. Ağ eğitmek amacıyla, Türk Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ve Wyoming Üniversitesi tarafından 2004'den 2006'ye kadar Türkiye'deki beş istasyon (Adana, Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun) için alınan meteorolojik ölçümler değerleri eğitim ve test verileri olarak kullanılmıştır. 2004- 2005 yılı verileri eğitim için, 2006 yılı verileri ise test verilerini doğrulamak için kullanılmıştır. Güneş radyasyonu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş radyasyonu, Atmosferik parametreler, Yapay sinir ağı, Meteoroloji, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ozan ŞENKAL, osenkal@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Atmospheric parameters has been mainly measured by radiosondes (Radiosond is a complex device that has been especially designed to estimate several atmospheric parameters such as pressure, temperature, relative humidity, wind direction and speed) over and in the atmosphere. However on land, these instruments offer limited opportunities for spatial coverage and continually measurements of atmospheric parameters [1]. The amount of solar radiation plays an important role in the design and analysis of energy efficient buildings in different climates. In cold and severe cold regions, passive solar designs and active solar heating systems will help lower the reliance on conventional fossil heating means using fossil fuels [2]. Energy is essential to the economic and social development and improved quality of life in a country. Due to limited energy resources Turkey has been importing energy and more than half of the energy requirement is supplied by imports [3]. Therefore, the solar energy is being seriously considered for satisfying a significant part of energy demand in Turkey, as is in the world [4]. Solar energy potential is quite high in Turkey. The yearly average solar radiation is about 3.6 kW h/m² days, and the total yearly radiation period is about 2610 h [5]. In recent years, many individual studies have been carried out for solar measurements at different locations in Turkey [4] and in other countries e.g., in Saudi Arabia [6,7], in Spain [8,9]. However, they were not been complete to cover large areas because of insufficient number of measuring stations [10]. Therefore, predictions about solar radiations at specific locations are still useful for many practical purposes. Several studies have been presented [11, 12] for the prediction of solar radiation in various cities and locations in Turkey. Solar radiation intercepted at the earth's surface is of paramount importance for various applications, such as in the infrastructure and construction industry, estimation of crop productivity, environmental and agrometeorological research, atmospheric physics and the practical utilization of renewable energy resources [13].

It is clear from many studies that usage of ANN method is suitable and applicable for estimating global solar radiation especially for regions where very large distances exist between meteorological stations and also having abundant solar energy [14, 15]. Atmospheric parameter scan be used as input data for ANN method for predicting solar radiation. For some regions due to geography or cost problems atmospheric parameters are rarely available. For this case given atmospheric parameters may be useful and may be used for the solar radiation estimation models. In the present work we tried to use to given atmospheric parameters as an input for the ANN method to estimate the solar radiation at ground level and see the results of this approach. Also, some other models or techniques (semi-empirical, physical, statistical, wavelets, fractals, etc) have been used for estimating solar radiation [14] using air temperature, precipitation, relative humidity and cloudiness data [16,17].

We expect that results of this study give an idea about solar radiation potential in Turkey because five stations (Adana, Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun) are selected in such a way that they represent different climatic conditions (see Figure 1). The geographical locations of these stations are given in Tab.1. Then, Artificial Neural Network (ANN), known as Levenberg-Marquardt (LM) is used to estimate solar radiation using atmospheric parameters.



Figure 1. Solar radiation and atmospheric parameters measuring stations in Turkey

Table 1. Geographical parameters for the stations

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)
Adana	36.59	35.21	27
Ankara	39.57	32.53	891
İstanbul	41.01	28.59	0
İzmir	38.26	27.10	29
Samsun	41.17	36.18	4

2. ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Artificial neural networks (ANNs) are information processing systems that are non-algorithmic, non-digital and intensely parallel [18]. ANNs have broad applications in many fields such as mathematics, engineering, medicine, economics, meteorology, psychology, and neurology. This method learns from given examples by constructing an input–output mapping in order to achieve estimations [19]. This clearly implies that, input data and corresponding output values are required to train and test a neural network [20]. Therefore, the network usually consists of an input layer, some hidden layers, and an output layer [21]. The model used in this study is briefly explained below.

The fundamental element of a neural network is a neuron. Each neuron computes a weighted sum of its p input signals, y_i , for $i=0,1,2,\dots,n$, hidden layers, w_{ij} and then applies a nonlinear activation function to produce an output signals u_j . The model of a neuron is shown in Figure 2.

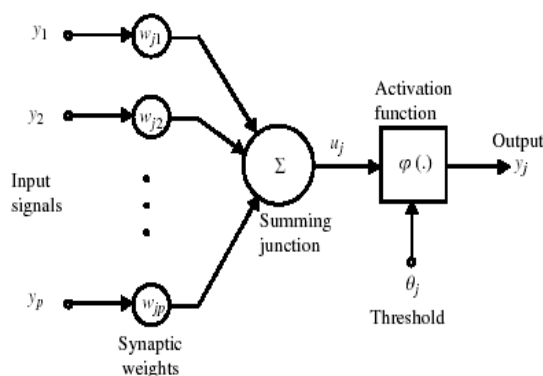


Figure 2. Nonlinear model of a neuron [22]

A neuron j can be described with the following pair of equations [22]:

$$u_j = \sum_{i=0}^p w_{ji} y_i \tag{1}$$

and

$$y_j = \varphi(u_j - \theta_j) \tag{2}$$

The use of threshold θ has the effect of applying an affine transformation to the output of the linear combiner in the model of Fig. 2 [22,23].

The sigmoid logistic nonlinear function can be defined by the following equation [24, 25]:

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \tag{3}$$

ANN was used for modeling solar radiation in Turkey. This network consists of an input layer, single hidden layers and an output layer. Latitude, longitude, altitude, month and satellite-estimated sunshine duration were used as input layers in order to get output as the solar radiation. The algorithm used in the study is Levenberg-Marquardt (LM). Logistic sigmoid transfer function (logsig) and linear transfer function (purelin) were used in the hidden layers and output layer of the network as an activation function.

MATLAB software has been used to train and test the ANN on a personal computer. For the training, ten neurons are used in a single hidden layer. The selected ANN structure is given in Figure 3. For the period from 2004 to 2006 from five stations (Adana, Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun), Data from 2004-2005 years are used for training and data from 2006 year are used for testing.

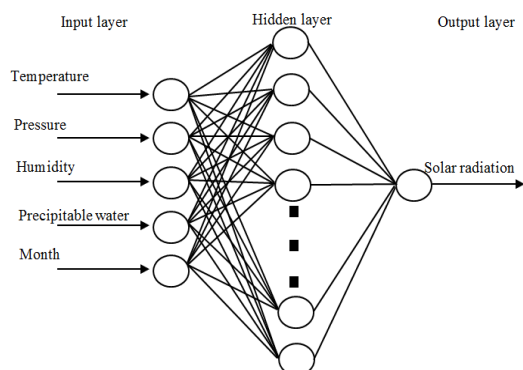


Figure 3. ANN architecture used for five neurons in a single hidden layer

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

An ANN consisting of an input layer, several hidden layers and an output layer was used for computation of the solar radiation all over Turkey. MATLAB which is a commonly used software system was administered to train and test the ANN on a personal computer. The algorithm used in the study was Levenberg-Marquardt (LM) described by Logistic sigmoid transfer function (named 'logsig') and linear transfer function (named 'purelin') were used in the hidden layers and in the output layer of the network as an activation function. For the training, ten neurons were used in the hidden layer for solar radiation. Atmospheric parameters have influences on the intensity of incoming solar radiation on the Earth. Thus, meteorological data by the Turkish State Meteorological Service (TSMS) and Wyoming University database for Turkey for the period from 2004 to 2006 were used, first as training and later as testing data to train the neural network. Data set for two years in 2004-2005 were used for training the network, while another set for (one year, 2006) were used for testing and validating the LM model. Solar radiations over Turkey were determined using the ANN model shown in Figure 3. with the value of the monthly mean daily sum of atmospheric parameters. In the case of monthly mean daily sum correlation coefficient was found to be 98.50% (Figure 4), 95.99% (Figure 5) for solar radiation values (training and testing).

The performance values for all stations, such as MBE (Mean Bias Error) and RMSE Root Mean Square Error for training, testing values are given in Table 2. The performance values for all stations, such as MBE (Mean Bias Error) and RMSE for training and testing solar radiation values are given in Table 2. The maximum MBE was found to be 0.5111 values, while the minimum MBE was found as -0.8113 values. The RMSE values of solar radiation, ranging from 0.3633 to 2.4002% differ from the actual value for all stations. The maximum RMSE was found to be 2.4002% for Adana station in the testing values, while the best result was found to be 0.3633% for İzmir station in the training values. Moreover, another significant point in this table, the performance values of the training by method are generally better than the performance values of the testing Figure 6 shows a comparison between measured, ANN values for the five stations (training and testing stations) [25].

Table 2. Error values of the solar radiation method approach

Stations	Training		Testing	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Adana	0.2588	1.2681	-0.6929	2.4002
İstanbul	0.5111	2.5032	0.4551	1.5765
İzmir	-0.0742	0.3633	-0.8183	2.3348
Samsun	-0.0859	0.4202	-0.2096	0.7260
Ankara	0.2290	1.1220	-0.3780	1.3095

The results of own study confirms the ability of ANN method to predict solar radiation values at every pixels of the study area, throughout Turkey. In addition, some meteorological atmospheric parameters observations are held on large TSMS climate stations, having minimal 250 km distance from each other. Small scale climate stations were unable to make some meteorological atmospheric parameters observation. Using ANN, solar radiation values can be calculated for each such station [25].

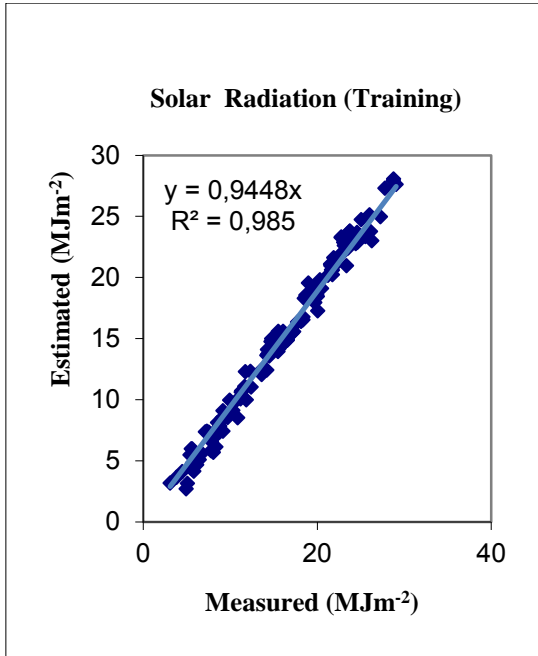


Figure 4. Comparison of monthly mean daily sum measured and estimated concerning training during the study period for solar radiation

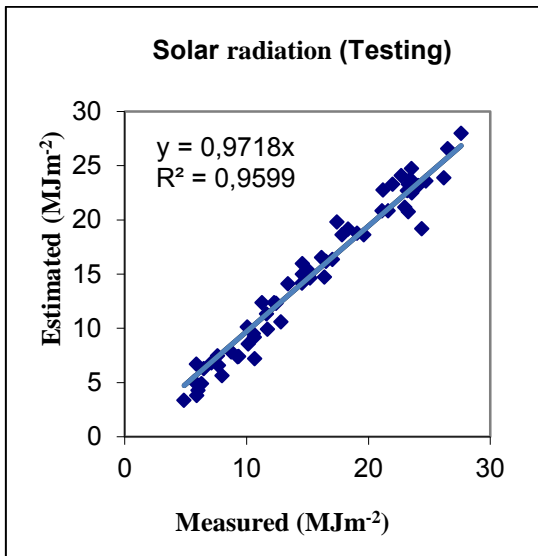


Figure 5. Comparison of monthly mean daily sum measured and estimated concerning testing during the study period for solar radiation

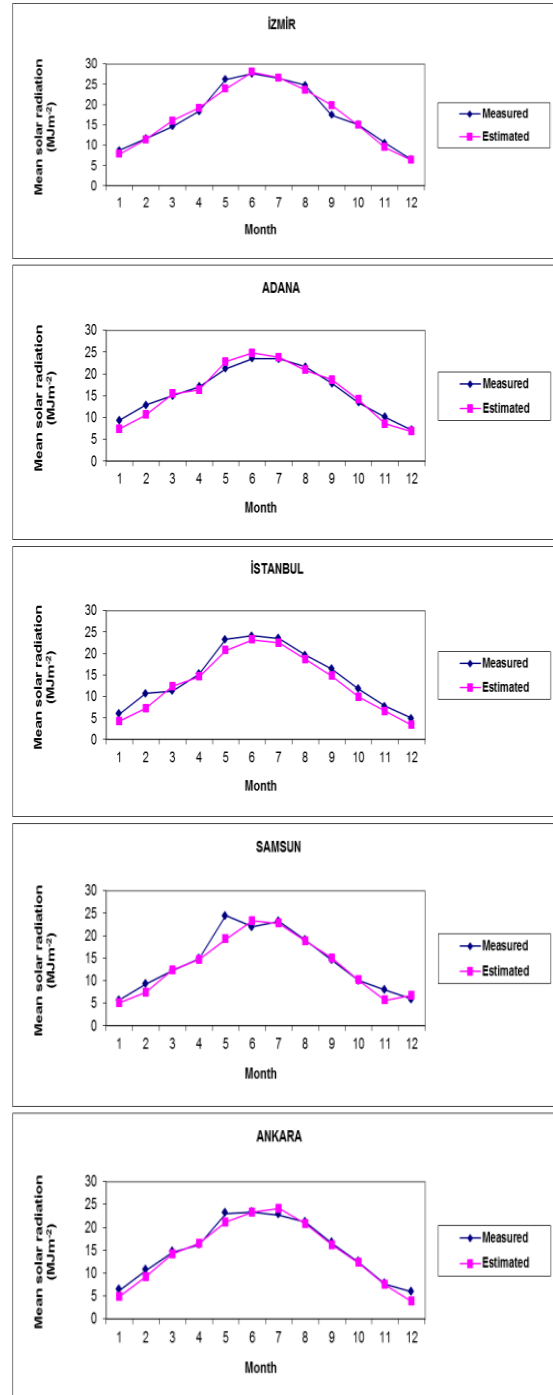


Figure 6. Comparison between measured and estimated monthly mean daily global solar radiation for 2006

4. CONCLUSION

Estimation of solar radiation on a surface at ground level and construction of solar radiation database is very useful for solar energy, engineering, environmental, agricultural and some other applications. Studies have shown that use of ANN for these purposes is really cheap and effective. In the present study ANN were used to predict to global solar radiation in Turkey by using atmospheric parameters. In order to train the neural network, 5 cities spread over Turkey were used as training (2004-2005) and testing (2006) data. Results of these 5 locations show a relatively good agreement between the measured and the predicted values for the all months. In fact, ANN needs Meteorological data to estimate the monthly mean daily sum at ground level. But it has been shown that using atmospheric parameters may help to increase the accuracy of the estimation. And model used here can be especially applied to areas, where reliable atmospheric parameters do not exist or the distances between the stations are very large. Therefore, method (the ANN technique) is very useful and presents a less costly way than using the classical direct observations carried out in some meteorology stations in a country. ANN method can be used by researchers in Turkey and other countries.

5. REFERENCES

1. Cuomo, V., Tramutoli, V., Pergola, N., Pietrapertosa, C., Romano, F., 1997. In Place Merging of Satellite Based Atmospheric Water Vapour Measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 18(17), 3649-3668.
2. Lam, J.C., Yang, L., Liu, J., 2006. Development of Passive Design Zones in China Using Bioclimatic Approach. *Energy Conversion and Management*, 47(6), 746-762.
3. Kaygusuz, K., Sari, A., 2003. Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 44(3), 459-478.
4. Kaygusuz, K., Ayhan, T., 1999. Analysis of Solar Radiation Data for Trabzon, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 40(5), 545-556.
5. Tymvios, F.S., Jacovides, C.P., Michaelieds, S.C., Scouteli, C., 2005. Comparative study of Angström's and Artificial Neural Networks Methodologies in Estimating Global Solar Radiation. *Solar Energy*, 78, 752-762.
6. Mohandes, M., Rehman, S., Halawani, T.O., 1998. Estimation of Global Solar Radiation Using Artificial Neural Networks. *Renewable Energy*, 14(1-4), 179-184.
7. Mohandes, M., Balghonaim, A., Kassar, M., Rehman, S., Halawani, T.O., 2000. Use of Radial Basis Functions for Estimating Monthly Mean Daily Solar Radiation. *Solar Energy*, 68(2), 161-168.
8. Lopez, G., Rubio, M.A., Martinez, M., Batlles, F.J., 2001. Estimation of Hourly Global Photosynthetically Active Radiation Using Artificial Neural Network Models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4), 279-291.
9. Hontoria, L., Aguilera, J., Zuria, P., 2005. An Application of the Multilayer Perception: Solar Radiation Maps in Spain. *Solar Energy*, 79(5), 523-530.
10. Bulut, H., 2004. Typical Solar Radiation Year for Southeastern Anatolia. *Renewable Energy*, 29, 1477-1488.
11. Şaylan, L., Şen, O., Toros, H., Arısoy, A., 2003. Solar Energy Potential for Heating Cooling Systems in Big Cities of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 43, 1829-1837.
12. Dinçer, I., Dilmaç, S., Ture, I.E., Edin, M., 1996. A Simple Technique for Estimating Solar Radiation Parameters and its Application for Gebze. *Energy Conversion and Management*, 37(2), 183-198.
13. Tymvios, F.S., Jacovides, C.P., Michaelieds, S.C., Scouteli, C., 2005. Comparative Study of Angström's and Artificial Neural Networks Methodologies in Estimating Global Solar Radiation. *Solar Energy*, 78, 752-762.
14. Joseph, C.L., Kevin, K.W.W., Liu, Y., 2008. Solar Radiation Modelling Using ANNs for Different Climates in China. *Energy Conversion and Management*, 49(5): 1080-1090.

15. Lopez, G., Rubio, M.A., Martinez, M., Batlles, F.J., 2001. Estimation of Hourly Global Photosynthetically Active Radiation Using Artificial Neural Network Models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 07: 279-291.
16. Thornton, P.E., Steven, W.R., 1999. An Improved Algorithm for Estimating Incident Daily Solar Radiation from Measurements of Temperature, Humidity, and Precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93: 211-228.
17. Ehnberg, J.S.G., Bollen M.H.J., 2005. Simulation of Global Solar Radiation Based on Cloud Observations. *Solar Energy*, 78:157-162.
18. Dinçer, I., Dilmaç Ş., Ture, I.E., Edin, M., 1996. A Simple Technique for Estimating Solar Radiation Parameters and its Application for Gebze. *Energy Conversion and Management*, 37(2):183-98.
19. Mohandes, M.A., Halawani, T.O., 2004. Rehman S, Hussain AA. Support Vector Machines for Wind Speed Prediction. *Renewable Energy*, 29:939-947.
20. Çam, E., Arcaklıoğlu, E., Çavusoğlu, A., Akbıyık, B., 2005. A Classification Mechanism for Determining Average Wind Speed and Power in Several Regions of Turkey Using Artificial Neural Networks. *Renewable Energy*, 30:227-239.
21. Kalogirou, S.A., 2000. Applications of Artificial Neural-Networks for Energy Systems. *Applied Energy*, 67:17-35.
22. Haykin, S., 1994. *Neural Networks, a Comprehensive Foundation*. New Jersey: Prentice-Hall.
23. Melesse, A.M., Hanley, R.S., 2005. Artificial Neural Network Application for Multi-Ecosystem Carbon Flux Simulation. *Ecological Model*, 189:305-14.
24. Mehmet, B., Besir, Ş., Abdulkadir, Y., 2007. Application of Artificial Neural Networks for the Wind Speed Prediction of Target Station Using Reference Stations Data. *Renewable Energy*, 32:2350-2360.
25. Şenkal, O., 2015. Solar Radiation and Precipitable Water Modeling for Turkey Using Artificial Neural Networks. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 127(4) 481-488.

Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Farklı Temel Şekilleri için Değerlendirilmesi

Baki BAĞRIAÇIK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 03.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, şerit bir temel ($B=10$ cm) altında, donatı tabakası ile güçlendirilmiş zeminlerdeki ilk donatı tabakasının optimum derinliği, yükleme ve gerilme açısından deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak, sabit bir derinlikte kum tabakası hazırlanarak, temelden dolayı oluşan donatısız ve donatılı durumlarda, temel genişliğinin 2,0 katı ($Z=2.0B$) derinlikte meydana gelen gerilme değerleri basınç algılayıcıları yardımıyla ölçülmüştür. Donatısız durumda ölçülen gerilme değerleri, temel tabanından itibaren farklı derinliklere ($U=0,10B$, $U=0,15B$, $U=0,20B$, $U=0,25B$, $U=0,30B$, $U=0,35B$ ve $U=0,40B$) (U =geogridin temel tabanından itibaren derinliği, B =temel genişliği, Z =kum tabakası derinliği) yerleştirilen tek sıra geogrid donatı tabakası olması durumunda, meydana gelen gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı temel şekillerinin ilk donatı tabakasının optimum derinliğine etkisini bir arada gösterebilmek amacıyla, literatürde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, şerit temel için ilk donatı tabakasının optimum derinliği yaklaşık $U=0,30B$ olarak bulunmuş ve temel şeklinin farklı olmasının da bu derinliği değiştirdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Model deney, Donatı tabakası optimum derinliği, İlave düşey gerilme, Basınç algılayıcı, Farklı temel şekilleri

Evaluation of the Reinforcement Layer's Optimum Depth under Different Shape of Footing

Abstract

In this study, additional vertical stresses, which occur in a soil as a result of uniformly loaded strip footing, resting on sandy soils unreinforced and reinforced by geogrids, have been investigated by laboratory model tests. Additional vertical stress values that occur on a horizontal planes of particular specified depths, have been measured with pressure transducers. The additional vertical stresses have been measured in the fixed depth ($Z=2.0B$), by replacing the geogrid's depth. Geogrid, which placed into the depths of $U=0.10B$, $U=0.15B$, $U=0.20B$, $U=0.25B$, $U=0.30B$, $U=0.35B$ and $U=0.40B$ (U =depth of geogrid from foundation, B =width of footing, Z =depth of sandy soil) at soil, have been used in the tests. According to test results, it has seen that the geogrid's optimum depth is approximately $U=0.30B$ for strip footings and this depth is changed with the different shape of footings.

Keywords: Model tests, Reinforcement layer's optimum depth, Additional soil stress, Stress transducer, Different shape of footing

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Zeminler çok değişken malzemelerden oluştuğu için, zemin mekaniği ve temel mühendisliği problemlerinde zeminlerin endeks, mukavemet ve oturma gibi özelliklerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, zemine etki eden yer altı suyu, deprem vb. parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir. Birçok inşaat malzemesi için, tasarım ve uygulama problemlerinin çözümünde belirli katsayılar kullanılarak malzeme davranışının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Fakat zemin ile ilgili problemlerde kullanılacak malzeme özelliklerinin hangi koşullarda belirlendiği ve geçerliliğini koruduğunu anlamadan, bu problemler için güvenli ve ekonomik mühendislik çözümleri elde etmek mümkün olamamaktadır. Bu durum, zemin mekaniği ve temel mühendisliğinin önemini daha da artırmaktadır [1].

Yapı yükleri, zemin yüzeyine temellerle iletildiğinden, zemin içerisinde oluşan ilave gerilmelerden dolayı özellikle yükün etki ettiği bölgeye yakın kısımlarda fazla olmak üzere, şekil değiştirmeler meydana gelir. Oluşan gerilmelerin şiddetinin ve dağılımının iyi bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir [2].

Bilim ve teknolojinin gelişmesine ve hızla artış gösteren dünya nüfusuna bağlı olarak, yumuşak-gevşek zeminlerde çok katlı yüksek binaların projelendirilmesi zorunluluğu gittikçe önem kazanmaktadır.

Durumun böyle olması, ya derin temel sistemine geçilmesini ya da temel zemininde iyileştirme yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Özellikle ekonomik olması sebebiyle, zemin iyileştirme yöntemlerinden, donatılı zemin uygulaması sıklıkla kullanılmaktadır [4].

Donatılı zemin uygulamasında, en önemli hususlardan biri donatının temel tabanından itibaren hangi derinlikte uygulanması gerektiğidir.

Bu çalışmada, donatısız ve donatı ile güçlendirilmiş kumlu zeminler üzerine oturan şerit bir temelden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmış ve ilk donatı tabakasının optimum derinliği, yükleme ve gerilme açısından deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra, farklı temel şekillerinin, ilk donatı tabakasının optimum derinliğine etkisini belirleyebilmek amacıyla, yapılan bu çalışma literatürle [12-15] karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zeminlerde oluşan düşey ve yatay gerilmelerin önemi bilindiğinden bunların belirlenmesi için birçok deney düzeneği ve tekniği geliştirilmiştir. Bu bölümde, düşey ve yatay gerilmelerin belirlenmesine yönelik 1920'lerden günümüze kadar yapılmış çalışmalar ve son yıllarda git gide önem kazanan zemin iyileştirme yöntemlerinden donatılı zemin uygulamaları ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Terzaghi [5], kil ve kum numunelerde düşey yüklerden dolayı oluşan yatay ve düşey gerilmeleri üretmiş olduğu deney düzeneğiyle ölçmüştür. Sonuçta, ölçmüş olduğu yatay ve düşey gerilmeleri oranlayarak, sükunetteki yanıl zemin basınç katsayısı Donath [6], K_0 değerlerini elde etmiş ve kaba kum için $K_0=0,42$ değerini belirlemiştir [7]. Hanna ve Ghaly, kum zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri, basınç algılayıcı yardımıyla ölçmüşlerdir. Ölçülen sonuçlar ile Jaky [8] tarafından verilen $K_0=1-\sin \phi$ değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, sıklığın artmasına bağlı olarak deneysel ve teorik K_0 değerlerinin azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, ölçülen ilave gerilmelerin teorik değerlerden daha büyük değerler olduğu görülmüştür [7].

Keskin ve arkadaşları [9], kumlu zeminlerde, düşey yüklü kare temellerin merkezi altında oluşan ilave düşey gerilme değerlerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Sayısal analizlerde, zemin lineer elastik ve non-lineer elasto-plastik malzeme olarak modellenerek, analizlerde kullanılan bu modellerin ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçta, sonuçlar arasında bazı

derinliklerde uyum içinde olduğu belirlenmiştir [9].

Bağrıaçık ve Laman [10], temellerin şekil etkisini araştırabilmek amacıyla, kumlu zeminler üzerine oturan farklı geometrilere sahip yüzeysel temellerden dolayı, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını laboratuvar model deneyleri ile belirlemişlerdir. Sonuçta, farklı geometrilere sahip temellerde şekil etkisinin önemli mertebelerde olduğu görülmüştür [10].

Bağrıaçık ve Laman [11], donatısız ve donatılı kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel bir temelden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını, model deneylerle araştırmıştır. Sonuçta, donatılı durumlardaki ilave düşey gerilmelerin, donatısız duruma göre, %27 mertebelerinde fazladan azaldığı görülmüştür [11].

Bağrıaçık ve arkadaşları [12], donatı ile güçlendirilmiş kare bir temel altındaki zeminlerde optimum ilk donatı tabakası derinliğini, yüklemeye ve gerilme açısından belirleyebilmek amacıyla laboratuvar model deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde, sabit derinlikte bir kum tabakası hazırlanmış ve kare temelden dolayı oluşan donatısız durumda, kare temel genişliğinin 2 katı derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ölçülmüştür. Sonuçta, kare temellerde ilk donatı tabakasının optimum derinliği, kare temel genişliğinin 0.40 katı olarak belirlenmiştir [12].

Örnek ve arkadaşları [13], kumlu zeminlere oturan eksantrik yüklü şerit temellerin davranışlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar model deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, yük eksantrisitesi arttıkça nihai taşıma gücünün azaldığı görülmüştür [13].

Türedi ve Örnek [14], dikdörtgen temelin farklı yüklemeye koşullarında zemine oturması sonucunda meydana gelen düşey gerilmeleri belirleyebilmek amacıyla model deneyler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, deney sonuçlarını literatürdeki teorik yöntemlerle (Boussinesq, Westergaard ve 2:1 Yöntemi vb.) karşılaştırmışlardır. Sonuçta, eksantrisite arttıkça taşıma gücü değerlerinin

azaldığı, temel merkezinden uzaklaştıkça da gerilme değerlerinde azalmalar tespit etmişlerdir.

Ayrıca, model deney sonuçları ile teorik sonuçların da birbirleri ile uyumlu olduklarını belirlemişlerdir [14].

Bağrıaçık [15], donatı ile güçlendirilmiş dairesel bir temel altındaki zeminlerde optimum ilk donatı tabakası derinliğini, yüklemeye ve gerilme açısından belirlemiştir. Deneylerde, sabit derinlikte bir kum tabakası hazırlanmıştır. Dairesel temele gelen düşey yüklerden dolayı oluşan zemin içindeki gerilme değerleri, güçlendirilmemiş ve geogrid donatılı ile güçlendirilmiş durumlarda, dairesel temel çapının 2 katı derinliğinde ölçülmüştür. Sonuçta, dairesel temellerde ilk donatı tabakasının optimum derinliği, dairesel temel genişliğinin 0,35 katı olarak belirlenmiştir [15].

3. MATERYAL METOD

DeneySEL çalışmalar, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Kum numune üzerinde endeks ve mukavemet özelliklerini belirleyebilmek amacıyla yapılan deneylere göre, deney kumunun, zemin sınıfı, TS 1500'e göre uniform temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Zemin özellikleri [11]

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Orta Kum Yüzdesi	%	46,40
İnce Kum Yüzdesi	%	53,60
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0,18
D_{30}	mm	0,30
D_{60}	mm	0,50
Üniformluk Katsayısı, C_u	-	2,78
Derecelenme Katsayısı, C_c	-	1,00
Zemin Sınıfı	-	SP
Maksimum kuru birim hacim ağırlık	kN/m ³	17,06
Minimum kuru birim hacim ağırlık	kN/m ³	15,03
Dane Birim Hacim Ağırlık	kN/m ³	26,80

Deneyel çalışmalarda, 50 cm x 50 cm x 40 cm boyutlarındaki kare kesitli bir kasa kullanılmıştır. Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzü 6 mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban ise, 20 mm kalınlığındaki ahşap malzemeden imal edilmiştir [11].

Deneyel çalışmada, 10 cm genişliğe sahip olan şerit temel kullanılmıştır. İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarındaki yüklemeye kirisine monte edilmiş, farklı yüklemeye hızlarında çekme ve basınç uygulayabilen yüklemeye düzeneği ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Temel plakasına gelen yük değerlerini belirlemek amacıyla ESİT firması tarafından üretilen elektronik yük hücresi kullanılmıştır [16]. Zeminde meydana gelen düşey gerilmeleri ölçmek için 200 kPa kapasiteli TML markalı basınç algılayıcılar kullanılmıştır [11].

Üretici firmadan temin edilen Çizelge 2’de teknik özellikleri yer alan geogrid donatı, temel tabanından itibaren farklı derinliklere ($U=0,10B$, $U=0,15B$, $U=0,20B$, $U=0,25B$, $U=0,30B$, $U=0,35B$ ve $U=0,40B$) Şekil 2’de görüldüğü gibi yerleştirilerek $Z=2,0B$ derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ölçülmüştür.

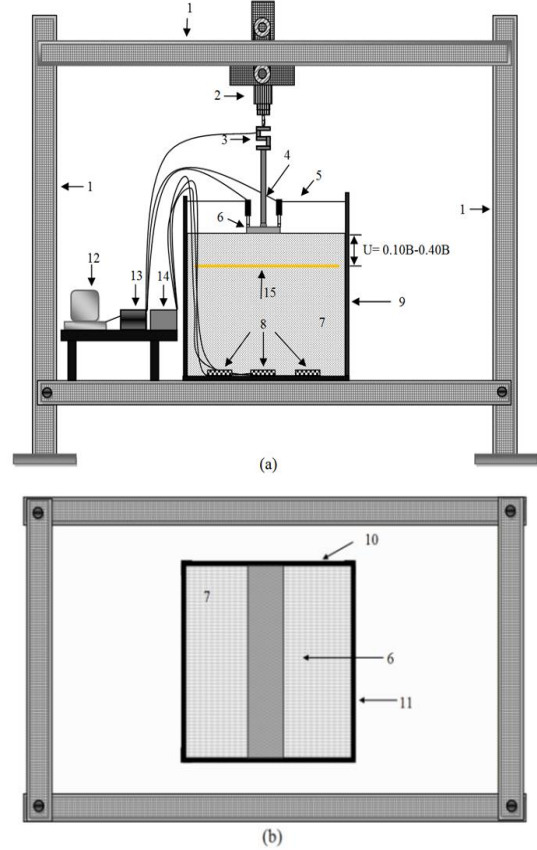
Çizelge 2. Geogrid özellikleri [11]

Teknik Özellikler	Birim	Secugrid
Malzeme	-	Polipropilen
Maks. Çekme Dayanımı, md/cmd*	kN/m	$\geq 60 / \geq 60$
%2 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	kN/m	22 / 22
%5 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	kN/m	48 / 48
Açıklık, md x cmd*	mmxmm	31 x 31
Rulo genişliği / uzunluğu	m x m	4,75 x 100

*md = machine direction, *cmd= cross mach.

Uygulanan düşey yükler, yük hücresi yardımıyla 8 kanal girişli ADU data logger cihazına aktarılıp, bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Uygulanan düşey yüklerden

dolayı meydana gelen düşey gerilmeler ise, basınç algılayıcıları yardımıyla, TML markalı taşınabilir data loggerden elde edilmiştir [11].



1-Yüklemeye Çerçevesi, 2-Motor Kontrollü Yüklemeye Sistemi, 3-Yük Hücresi, 4-Yüklemeye Başlığı, 5-Deplasman Ölçer, 6-Şerit Temel, 7-Model Zemin, 8-Basınç Algılayıcılar, 9-Deney Kasası, 10- Cam Tabaka, 11- Ahşap Tabaka, 12- Bilgisayar, 13- Veri Toplama Ünitesi (ELE), 14- Veri Toplama Ünitesi (TML), 15- Geogrid Donatı

Şekil 1. Deney düzeneği (a: Kesit, b: Plan)

Deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiş ve deneyler belirtilen hususlara dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir. Basınç algılayıcıları deney kasasının içerisine deney esnasında hareket etmeyecek şekilde sabitlenmiş ve kum zemin, kasa içerisine tabakalar halinde belirlenen sıklıkta ($\gamma_k=15,03 \text{ kN/m}^3$) yerleştirilmiştir.

Kum zemin tabakalar halinde yerleştirilirken, belirlenen derinliğe gelince geogrid donatı tabakası uygulanmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra zemin üst yüzeyinin düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilerek, temel plakası zemin yüzeyine yerleştirilmiştir [16]. Uygulanan yükün, temel plakası merkezine düşey yönde etki ettirilmesine ve yükleme hızının her kademede sabit tutulmasına özen gösterilmiştir.

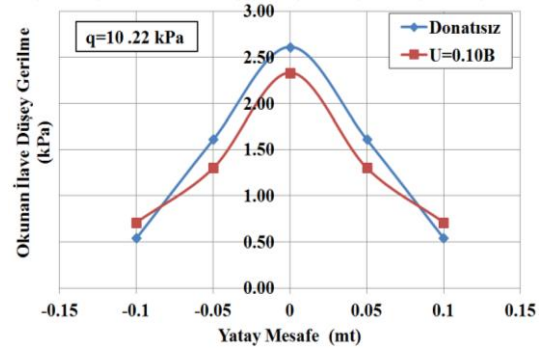
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Şerit Temelde İlk Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Belirlenmesi

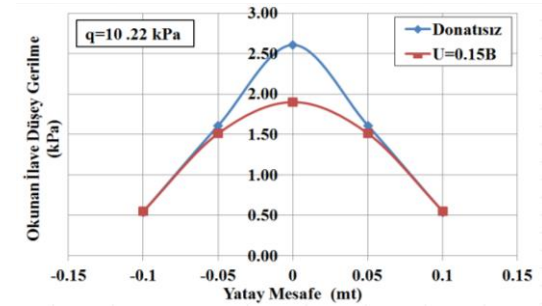
Bu çalışmada, donatı tabakası ile güçlendirilmiş bir kum tabakasında, şerit temelden dolayı oluşan, belirli derinlikte ($Z=2.0B$) meydana gelen gerilme değerleri ile güçlendirilmemiş durumda ölçülen gerilme değerleri karşılaştırılmıştır (U =geogridin temel tabanından itibaren derinliği, B =temel genişliği, Z =kum tabakası derinliği, X =temel merkezinden olan yatay mesafe).

Deney sonuçları, Şekil 2-10'da sunulmuştur.

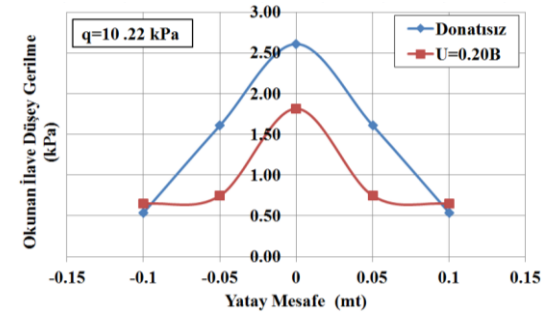
Şekil 2-8'den uygulanan ilave düşey yükten kaynaklanan, $Z=2.0B$ 'de, donatılı ve donatısız durumlardaki gerilme değerlerinin değişimleri görülmektedir. Buradan, temel tabanından farklı derinliklere ($U=0,10B$, $U=0,15B$, $U=0,20B$, $U=0,25B$, $U=0,30B$, $U=0,35B$ ve $U=0,40B$) donatı tabakası yerleştirilmesi durumunda, donatısız duruma göre temel merkezinde sırasıyla yaklaşık %10,7, %27,2, %30,4, %38,2, %51,7, %52,9 ve %53,6 oranlarında ilave gerilme azalmaları meydana gelmiştir. Aynı derinlikler için temel merkezinden yatay mesafede uzaklaştıkça da ilave gerilme değişimlerinin genel olarak benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



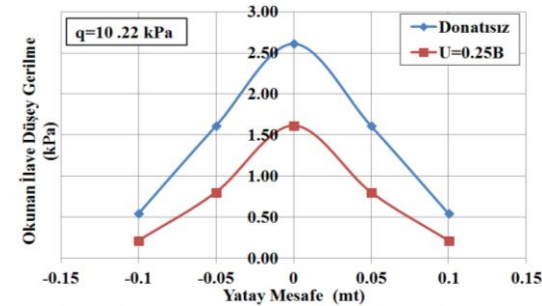
Şekil 2. $U=0,10B$ için karşılaştırma



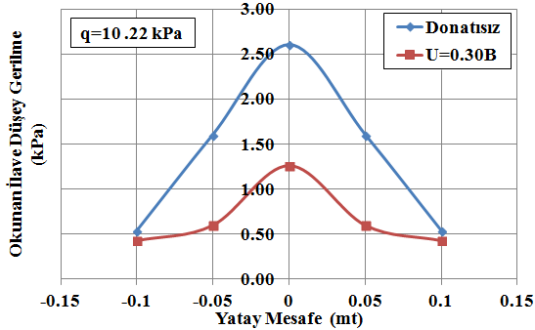
Şekil 3. $U=0,15B$ için karşılaştırma



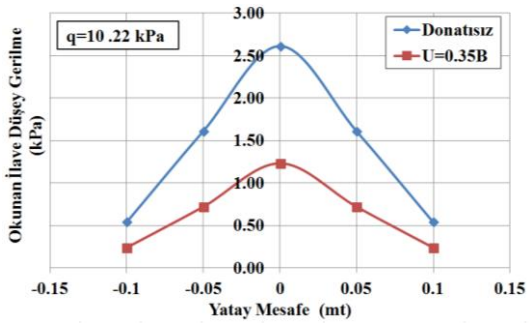
Şekil 4. $U=0,20B$ için karşılaştırma



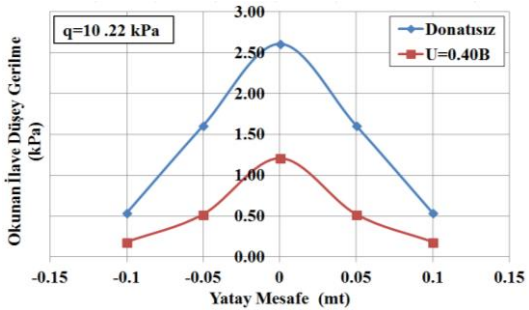
Şekil 5. $U=0,25B$ için karşılaştırma



Şekil 6. U=0,30B için karşılaştırma



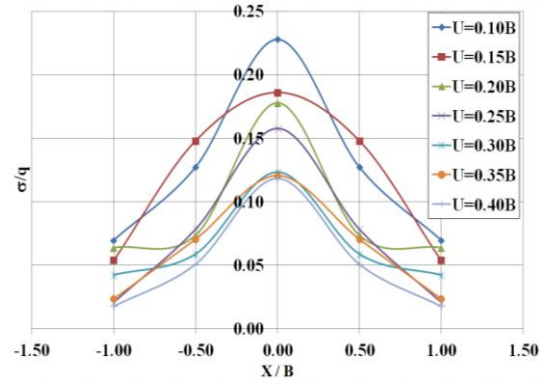
Şekil 7. U=0,35B için karşılaştırma



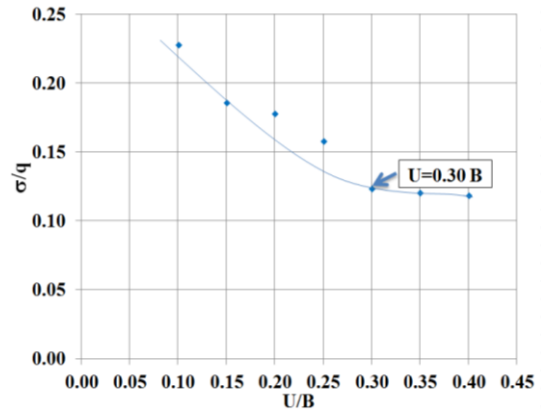
Şekil 8. U=0,40B için karşılaştırma

Şekil 9'da, farklı donatı tabakası derinliklerinde (U), σ/q değerlerine (okunan ilave düşey gerilme/uygulanan ilave düşey gerilme) karşılık X/B (X=temel merkezinden olan yatay mesafe ve B=temel genişliği) görülmektedir. Buradan, temel merkezinden itibaren donatı tabakası derinliği arttıkça, σ/q oranlarının hem temel merkezinde hem de temel merkezinden yatay mesafede uzaklaştıkça, belirli bir donatı tabakası derinliğine kadar azaldığı (U=0,30B), bu derinlikten itibaren ise bu oranlarda kayda değer bir değişme belirlenmemiştir.

Şekil 10'da, düşey eksen σ/q ve yatay eksen U/B oranlarını göstermektedir. Sonuçta, temel merkezinde U/B=0,30'a kadar σ/q oranlarında azalmalar meydana geldiği, U/B=0,30'dan daha derinde bu azalmaların sabit kaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak, ilk donatı tabakasının optimum derinliği, şerit temel genişliğinin 0,30 katı (U/B=0,30) olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Farklı donatı tabakası derinliğindeki σ/q oranlarının karşılaştırılması



Şekil 10. İlk donatı tabakasının optimum derinliğinin belirlenmesi

4.2. Farklı Temel Şekillerinin Etkisi

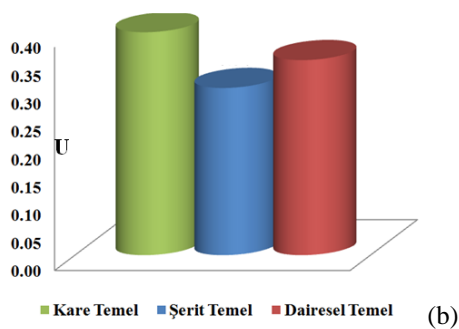
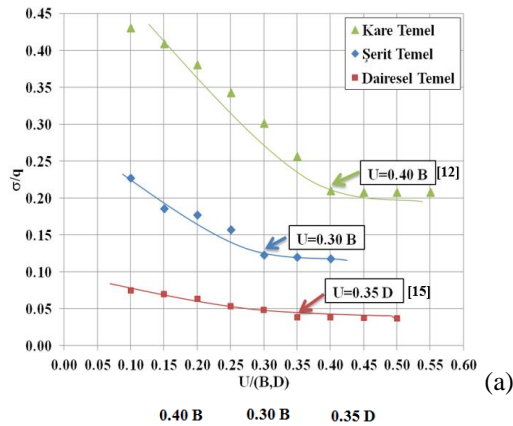
Farklı temel şekillerinin, ilk donatı tabakasının optimum derinliğine etkisini bir arada gösterebilmek amacıyla, bu çalışma, Bağrıaçık ve arkadaşları [12] ve Bağrıaçık [15] tarafından aynı

koşullarda yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılarak, sonuçlar Şekil 11’de sunulmuştur.

Şekil 11’den,

- Kare temelerde ilk donatı tabakasının optimum derinliği, kare temel genişliğinin 0,40 katı [12],
- Dairesel temelerde ilk donatı tabakasının optimum derinliği, dairesel temel çapının 0,35 katı [15],
- Şerit temelerde ise ilk donatı tabakasının optimum derinliği, şerit temel genişliğinin 0,30 katı olarak belirlenmiştir.

Sonuçta, kohezyonsuz zeminlere oturan temelerin, şekillerinin farklı olması (kare, şerit veya dairesel temel vb.) ilk donatı tabakasının optimum derinliğini kayda değer bir şekilde etkilemektedir.



Şekil 11. Farklı temel şekillerinin ilk donatı tabakasının optimum derinliğine etkisi (U=geogridin temel tabanından itibaren derinliği, B=temel genişliği, D=dairesel temel çapı)

5. SONUÇLAR

Uygulanan ilave düşey yük etkisinde, farklı derinliklere donatı tabakası yerleştirilmesi durumunda, donatısız duruma göre temel merkezinde sırasıyla yaklaşık %10,7, %27,2, %30,4, %38,2, %51,7, %52,9 ve %53,6 oranlarında ilave gerilme azalmaları meydana geldiği belirlenmiştir.

Bu oranların, aynı derinlikler için temel merkezinden yatay mesafede uzaklaştıkça da temel merkezindeki davranışa yaklaşık olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Temel merkezinden itibaren donatı tabakasının derinliği arttıkça, gerilme değerlerinin (σ/q), belirli bir donatı tabakası derinliğine kadar azaldığı (U/B=0,30), bu derinlikten itibaren ise kayda değer bir azalmanın meydana gelmediği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak ise ilk donatı tabakasının optimum derinliği, şerit temel genişliğinin 0,30 katı (U/B=0,30) olarak belirlenmiştir.

Kohezyonsuz zeminlere oturan temelerin, şekillerinin farklı olması ilk donatı tabakasının optimum derinliğini (kare temel için: 0,40B [12], şerit temel için: 0,30B ve dairesel temel için: 0,35D [15]) değiştirdiği gözlemlenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Kumbasar, V., Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 350.
2. Uzun, B.A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
3. Sağlamer, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Demir, A., 2011. Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temelerin Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

5. Terzaghi, K., 1920. Old Earth Pressure Theories and New Test Results, *Engrg. News-Rec.*, 85 (14), 632-637.
6. Donath, A.D., 1891. Untersuchungen Veber den Erddruck auf Stuetzwaende. *Zeitschrift fuer Bauwesen*, Berlin, Germany.
7. Hanna, A., Ghaly, A., 1992. Effects of K0 and Overconsolidation on Uplift Capacity. *Journal of Geotechnical Engineering*, 118 (9), 1449-1469.
8. Jaky, J., 1948. Pressure in Soils. *Proc. 2nd Conf. On Soil Mech. and Found. Engrg.*, A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1, 103-107.
9. Keskin, M.S., Laman, M. Baran, T., 2008. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi, *İMO Teknik Dergi*, No 299. 4521-4538.
10. Bağrıaçık, B., Laman M., 2011. Investigation of the Shape Effect at Different Geometries on Stress Distribution of Sandy Soils pp. 78, *International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering*, BCCCE, 19-21 May 2011, EPOKA University, Tirana, Albania.
11. Bağrıaçık, B., Laman M., 2011. Donatısız ve Donatılı Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilmelerin Değişimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, Vol:26, No:4, 787-800.
12. Bağrıaçık, B., Laman, M., Demir, A., 2012. Kare Temel Altındaki Zeminlerde Optimum Donatı Tabakası Derinliğinin Gerilme Yönünden İncelenmesi, 5. Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
13. Örnek M., Türedi Y., Dal, K., 2014. Kum Zemine Oturan Eksantrik Yüklü Şerit Temellerin Analizi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu*, 24-25 Nisan 2014, Antalya.
14. Türedi Y., Örnek M., 2015. Dikdörtgen Temel Altında Gerilme ve Taşıma Gücü Analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 30, (2) pp. 1-11.
15. Bağrıaçık, B., 2016. Dairesel Temel Altındaki Kum Zeminlerde Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 31 (1) pp. 1-11.
16. Bağrıaçık, B., 2010. Zeminlerdeki Gerilme Durumlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Çağalalı ve Bezardağı (Adıyaman) Mangan Cevherleşmesinin Jeokimyasal Özellikleri

Burcu KARATAŞ¹, Mustafa AKYILDIZ^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

İnceleme alanı Adıyaman-Çelikhan ilçesine bağlı Çağalalı ve Bezardağı çevresini kapsar ve Güneydoğu Anadolu Orojenik kuşağı içerisinde Arap platformu üzerine Üst Kretase'de bindirmiş olan Koçali Karmaşığı içerisinde bulunmaktadır. İnceleme alanında temeli, bölgeye gravite kaymalarıyla yerleşmiş olan allohton konumlu Koçali karmaşığı'na ait spilitik yastık lavlar (Tarasa formasyonu) ile radyolaritler (Konak formasyonu) oluşturmaktadır. Koçali karmaşığı'nın üzerine ise Germav formasyonu ile Gercüş formasyonu uyumsuzlukla gelmektedir. Cevherleşmeler, Koçali karmaşığı içerisinde, ofiyolitik istifin üst seviyelerini temsil eden volkanosedimanter birim içerisinde yer alan radyolaritler içerisinde düzensiz mercekler ve D-B/30K konumlu tabakalar şeklinde olup yan kayaçlarla genellikle uyumludur. Cevherleşme parajenezi olarak; pirolusit, psilomelan, hausmanit ve hollanditten oluşmuştur. Cevherleşmeler jeokimyasal olarak incelendiğinde ana oksit içerikleri (MnO: %8,98-73,64, SiO₂: %3,26-86) denizaltı hidrotermal yataklara benzemektedir. Fe/Mn oranı 0,001-0,019 aralığında değişmekte olup, oldukça düşüktür. Çağalalı ve Bezardağı Mangan cevherleşmeleri; ana oksit içerikleri, arazideki konumu ve jeokimyasal analizler sonucu hidrotermal oluşumlu olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Koçali karmaşığı, Hidrotermal köken, Mangan cevherleşmesi, Adıyaman

The Geochemical Features of Manganese Mineralization in Çağalalı and Bezardağı (Adıyaman)

Abstract

Area of examination covers the surrounding of Çağalalı and Bezardağı which are bound to Adıyaman-Çelikhan district. This location is defined as Kocali complex bestrides on Arab platform within Southeastern Anatolia orogenic belt in Upper cretaceous period. In the area of examination the foundation consists of spilitic pillow lava (Tarasa formation) and radiolaritines (Konak formation) belonging to allochthonous positioned Kocali complex which was settled in this area by gravity shift. On Koçali complex, Germav and Gercus formations take place with non-accordance. Mineralizations take place within Kocali complex in radiolarites as irregular lenses and E-W/30N located plates which are in volcano sedimentary unit representing upper layers of ophiolitic mass and are generally in accordance with lateral rocks. As mineralization paragenesis, the included materials are pirolusit, psilomelan, hausmanit and hollandit. When mineralizations were examined geochemically main oxide contents (MnO: 8.98-73.64%, SiO₂: 3.26-86%) are similar to submarine hydrothermal beds. Fe/Mn ratio varies

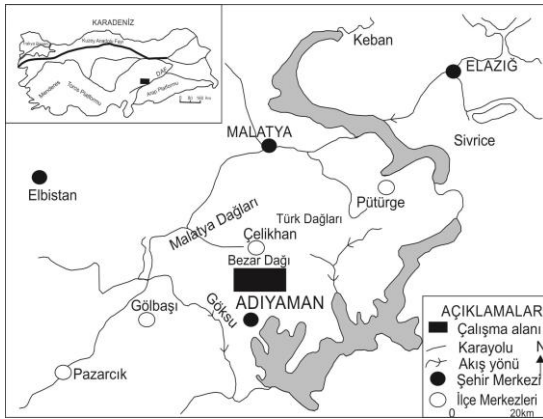
* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa AKYILDIZ, akyildizm@cu.edu.tr

between 0.001-0.019 interval and is very low. Çağalalı and Bezardağı manganite mineralizations are considered to have hydrothermal formation as a result of main oxide contents, position in terrain and geochemical analyses.

Keywords: Koçali complex, Hydrothermal origin, Manganese ores, Adıyaman

1. GİRİŞ

Çalışma alanı Adıyaman İline bağlı Koçali Köyünün kuzeyinde bulunmakta ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi Urfa M40 a2-b1 paftasında yer almaktadır (Şekil 1). Cevherleşmeler radyolaritler içerisinde düzensiz merccekler ve onlarla ardalanmalı tabakalar şeklinde bulunmaktadır. Radyolaryalı çörtlere ilişkili mangan yatakları için son yıllarda yapılan çeşitli sınıflamalar kökensel irdelemelere önemli katkılar sağlamıştır. Adıyaman Bölgesinde Koçali Karmaşığı içerisinde radyolaryalı çörtlere birlikte bulunan ve detaylı incelenmesi yapılmayan Çağalaltepe ve Bezardağı mangan cevherleşmelerinin mineralojik, jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve dünyadaki diğer mangan cevherleşmeleri ile karşılaştırılarak kökeninin ortaya konması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafik konumu

Manganez yataklarının kökeninin tespit edilmesinde majör oksit, iz element ve REE içerikleri yaygın kullanılmaktadır. Bu çalışmada majör oksit, iz element, REE davranışları ve tanımlamaları, örneklerin kondrite göre normalize edilmesi ve cevher-yan kayaç ilişkileri yorumlanarak köken tespitine gidilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Jeokimyasal analiz sırasında 8 adet cevher ve 3 adet yankayaç Çağalalı tepe, 4 adet cevher ve 3 adet yankayaç Bezardağı olmak üzere toplam 18 adet örneğinin ana, iz ve nadir toprak element içerikleri Acme Analytical Laboratories (Kanada)'da yaptırılmıştır. Nadir toprak elementleri (REE) ise ICP-MS yöntemiyle ölçülmüştür. Arazi çalışmaları sırasında cevher ve yan kayaçlardan alınan 5 adet yan kayaç örneğinin ince kesiti yapılarak birimlerin, mineralojik bileşimi ve dokusal özelliklerini saptamak amacıyla Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yer alan Olympus (BH-2) marka polarizan mikroskopta incelenmiştir. Buna ek olarak alınan cevher örneklerinden 9 adet parlak kesit Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince ve parlak kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. Parlak kesitler ve ince kesitler mineral parajenezi, mineral ilişkileri, dokusal özellikler vb. özelliklerin saptanması amacıyla üstten aydınlatmalı ve polarizan mikroskopta incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı Güneydoğu Anadolu bölgesi Urfa M40 a2 b1 paftasında yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu birliktelikleri 3 ana birliğe ayrılmıştır [1]. Bunlar güneyden kuzeye Arap platformu, Yığılım zonu ve Nap alanıdır. İnceleme alanındaki cevherleşmeler Üst Kretase'de Arap platformu üzerine gravite kaymalarıyla yerleşmiş allokton konumlu Koçali karmaşığına ait radyolaryalı çörtlere içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2). Koçali Karmaşığı, güneyde Arap platformu üzerine bindiren ve düzenli ofiyolitik istif ile temsil edilen Kızıldağ/Cilo ofiyolitlerinin tabanında melanj

niteliğinde tektono-magmatik/stratigrafik birim olarak değerlendirilmektedir [1-3]. Koçali karmaşığı inceleme alanının temelini oluşturur ve 3 formasyonla ayırt edilir [4]. Bunlar serpantin, diyorit, diyabaz ve gabrodan oluşan Kale formasyonu; Bazalt, diyabaz, spilitik bazalttan oluşan Tarasa formasyonu ve kireçtaşı, spilitik bazalt ve bazalt türü volkanitler, radyolaritler, şeyl ve kumtaşından oluşan ve manganez

cevherleşmesinde içinde bulunduğu Konak formasyonudur. Koçali Karmaşığı'nın üstüne otokton birimlerden kumtaşı ve killi kireçtaşı ara katkılı marndan oluşan Germav Formasyonu ile çakıltaşı, kumtaşı, çakıllı marn ve çakıllı kireçtaşıdan oluşan Gercüş formasyonu uyumsuzlukla gelir. Bu birimlerin üstünde nummulitli kireçtaşlarından oluşan Midyat formasyonu bulunur.

Yaş	Birimler	Litoloji	Tanımlama
Paleozoyik - Mesozoyik	Malatya Metamorfileri		Üst metamorfiter (kireçtaşı, mermer, kalkışist, fillit, klorit şist, pelitik şist) Alt metamorfiter (mikaşist, mermer, kuvarslı muskovit şist, fillit)
	Sarkız-Baizge Damar K. Pütürge Metamorfileri		Damar kayalarları (diyabaz-tonalit) Üst metamorfiter (metapelit, mikaşist, kuvarş mikaşist, amfibolit) Alt metamorfiter (mikaşist, kalkışist, mermer, metabazit, metapelit)
Üst Krtase	Şifrin Grubu Derinlik Kayaç.		Monzonit, gabro, diyorit, tonalit, siyenit, garnit, granodiyorit, monzodiyorit
Orta Eosen Maden Karm.	Çelikhan F.		Kireçtaşı
	Olistromal Maden Olg.		Kireçtaşı, spilit, diyabaz, marn, çamurtaşı şeyl, çakıltaşı, miltası
	Karadere F.		Bazalt, spilit, andezit, diyabaz
Üst Krtase	Elazığ Magm.		İntrüzif kayalar (tonalit-kuvarş diyorit) İzotrop gabrolar (gastro-diyorit-m.blok)
	Kömürhan Ofiyoliti		Mafik kümalatlar (bantlı gastro) Tektonitler (serpantin, harzburjit, dünit) ve tekil diyabaz daykları
Alt Miyosen	Çüngüş Frm.		Kömürhan Ofiyoliti ve Maden Karmaşığına ait olistolitler içeren kumtaşı, şeyl, marn ardaşımı
Alt Miyosen	Lice Frm.		Kumtaşı, şeyl, marn ardaşımı
Eosen	Midyat Frm.		Nummulitli kireçtaşı
	Gercüş Frm.		Kırmızı renkli çakıltaşı
Paleo-sen	Germav Frm.		Kumtaşı, şeyl, marn
Jura- Üst Krtase Koçali Karm.	Besni Frm.		Mikritik kireçtaşı
	Terbüzek Frm.		Çakıltaşı, kumtaşı
	Kale Frm.		Serpantin, diyabaz, gastro
	Konak Frm.		Kireçtaşı, radyolarit, kumtaşı, bazalt
	Tarasa Frm.		Bazalt, diyabaz, spilit

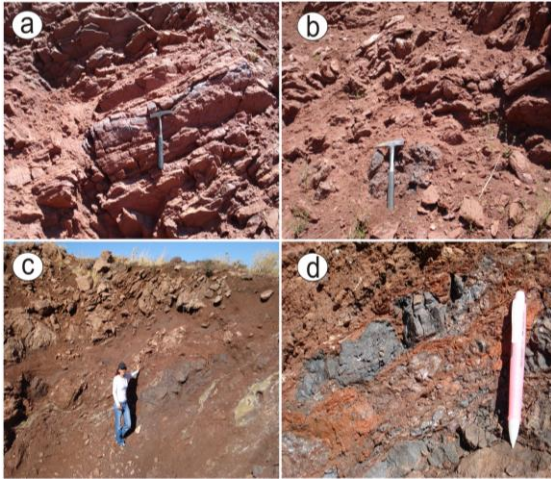
Şekil 2. Adıyaman K-KD'sunun genelleştirilmiş tektono-stratigrafik dikme kesiti [5]

3.2. Cevherleşme

Çağalalı tepe mevkiinde cevherleşmeler radyolaritler içerisinde düzensiz mercerler ve onlarla ardalanmalı tabakalar şeklinde bulunmaktadır. Cevherler yan kayalarla genellikle uyumludur.

Cevherin konumu K80°D/40°KB, yan kayacın konumu ise K80°D/45°KB şeklindedir. Cevher kırılmalı bir yapıya sahip olup metalik parlaklık göstermekte, kurşun grisi ve hafif kırmızımsı renktedir.

Bezardığı mevkiinde cevherleşmeler ise stratiform şeklinde gelişmiştir. Kalınlıkları 5 cm'den 30-40 cm kadar değişken ve 1,5-2 m uzunluğa sahip adeseler şeklindedir. Cevherin konumu K80°B/30°KD, yan kayacın konumu ise K45°B/60°KD şeklindedir. Cevherler yan kayalarla genellikle uyumludur (Şekil 3).



Şekil 3. a-Tabakaya uyumlu gelişen Mn cevherleşmesi (Çağalaltepe) b-Kırmızı renkli kireçtaşları ve radyolaritler içinde gelişmiş Mn mercerleri. c-Bezardığı stratiform Mn cevherleşmesi genel görünümü. d-Bezardığı stratiform Mn cevherleşmesi yakın görünümü

3.2.1. Çağalalı Tepe ve Bezardağı Manganez Yataklarının Jeokimyasal Özellikleri

3.2.1.1. Ana ve İz Element Jeokimyası

Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı içerisinde yer alan Koçali Karmaşığı'na ait Manganez cevherleşmelerinin Jeokimyasal özelliklerini belirleyebilmek amacıyla cevher ve yan kayalar örneklerinden ana element, iz element ve nadir toprak element analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Sonuçlara göre cevherlerin MnO oranı %8,98-%73,64 arasında değişmekte olup ortalama %33,92'dir. Aynı cevherlerin SiO₂ oranı %3,26-%86 arasında değişmekte olup ortalama %47,62'dir. Mn-oksit cevherlerinin yüksek SiO₂ içerikleri, cevherler içerisinde kuvars bulunmasına ve yan kayaların radyolarit ve radyolaritli çörtler olması örneklerin SiO₂ içeriklerini oldukça yükseltmektedir. Manganez yataklarında önemli olan özelliklerden biri Fe/Mn oranıdır.

Çeşitli tiplerdeki manganez cevherleşmeleri üzerinde yapılan araştırmalarda [6-12] cevherleşmelerin Fe/Mn oranının deniz suyundan yavaşça çökelen hidrojenetik yataklarda 1 civarında, denizaltı hidrotermal yataklarda ise <0,1 (manganezce zengin) ve >10 (demirce zengin) olduğu belirlenmiştir. Çok düşük Fe/Mn oranları denizaltı hidrotermal merkezlerde hidrotermal çözeltilerin hızlı çökelişi ile açıklanmaktadır. Koçali karmaşığı içerisinde yer alan Bezardığı ve Çağalalı tepe manganez cevher örneklerinin Fe/Mn oranları <0,1'dir (Çizelge 1). Bu değerlerin küçük olması; bunların denizaltı hidrotermal merkezlerde hidrotermal çözeltilerden kaynaklanan hızlı çökelişle oluştuğunu göstermektedir. Al ve Ti içerikleri miktar olarak hidrotermal oluşumlarda sedimenter oluşumlara göre daha azdır (Çizelge 1).

Sedimenter Fe-Mn yataklarında Al için %8,82, Ti için %0,91 ortalama değerleri bilinmektedir. Çağalalı tepe ve Bezardığı manganez cevher örneklerinde ortalama Al değeri %0,24 ve ortalama Ti değeri %0,01'dir. Bu değerler sedimenter oluşumlara göre oldukça düşüktür.

Buna göre (Şekil 4-a) $TiO_2-Al_2O_3$ ayrım diyagramına göre Mn oksit cevherlerinin diğer hidrotermal yataklarla uyumlu olduğu görülmektedir. Hidrotermal çözeltilerde Ti, Al düşük değerlerde bulunur. Bunun nedeni titanyumun genellikle hareketsiz alüminyumun ise

sedimentlerdeki detritik kil minerallerinden kaynaklanmasıdır [9]. Şekil 4-b'de görüleceği üzere cevher örneklerinin tamamı düşük Al ve yüksek Si içerikleri nedeniyle hidrotermal alan içerisinde yoğunlaşmaktadır [10].

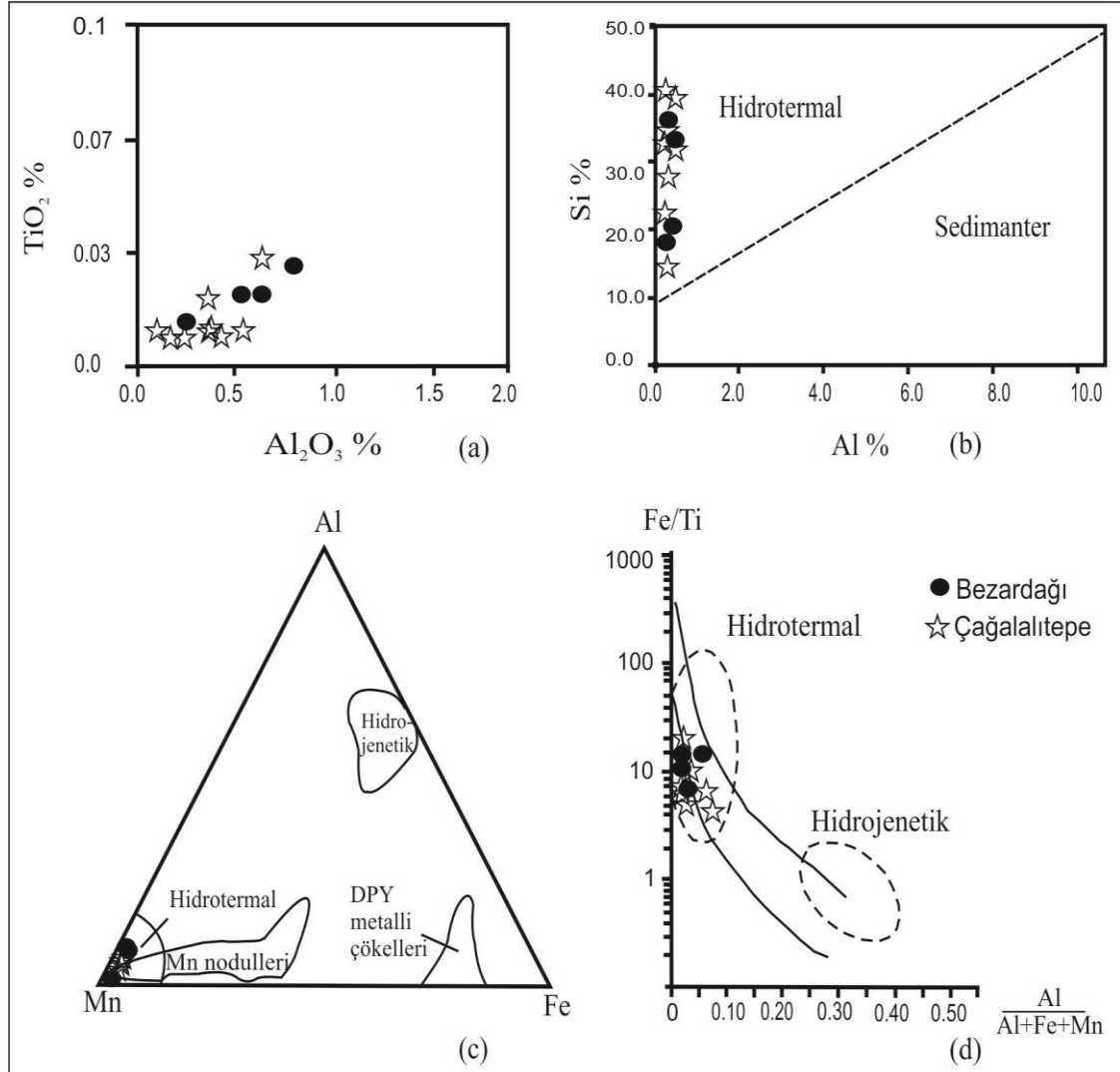
Çizelge 1. Cevher örneklerinin anaoksit içerikleri (%), (C:Cevher örneği)

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Mn	Fe	Fe/Mn
C	Ç1	59,7	0,4	0,1	0,5	16,2	0,02	0,04	0,01	0,03	8,9	0,002	13,8	6,95	0,07	0,01
C	Ç5	80,9	0,2	0,1	0,05	4	0,02	0,03	<0,01	0,02	19,3	<0,002	5,3	14,91	0,08	0,01
C	Ç6	5,67	0,7	<0,04	0,5	0,7	<0,01	0,05	<0,01	0,03	69,7	<0,002	12,7	53,95	0,07	0,001
C	Ç9	3,47	0,5	<0,04	0,2	0,52	<0,01	0,01	<0,01	0,06	73,6	<0,002	12,9	57,02	0,08	0,001
C	Ç10	3,26	0,4	<0,04	0,2	1,25	0,01	0,02	<0,01	0,05	71,5	<0,002	13,2	55,39	0,07	0,002
C	Ç14	86	0,7	0,6	0,7	0,4	0,07	0,12	0,04	0,06	17,8	<0,002	3,3	6,09	0,08	0,01
C	Ç15	19,6	0,3	<0,04	0,2	0,6	0,01	0,02	0,02	0,01	67,7	0,003	11,3	52,47	0,06	0,001
C	Ç16	77,1	0,1	<0,04	0,03	0,3	0,02	<0,01	<0,01	0,03	19,9	<0,002	2,4	15,42	0,08	0,005
C	B1	46,3	0,6	23,3	0,7	11,9	0,02	0,05	0,02	0,09	14,6	<0,002	12,2	11,34	0,07	0,01
C	B3	41,5	0,6	0,2	1	21,02	0,02	0,04	0,03	0,03	15,7	<0,002	17,8	12,18	0,08	0,01
C	B5	71,5	0,2	4,8	0,3	5,4	<0,01	0,03	<0,01	0,05	11,2	<0,002	6,2	8,71	0,07	0,01
C	B11	77,1	0,8	0,4	0,5	0,2	0,04	0,08	0,03	0,03	16,8	<0,002	3,8	13,06	0,07	0,01

Değişik ortamlardaki Mn, Fe ve Al içeriklerine göre de hidrojenetik-hidrotermal ayrımı yapılabilmektedir [11]. Cevherleşmenin yüksek Mn içeriği, düşük Fe ve Al içeriği göstermesi nedeniyle cevherleşme hidrotermal içerisinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4-c). Pelajik çökellerdeki karasal ve hidrotermal kaynaklı malzemelerin ayırt edilmesi amacıyla Boström [12] tarafından Fe/Ti - Al/Al+Fe+Mn diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4-d). Burada alttaki eğri ortalama okyanusal bazaltik malzemenin (Al:%7,95, Fe:%8,33) çeşitli oranlarda volkanik kökenli metalli çökellerle karışmasından; üstteki eğri ise aynı volkanik malzemenin ortalama kıtasal kabuk malzemesiyle (Al:%8,4, Fe:%5,2) karışmasından elde edilmiştir.

Hidrotermal yataklar eğrinin yüksek kesiminde yer alırken, hidrojenetik yataklar eğrinin aşağı kesimindedir [13]. Buna göre cevherleşmeler hidrotermal alan içerisinde bulunmaktadır. Koçali karmaşığı ile ilişkili Bezardağı ve Çağalalı Tepe manganez cevherleşmelerinin iz element içerikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Cevherleşmelerinin Ba oranı 5,79-17,586 ppm arasında ve ortalama 3,190 ppm'dir. As değeri 0,8 -89,6 ppm arasında ve ortalama 15,07 ppm; Sr değeri 19,2-348,8 ppm ve ortalama 92,62 ppm; Zn değeri 29-307 ppm arasında ve ortalama 145 ppm; Pb değeri 0,5-8,9 ppm arasında ve ortalama 4,14 ppm; Ni değeri 31-290 ppm arasında ve ortalama 117,6 ppm; Co değeri 5,1-124,90 ppm arasında ve ortalama 59,8 ppm'dir (Çizelge 2).



Şekil 4. a-) Cevher örneklerinin $TiO_2-Al_2O_3$ ayırım diyagramı [9]. b-) Cevher örneklerinin Si-Al ayırım diyagramı [10]. c-) Değişik ortamlardaki manganez yataklarının Mn, Fe ve Al içeriklerine göre karşılaştırılması [11]. d-) Pelajik çökellerdeki malzemelerin kökenlerinin karşılaştırılması [12]

Co davranışı Ni ile yakın ilişkilidir. Co/Ni ve Co/Zn oranı sedimanter çevrelerde özellikle de deniz tabanı üzerinde sıcak su sedimantasyonunu tanımlamada önemli bir kriterdir ve hidrotermal ve hidrojenetik yatakların ayırımı için kullanılır [14]. Co/Ni <1 hidrotermal kaynağı belirtirken Co/Ni > 1 olması hidrojenetik kökeni belirtir. İnceleme alanındaki cevher örneklerinin Co/Ni oranı ortalama olarak 0,8 dir. (Çizelge 2) ve Co/Ni < 1

olduğu için hidrotermal kaynağı göstermektedir. İnceleme alanındaki Mn-oksit cevher örneklerinde gözlenen Ba/Rb oranı 54,286-35,172 arasında değerler sunmaktadır (Çizelge 2) ve bu değerler nispeten yüksektir. Bu yüksek değer baritin sülfat bakımından fakir kuvvetli anoksik ortamdan sülfat içerikli dioksik koşullara doğru diagenetik hareketlenmesini yansıtabilir.

Çizelge 2. Cevher örneklerinin iz element içerikleri (%) (C:Cevher, Y:Yankayaç)

		Ba	Ga	Rb	Sr	Zr	Pb	Cu	Zn	Cu/Zn	Co	Ni	Co/Ni	U	Th	U/Th	Co/Zn	Ba/Rb
C	Ç1	1,35	12,9	0,4	64	14,8	4,8	45,8	38	1,20	58	42	1,38	0,3	0,2	1,5	1,53	3,382,5
C	Ç5	810	16,2	0,2	1920	9,3	0,6	36,1	62	0,58	5,1	37	0,14	0,7	0,2	3,5	0,08	4,05
C	Ç6	5,7	98,8	0,9	84,5	34,4	0,9	241,7	302	0,8	98,8	290	0,34	2,4	0,4	6	0,33	6,354,4
C	Ç9	4,67	125	1	79,9	61	0,5	94,1	307	0,31	41,4	206	0,2	1,5	0,3	5	0,13	5,838,7
C	Ç10	8,96	135	1	111	16,4	0,5	73,2	298	0,25	49	267	0,18	1,1	0,3	3,67	0,17	12,805,7
C	Ç14	197	22,6	1,7	70	92,6	4,5	21,3	54	0,39	80,1	60	1,01	2,4	1,7	1,41	1,48	115,88
C	Ç15	38	138	0,7	152	185,2	2	327,3	257	1,27	40,5	90	0,45	4,7	0,5	9,4	0,16	54,286
C	Ç16	433	43,3	0,1	41,1	17,5	8,8	72	29	2,48	59,2	31	1,91	6,8	0,2	34	2,04	4,33
C	B1	539	13,5	1,3	59,4	94	8,9	86,1	150	0,57	125	153	0,82	0,6	0,3	2	0,83	414,61
C	B3	17,5	26,4	0,5	349	17,8	4,7	79,7	64	1,24	119	82	1,45	0,3	0,4	0,75	1,86	35,172
C	B5	2,36	24,6	0,3	29,7	42,5	7,4	159,3	69	2,31	5,5	123	0,78	0,8	0,2	4	1,39	7,883,3
C	B11	1,33	31,6	0,9	90,1	104,3	6,1	64,2	110	0,58	36,1	31	1,16	3,1	0,6	5,17	0,33	1,476,6
Y	Ç3	192	6,7	5	95,9	8,9	15	7,1	10	0,71	1,9	20	0,1	0,1	0,7	0,14	0,19	38,4
Y	Ç17	7	7,3	1,9	87,7	5,8	1,5	3,4	4	0,85	0,7	20	0,04	0,1	0,2	0,5	0,18	3,684
Y	Ç20	7	5	1,9	86,4	4,9	1,3	3,4	4	0,85	0,7	20	0,04	0,1	0,2	0,5	0,18	3,684
Y	B7	2,73	20,9	0,3	54,2	28,8	1,8	30,3	24	1,26	16,2	23	0,7	4,2	0,2	21	0,68	9,11
Y	B8	292	15,6	1	25,6	31,5	1,9	11,3	20	0,56	33,1	20	0,66	1,6	0,5	3,2	1,66	292
Y	B9	8	23,4	2,2	107	6,7	0,5	8,4	13	0,65	6,3	20	0,32	0,2	0,4	0,5	0,48	3,636

Hidrotermal yataklar normal pelajik sedimentlerden daha fazla iz element konsantrasyonlarına (Ni, Co, Cu, Zn,..) sahipken hidrojenetik yataklara göre daha az iz element içerirler [9]. Koçali karmaşığı ile ilişkili Mn-oksit cevher örneklerinin iz element içerikleri Çizelge 3’deki diğer yatakların içerikleriyle karşılaştırıldığında hidrojenetik ve sedimanter yatakların iz element içeriğine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Mn-oksit cevher örneklerinin iz element konsantrasyonları denizaltı hidrotermal yatakların iz element içeriğine benzemektedir. Metalojenik yoruma yardımcı olması için cevher örnekleri birçok diyagrama yerleştirilmiştir. Mn-oksit yatakları (hidrotermal ve hidrojenetik) Co, Zn ve Ni gibi iz elementlerin birbirlerine göre oranlarına bağlı olarak kolaylıkla ayrılmaktadırlar. Hidrotermal yataklarda nispeten yüksek Ni ve Zn değerlerine karşılık nispeten yüksek Co değerleri de hidrojenetik yataklanmanın

göstergesidir [21]. Bu iki tip yataklanma arasındaki ilişki Şekil 5-a’da gösterilmiştir.

Eksalatif sedimanter yataklar ile manganez nodülleri Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10 diyagramı ile ayırt edilmiştir. Ni, Co, Cu gibi elementlerin yoğunlaşmaları hidrotermal yataklarda hidrojenetik yataklara göre oldukça düşüktür [6].

Bu değerlerin düşük olması sebebiyle cevher örnekleri hidrotermal alan içerisine düşmektedir (Şekil 5-b).

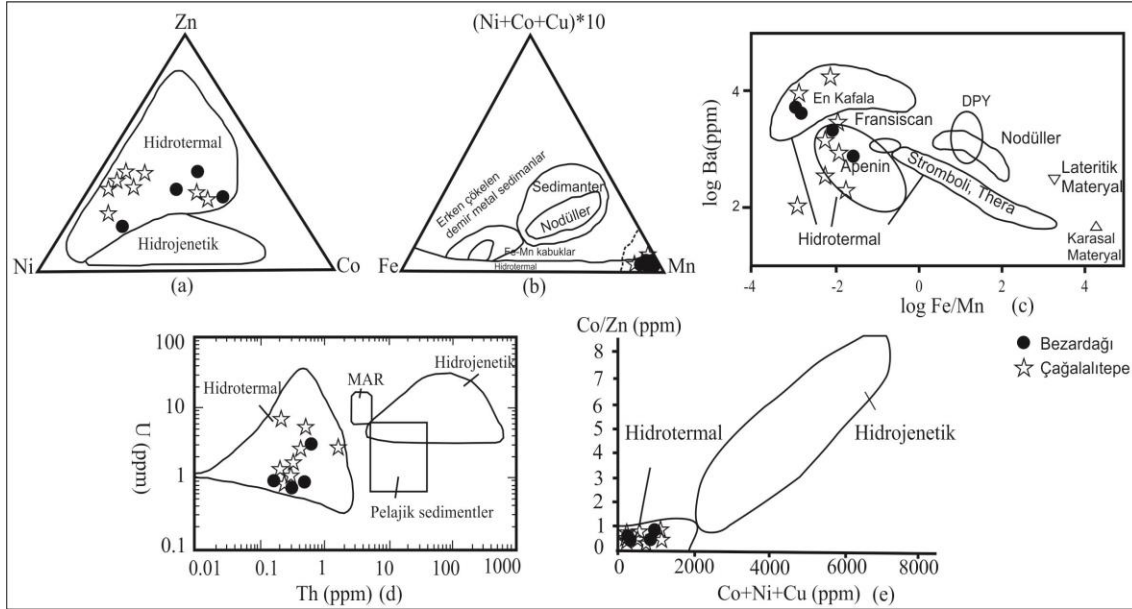
Cevherlerin ortalama Ba içerikleri (3595 ppm) normal deniz suyuna (2013 ppm) [12] göre yüksektir. Çeşitli tiplerdeki manganez yataklarında Fe/Mn’ye karşılık Ba dağılımları (Şekil 5-c) görülmektedir. Diyagram üzerine yerleştirilen Koçali karmaşığı ile ilişkili cevherlerin diğer hidrotermal yataklar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Farklı oluşumlara sahip Mn-Fe yataklarının ana ve iz element içerikleri [15-20]

Ulukent Sedimanter [16]	Hazara Hidrotermal-Hidrojenetik [17]	Binkılıç Sedimanter-Diyajenetik [18]	Baby Bare Hidrotermal [19]	Çayırılı Hidrotermal [20]	Çağalalı Tepe ve Bezardağı (Bu Çalışma)
13,68	9,41	10,65	2,02	63,02	50,6
0,1	0,84	0,02	0,04	0,03	0,02
2,49	12,53	0,28	0,27	0,65	0,45
3,72	20,33	2,46	2,3	0,68	0,98
63,78	33,78	33,39	48,52	29,22	32,08
1,99	0,59	1,27	1,58	0,2	0,39
4,05	6,43	18,96	0,97	0,24	4,83
0,24	0,07	0,39	0,64	0,05	0,02
0,05	0,88	0,56	0,22	0,11	0,04
0,18	0,73	0,31	0,04	0,04	0,04
427	6304	6892	7091,6	1229,4	3595
-	573	106	172,33	143,7	93,92
-	247	26	8,89	13,7	63,4
13	404	56	135,33	25,21	107,3
10	305	167	300,67	69,4	102,39
56	375	26	226	154,9	132,76
70	580	49	123,22	66,7	3,96
65	23,57	-	-	60,5	0,41
-	31	-	1	0,4	0,77
-	24	-	14,22	2,9	92,62
185	-	2100	877,44	243,4	6,63
-	-	15	10	33	11,69
-	-	11,1	1,5	0,7	35,27
-	-	32	9,22	4	15,07

Hidrotermal, hidrojenetik ve normal pelajik sedimantleri birbirinden ayırmak amacıyla U/Th oranları kullanılabilir. Hidrotermal yataklar için <10.2 U/Th değeri karakteristiktir. Bu değerler hidrojenetik yataklarda çok daha fazladır [22-23]. U-Th ayırım diyagramında cevher örnekleri hidrotermal alan içerisine düşmektedir (Şekil 5-d). Denizel ortamda sülfürlü bir cevherin oksidasyonu

ile oluşmuş yatakları (duphidleri) diğer manganez yataklarından ayırmak için kullanılan Pb-Zn ayırım diyagramında tüm cevher örnekleri denizel alanda yer almıştır [21]. Yine hidrotermal ve hidrojenetik yatakları birbirinden ayırmak için Co/Zn-Co+Ni+Cu diyagramı kullanılmaktadır (Şekil 5-e). Bu diyagramda örnekler hidrotermal alan içerisinde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 5. a-) Örneklerin Zn-Ni-Co ayırım diyagramı [21]. b-) Cevher örneklerinin Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10 ayırım diyagramı [6]. c-) Çeşitli tiplerdeki manganez yataklarında Fe/Mn'ye karşılık Ba dağılımları [12]. d-) Cevher örneklerine ait U-Th diyagramı [22-23]. e-) Örneklerin Co/Zn-Co+Ni+Cu ayırım diyagramı [21]

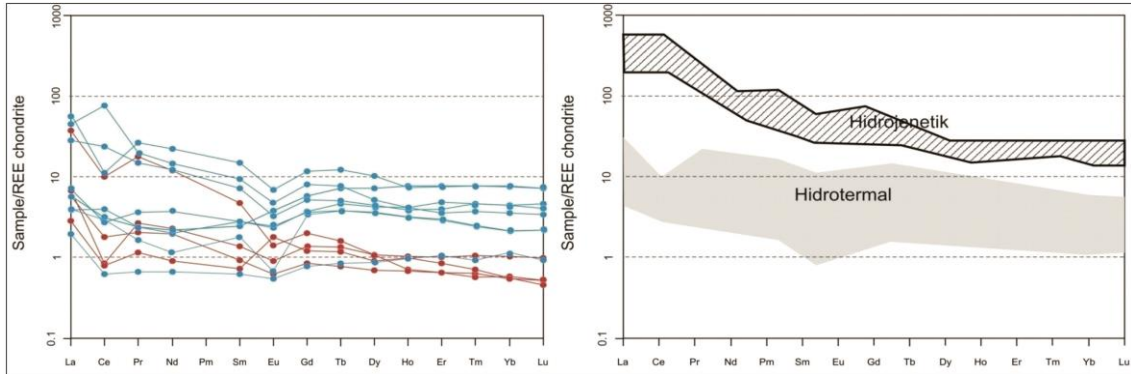
3.2.1.2. Nadir Toprak Element Jeokimyası

Bezardağı ve Çağalalı Tepe Manganez cevher ve yan kayaçlarına ait NTE verileri Çizelge 4'te verilmiştir. Hesaplamalarda değerler kondrit'e göre [24] normalize edilmiş ve grafiksel olarak Şekil 6'de sunulmuştur. Ayrıca karşılaştırmalarda kullanılmak üzere dünyanın çeşitli bölgelerindeki Mn-cevher ve kabuk oluşumuna ait veriler de Çizelge 5'de sunulmuştur. İnceleme alanındaki Mn-cevher örneklerinin toplam Nadir Toprak Element (Σ NTE) içerikleri 5,85–94,98 arasında değişmekte olup ortalama 34,67 dir. Bu değerler Çizelge 5'deki verilerle karşılaştırıldığında hidrojenetik ve erken diyajenetik yataklardaki değerlere göre oldukça düşük, hidrojenetik ve erken diyajenetik yataklarda bu değerler birkaç bin ppm dir [25-26]. Bu cevherlerin yan kayaçları için de durum aynıdır. Gerek cevher gerekse yan kayaç örneklerinin çok düşük Σ NTE içerikleri bir düşük sıcaklık hidrotermal kökeni belirtirken bir hidrojenetik kökeni ifade etmez [27]. Eu birçok hidrotermal oluşum içerisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan bir elementtir. Eu/Sm

oranı bu elementin hidrotermal etkinin bir göstergesi olarak oynadığı rolü ifade etmek için kullanılmaktadır [28]. İnceleme alanındaki cevher örneklerinde Eu/Sm değerleri 0,14-1,23 arasında değişmekte olup ortalama 0,43'tür (Çizelge 4). Nehir ve sığ sular için Eu/Sm: 0,21 ve deniz suyu için bu değer 0,25'tir. Hidrojenetik, hidrojenetik-diyajenetik ve diyajenetik kökenli Mn-Fe nodüllerinde Eu/Sm değerleri 0,23-0,26'dan daha yüksek değildir. İnceleme alanındaki cevher örneklerinin Eu/Sm oranı yüksektir ve bu da örneklerin hidrotermal çıkışlarla desteklenmiş olduğunu ifade etmektedir. Kondrit-normalize NTE diyagramı üzerinde görüleceği üzere Koçali karmaşığı ile ilişkili Bezardağı ve Çağalalı Tepe Manganez cevher örnekleri negatif Eu anomalisi göstermektedir (Şekil 6). İnceleme alanındaki cevher örneklerinde gözlenen negatif Eu anomalisi cevherlerin çökelmiş olduğu çözeltinin sıcaklığının 250°C'nin üzerine çıkmadığını göstermektedir. Pozitif Eu anomalisi ise daha yüksek sıcaklıkları ifade eder çünkü yüksek sıcaklık hidrotermal sıvılar pozitif Eu anomalileri ile karakterize edilmektedirler [27]. Eu anomalileri Eu : Eu

$\text{norm.}/(2/3\text{Sm}_{\text{norm.}}+1/3\text{Gd}_{\text{norm.}})$ formülü ile hesaplanmıştır. Eu^* değerleri 0,29-1,71 arasında değişmekte olup ortalama 0,74'tür ve bu değerler deniz suyundakine göre yüksek olup hidrotermal çözeltilerle benzerdir. Eu/Eu^* : $\text{Eu}_{\text{norm.}}/(\text{Sm}_{\text{norm.}}+\text{Gd}_{\text{norm.}})/2$ [29]. formülü ile hesaplanmıştır. Bu değerler 0,26-1,60 arasında olup ortalama 0,76'dır. Yan kayaçlarda ise Eu/Eu^* değerleri 0,52-0,69 arasında olup ortalama 0,56'dır. Bu değerler bize cevher ve yan kayaçların oluşumundaki hidrotermal katkıyı ifade eder. Koçali karmaşığı ile ilişkili Bezardağı ve Çağalalı Tepe manganez cevher örneklerinde Ce^* : $\text{Ce}_{\text{norm.}}/(\text{Ce}_{\text{norm.}}+1/3\text{Pr}_{\text{norm.}})$ formülü ile hesaplanmıştır. Ce^* değerleri 0,2-2,11 arasında ve ortalama 0,71'dir (Çizelge 4). Bu düşük değerler cevherleşmenin düşük bir redoks potansiyeli altında, iyi oksijenlenmemiş ve durgun bir su kütlesinden ileri gelen bir birikim olduğunu yansıtmaktadır. $\text{Ce}_{\text{anom.}}:\log(3x\text{Ce}_{\text{norm.}}/(2x\text{La}_{\text{norm.}}+\text{Nd}_{\text{norm.}}))$ formülü ile hesaplanmıştır. $\text{Ce}_{\text{anom.}}>-0,1$ olması hidrojenetik yatakları $\text{Ce}_{\text{anom.}}<-0,1$ olması ise hidrotermal yatakları belirtmektedir. Kondrit-normalize NTE diyagramları üzerinde görüleceği üzere Koçali karmaşığı ile ilişkili cevher

örneklerinde Ce negatif anomali göstermektedir (Şekil 6). Ce'un pozitif anomali göstermesi Hidrojenetik yataklarda karakteristik bir özellikken Hidrotermal yataklar negatif Ce anomali ile karakterize edilirler. Kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramı üzerinde cevher örnekleri hidrotermal sınırlar içerisinde yer almaktadır (Şekil 6). Cevherleşmenin oluşum ortamını belirleme de nadir toprak element oranlarının kullanılması oldukça faydalıdır. Bunlardan bazıları $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$, Ce/La ve Y/Ho değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur. İlk olarak $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$ oranı Manganez oksidasyon süreçleri sırasındaki ilk zenginleşmeyi gösterir ve $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$ pozitif korelasyonu cevher oluşum sırasında aynı mekanizma da REE alımından sorumludur. LREE'ler volkanoklastiklerden sağlanırken HREE'ler deniz suyundaki çökeltimle oluşan MnO_2 'den sağlanır. İnceleme alanındaki cevher örneklerinde $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$ oranı 1,30-12,19 arasında değişmekte olup ortalama 4,84'tür. LREE>HREE olması cevherleşmenin hidrotermal çözeltilerle oluştuğunu göstermektedir. Cevher örneklerinde $\text{La}_{\text{norm.}}/\text{Nd}_{\text{norm.}}$ oranı 2,08-4,25 arasında değişmekte olup ortalama 2,79'dur.



Şekil 6. Manganez cevher örneklerinin kondrite göre normalize spider diyagramı ve spider diyagramı üzerinde hidrotermal ve hidrojenetik yataklarda gözlenen paternler [24]

$\text{Dy}_{\text{norm.}}/\text{Yb}_{\text{norm.}}$ oranı ise 0,70-1,67 arasında değişmekte olup ortalama 1,19'dur. Bu değerler hidrotermal çözeltilerde sırasıyla 3,0-7,4 (ortalama 4,5) ve 0,6-2,1 (ortalama 1,2)'dir ve karşılaştırıldığında inceleme alanındaki Manganez cevherleşmelerinin kaynağının hidrotermal olduğunu göstermektedir. Ce/La oranı ortalama olarak 1,48'dir. Cevherleşmeye

karbonatların eşlik etmesi ve terrijen maddelerin artması durumunda bu oran yükselmektedir (Çizelge 4). Cevherleşmede bu oran normal değerlerdedir ve dışarıdan bir terrijen madde karışımının olmadığını gösterir. Y/Ho oranının yüksek olması kaynağın birden fazla olduğunu veya ortama terrijen maddelerin karıştığını gösterir.

Çizelge 4. Cevher örneklerinin nadir toprak element sonuçları (ppm)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	Eu/Sm	Ce*	Eu*	LREE/HREE	Ce anom	LAN/NdN	Eu/La	Ce/YbN	DYN/	Y/
Ç1	2,2	2,2	0,4	2,2	0,5	0,2	0,9	0,2	1,2	0,2	0,6	0,1	0,5	0,1	6,3	11,5	0,3	0,5	0,8	2,1	-0,3	2,9	0,8	1,0	1,7	27,4
Ç5	0,6	0,5	0,1	0,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	1,9	5,9	0,3	0,4	0,8	1,6	-0,4	2,9	0,8	0,8	0,8	27,1
Ç6	1,2	3,2	0,3	1,2	0,5	0,2	1,0	0,2	1,4	0,3	1,0	0,2	0,9	0,2	5,2	11,7	0,3	1,2	0,8	1,3	0,1	2,9	0,7	2,7	0,9	17,3
Ç9	1,2	2,4	0,2	0,7	0,4	0,1	0,9	0,2	1,3	0,3	1,0	0,2	1,2	0,2	5,6	10,1	0,1	1,0	0,3	1,9	0,0	3,3	0,3	2,0	0,7	18,7
Ç10	1,8	2,5	0,3	1,3	0,5	0,3	1,5	0,3	2,3	0,6	1,6	0,3	1,6	0,2	8,6	15,0	0,6	0,7	1,1	2,8	-0,2	2,7	0,9	1,4	1,0	15,6
Ç14	8,8	18,9	1,8	7,3	1,4	0,2	1,3	0,2	1,4	0,3	0,8	0,2	0,9	0,1	6,0	43,8	0,8	1,0	0,5	3,3	-0,7	1,9	0,7	0,5	1,5	35,6
Ç15	13,8	61,8	2,4	8,7	1,8	0,4	2,1	0,4	1,7	0,3	0,7	0,1	0,7	0,1	5,1	95,0	0,2	2,1	0,5	2,8	-0,8	3,7	0,7	0,3	1,5	33,6
Ç16	18,6	9,0	3,2	13,3	2,9	0,5	3,0	0,6	3,3	0,5	1,6	0,3	1,6	0,2	7,3	58,6	0,2	0,2	0,5	3,5	-0,7	2,1	0,7	0,5	1,6	37,0
B1	7,4	4,0	1,4	6,3	1,4	0,4	1,9	0,3	1,9	0,4	1,2	0,2	1,2	0,2	11,7	28,1	0,7	0,3	0,7	2,9	-0,6	2,3	0,7	0,5	1,0	28,5
B3	3,8	3,8	0,8	3,1	0,9	0,6	1,7	0,3	1,7	0,4	1,0	0,1	0,8	0,1	9,8	19,1	1,2	0,5	1,7	2,1	-0,3	2,4	1,6	1,0	1,4	24,5
B5	6,5	7,0	1,2	5,6	1,0	0,3	1,3	0,2	1,4	0,3	0,9	0,1	0,8	0,1	8,0	26,6	0,3	0,5	0,8	4,3	-0,3	4,3	0,8	1,1	1,1	26,7
B11	26,6	25,6	5,9	21,7	3,5	0,5	2,5	0,4	1,9	0,3	0,9	0,1	0,7	0,1	5,9	90,8	0,2	0,4	0,5	5,8	-0,5	2,1	0,6	0,7	1,4	12,6
Ç3	29,5	10,0	7,3	33,7	7,8	2,0	9,8	1,6	8,9	1,7	4,7	0,7	3,9	0,6	58,4	122,2	0,3	0,2	0,7	12,2	-0,3	2,4	0,5	1,0	1,7	19,0
Ç17	11,4	5,2	2,5	11,4	2,4	0,6	3,2	0,5	2,8	0,6	1,5	0,2	1,2	0,2	20,3	43,7	0,3	0,2	0,7	7,2	0,1	2,3	0,5	2,1	1,0	21,4
Ç20	9,7	4,6	2,3	9,0	2,1	0,6	2,6	0,4	2,3	0,5	1,2	0,2	0,9	0,1	17,0	36,3	0,3	0,2	0,7	14,5	0,3	3,1	0,6	4,5	1,5	17,0
B7	14,7	10,5	3,2	13,7	2,7	0,5	2,3	0,4	2,3	0,4	1,0	0,2	1,1	0,2	4,8	53,0	0,2	0,3	0,5	4,3	-0,6	2,7	0,5	0,5	1,3	13,8
B8	2,5	6,9	0,5	1,9	0,5	0,1	0,5	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	3,0	14,5	0,2	1,3	0,6	3,3	-0,7	1,7	0,7	0,5	1,6	34,9
B9	10,5	4,8	2,5	11,7	2,6	0,7	3,2	0,5	2,9	0,6	1,4	0,2	1,2	0,2	19,2	42,7	0,3	0,2	0,7	6,0	0,1	2,6	0,6	2,8	1,0	23,1
Min	0,6	0,5	0,1	0,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	1,9	5,9	0,1	0,2	0,3	1,3	-0,6	2,1	0,3	0,5	0,7	12,6
Max	26,6	61,8	5,9	21,7	3,5	0,6	3,0	0,6	3,3	0,6	1,6	0,3	1,6	0,2	11,7	95,0	1,2	2,1	1,7	12,2	0,1	4,3	1,6	4,5	1,7	27,1
Ort	7,7	11,7	1,5	6,0	1,2	0,3	1,5	0,3	1,6	0,3	1,0	0,1	0,9	0,1	6,8	34,7	0,4	0,7	0,7	4,8	-0,2	2,8	0,8	1,1	2,2	20,7

(LREE/HREE: (La+Ce+Pr+Nd+Sm+Eu)/(Gd+Tb+Dy+Ho+Er+Tm+Yb+Lu); Ceanom.log (3xCenorm./(2xLanorm.+Ndnorm.));Ce*:Cenorm./(2/3Lanorm.+1/3Prnorm.);Eu*:Eunorm./(2/3Smnorm.+1/3Gdnorm.);ΣREE:La+Ce+Pr+Nd+Sm+Eu+Gd+Tb+Dy+Ho+Er+Tm+Yb+Lu); Ç: Çağalitepe,B: Bezardağı

Çizelge 5. Farklı oluşumlara sahip Mn-Fe yataklarının NTE içerikleri [23,28,29,30-36]

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Wafangzi Ferro-Mn Yatağı [30]	20	39	4,6	19	4,2	0,74	4,1	0,7	3,9	0,8	2	0,3	1,6	0,2	28
Ortalama Kıtasal Kabuk [31]	19	38	4,9	19	4,6	1	4,2	0,7	3,3	-	2	-	1,6	-	20
Ortalama Okyanusal Kabuk [31]	16	28	4,7	21	5,3	1,4	5,9	0,9	4,9	-	3,1	-	2,7	-	29
DPY Hidrotermal Çökelleri [32]	0,9	1,2	0,2	0,77	0,2	0,33	0,2	-	0,19	-	0,1	-	0,09	-	-
Doğu Pasifik Sıvı Yükselimi [32]	108	165	21	72,3	14	157	16,2	-	10,6	-	4,8	-	3,7	-	-
TAG demirli mn kabuklar [29]	5,6	5,5	1,7	7,63	1,6	0,39	1,7	0,3	1,53	0,3	0,8	0,1	0,6	0,1	-
TAG Hidrotermal Zon [29]	0,9	1,1	0,2	0,74	0,2	0,06	0,3	0,1	0,39	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	-
TAG Hidrojenetik [29]	270	985	67	268	589	14	63,9	9,8	52,4	10	25	3,6	22	3,4	-
Atlantik Okyanusundaki Mn-Fe Oksihidroksitler [28]	100	850	-	82	17	5	-	4	-	-	-	-	15	2	-
GB Pasifik La Basenindeki Hidrotermal Sedimentler [33]	18	893	3,1	14,3	3	0,91	4,1	-	4,61	1,1	3,4	-	3,2	0,5	-
Eymir (Yozgat) Mn Yatakları [34]	6,2	15	1,4	5,94	1,2	0,28	1,3	0,2	1,22	0,3	0,8	0,1	0,7	0,1	8,5
Pasifik Okyanusunda Deniz Ferromangan Oksitler [35]	155	606	24	101	19	5	28,1	4,2	25,2	6,1	19	2,8	18,1	-	-
DPY Hidrotermal Parçacıklar [36]	1,3	1,2	0,3	1,3	0,3	0,07	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0	0,2	0	-
Koçali Kompleksindeki Mn-Oksit Cevherleri [23]	6,3	12	1,1	4,5	1,1	0,16	1,1	0,2	1,3	0,3	0,8	0,1	1,1	0,2	7,9
Maden Mn-Fe cevherleşmeler [23]	131	27	23	96,5	19	5,05	21,7	35	20,8	4,3	12	1,7	10,3	1,4	1,3
(Bu çalışma)	8,2	12	1,6	6,57	1,4	0,31	1,6	0,3	1,68	0,3	1	0,2	0,9	0,1	6,6

Bezardağı ve Çağalalı Tepe Manganez cevherlerinin Y/Ho oranı 12,63-27,14 arasında değişmekte olup ortalama 20,74'tür (Çizelge 4). Bu değerler normaldir ve cevher oluşumuna terrijen madde karışımının olmadığını göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Cevherleşme, Güney Doğu Anadolu Orojenik Kuşağı içerisindeki Üst Kretase yaşlı Koçalı karmaşığının üst seviyelerinde bulunan radyolaritler ve kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunmaktadır. Cevher mineralleri; pirolusit, psilomelan, manganit, hausmanit ve hollandittir. Hollandit varlığı cevherin düşük sıcaklık koşullarında, deniz altında ve hidrotermal katkılarla oluştuğunu gösterir. Cevherleşmenin kimyasal bileşimi incelendiğinde Fe/Mn <0,1 olduğundan deniz altı hidrotermal çıkışları yakınında hidrotermal eriyiklerden hızla çökelmiş yataklara benzediği belirlenmiştir

Ni, Co ve Cu gibi elementlerin yoğunlaşmaları da güncel hidrojenetik Mn yatakları karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Düşük sıcaklıklarda mobilize olmayan Al ve Ti hidrojenetik kökeni ifade ederken cevherleşme içerisinde hareketsiz ve eser miktarda olup yine hidrotermal kökeni desteklemektedir. Ce anomalisi $Ce_{anom.} : \log (3x Ce_{norm.} / (2x La_{norm.} + Nd_{norm.}))$ formülü ile hesaplanmıştır. $Ce_{anom.} > -0,1$ olması hidrojenetik yatakları $Ce_{anom.} < -0,1$ olması ise hidrotermal yatakları belirtmektedir. İnceleme alanındaki cevherleşmelerde ise Ce anomalisi ortalama olarak -0,23'tür. $Eu^* : Eu_{norm.} / (2/3 Sm_{norm.} + 1/3 Gd_{norm.})$ formülü ile hesaplanmış ve sonuçta Eu^* değerleri ortalama 0,74 olarak belirlenmiştir. Bu değerler deniz suyundakine göre yüksek olup hidrotermal çözeltilerle benzerdir. Ayrıca Ce negatif anomali göstermesi hidrotermal yataklarda karakteristiktir. Çağalalıtepe ve Bezardağı manganez cevherleşmelerinin majör oksit, iz element ve Nadir toprak elementleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve cevherleşmenin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak hidrotermal oluşumlu olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Yılmaz, Y., 1993. New Evidence and Model on the Evolution of the Southeast Anatolian Orogen. Geol. Soc. Of Amer. Bull., 105, 251-271.
2. MTA, 2010. Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
3. Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., 1993. Ophiolitic and Metamorphic Assemblages of Southeast Anatolia and their Significance in the Geological Evolution of the Orogenic Belt. Tectonics, 12:1280-1297.
4. Sungurlu, O., 1974. VI. Bölge Kuzey Sahalarının Jeolojisi. Türkiye İkinci Petrol Kongresi, Tebliğler, 85-107.
5. Yıldırım, E., 2010. Petrography and Petrology of Outcrop Igneous Rocks at Celikhan Between Sincik Area, Ph.D. Thesis, Fırat Univ., Science Inst.
6. Bonatti, E., Kraemer, T., Rydell, H., 1972. Classification and Genesis of Submarine Iron Manganese Deposits. In: D.R.Horn (eds), Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor, Washington, Natl. Sci. Foundation, 149-166.
7. Bonatti, E., Zerbi, M., Kay, R., Rydell, H.S., 1976. Metalliferous Deposits Aphenine Ophiolites. Geol. Soc. America Bull., 87, 83-94.
8. Rona, P.A., 1978. Criteria for Recognition of Hydrothermal Mineral Deposits in Oceanic Crust. Econ. Geol., 73, 135-160.
9. Crerar, D.A., Namson, J., Chyi, M.S., Williams, L., Feigenson, M.D., 1982. Manganiferous Cherts of the Franciscan Assemblage. I. General Geology, Ancient and Modern Analogues and Implications for Hydrothermal Convection at Oceanic Spreading Centers. Econ. Geol., 540.
10. Peters, T., 1988. Geochemistry of Manganese-Bearing Cherts Associated with Alpine-Ophiolites and the Hawasina Formations in Oman. Marine Geology, 84: 229.
11. Panagos, A.G., Varnavas, S.P., 1984. On the Genesis of Some Manganese Deposits from Eastern Greece. In: A. Wauschkuhn (eds.), Syngeneses and Epigenesis in the formation of Mineral Deposits, Springer-Verlag, 552-561.

12. Boström, K., 1970. Submarine Volcanism as a Source of Iron. *Earth Planet. Sci. Letters*, 9, 348-354.
13. Guillemot, D. and Nesteroff, W.D., 1980. Les Depots Metalliferes de Chypre: Comparaison, Avec Leur Homologues Actuels du Pacifique: Panayiotou, A., ed., *Ophiolites da., Proc. Inter. Ophiolite Symp. Cyprus*, 1979, 139-146.
14. Toth, J., 1980. Deposition of Submarine Crusts Rich in Manganese and Iron. *Geol. Soc. America Bull.*, 91, 44-54.
15. Jiancheng, X., Yang, J., Xu, W., 2006. Geochemical Characteristics of Sedimentary Mangnese Deposit of Guichi, Anhui Province, China. *Journal of Rare Earths*, 24, 374.
16. Kuşcu, M., Gedikoğlu, A., 1989. Geochemical Characteristics of the Ulukent (Tavas-Denizli) Manganese Deposits, *Geologist of Sound*, vol. 17, 29-47.
17. Shah, M.T., Moon, C.J., 2007. Manganese and Ferromanganese Ores from Different Tectonic Settings in the NW Himalayas, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29 - 455.
18. Öztürk, H., Frakes, L.A., 1995. Sedimentation and Diagenesis of an Oligocene Manganese Deposit in a Shallow Subbasin of the Paratethys, Thrace basin, Turkey. *Ore Geol. Rev.* 10, 117-132.
19. Fitzgerald, C.E., Gillis, K.M., 2006. Hydrothermal Manganese Oxide Deposits from Baby Bare Seamount in the Northeast Pasific Ocean. *Marine Geology*, 225, 145.
20. Öygür, V., 1990. The Views on Geology, Deposition and Genesis of Manganese Deposit in Cayırlı (Ankara-Haymana) *Bulletin of MTA*, 110, 29-43.
21. Choi, J.H., Hariya, Y., 1992. Geochemistry and Depositional Environment of Mn Oxide Deposits in the Tokoro Belt, Northeastern Hokkaido. *Japan. Econ. Geol.*, 87, 1265-1274.
22. Adachi, M., Yamamoto, K., Sugisaki, R., 1986. Hydrothermal Chert and Associated Siliceous Rocks from the Northern Pasific: Their Geological Significance as Indication of Ocean Ridge Activity. *Sed. Geol.*, 47, 125-148.
23. Türkyılmaz, B., 2004. Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağındaki Mangan Yataklarının Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi., Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 160.
24. Evensen, M.N., Hamilton, P., O’Nions, R.K., 1978. Rare-Earth Abundances in Chondritic Meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1978,42: 1199.
25. Glasby, G.P., Gwozdz, R., Kunzendorf, H., Friedrich, G., Thijssen, T., 1987. The Distribution of Rare Earth and Minor Elements in Manganese Nodules and Sediments from the Equatorial and S.W. Pacific. *Lithos*, 97-113.
26. De Carlo, E.H., McMurtry, G.M., 1992. Rare Earthelement Geochemistry of Ferromanganese Crusts from the Hawaiian Archipelago, Central Pasific, *Chemical Geology*, 95, 235-250.
27. Usui, A., Someya, M., 1997. Distribution and Composition of Marin Hydrogenetic and Hydrothermal Manganese Deposits in the North-West Pasific. in:.
28. Varentsov, I.M., 1993. Distribution of Rare Earth Elements in Mn-Fe Oxyhydroxide Crusts from Bezymiannaya Seamount, Atlantic: Geochemical History of Deposition, *Chemical Erde*, 53, 133-157.
29. Mills, R.A., Wells, D.M., Roberts, S., 2001. Genesis of Ferromanganese Crusts from the TAG Hydrothermal Field, *Chemical Geology*, 176, 283-293.
30. Fan, D., Ye, J., 1974. Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Middle Proterozoic Wafangzi Ferromanganese Deposits, Liaoning Province, Chine, *Ore Geology Review*, 15,31-35.
31. Ronov, A.B., Balashov, Y.A., Girin, Y.P., Bratishev, R.K., Kazakov, G.A., 1974. Regularities of Rare Earth Element Distribution in the Sedimentary Shell and in the Crust of the Earth, *Sedimentology*, 21: 171-193.
32. German, C.R., Hergt, J., Palmer, M.R., Edmond, J.M., 1999. Geochemistry of a Hydrothermal Sediment Core from the OSB Vent-Field, East Pasific Rise, *Chemical Geology*, 155, 65-75.
33. Cronan, D.S., Hodkinson, R.A., 1997. Geochemistry of hydrothermal Sediments from ODP Sites 834 and 835 in the Lau Basin,

- Southwest Pasific, Marine Geology, 141, 237-268.
34. Öksüz, N., 2010. Geochemical Characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) Manganese Deposits, Turkey. *Journal of Rare Earths*, 2010, Vol. 29, pp.1.
35. Wen, X., De Carlo, E.H.D., LI, Y.H., 1997. Interelement Relationships in Ferromanganese Crust Genesis, *Marine Geology*, 136, 227-297.
36. Sherrel, R.M., Field M.P., and Ravizza, G., 1998. Uptake and Fractionation of Rare Earth Element on Hydrothermal Plume Particles at 9° 45'N, East Pasific Rise, *Geochim. Cosmochim Acta*, 63, 1709-1722.

Geçirimli Betonların Basınç Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Ahmet AKKAYA^{*1}, İsmail Hakkı ÇAĞATAY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Tükenen kaynakları koruma ve doğa üzerindeki insan etkisini azaltma çabası sonucunda son yıllarda geçirimli betonlar popülerlik kazanmıştır. Özellikle yer altı su kaynaklarını beslemesi, kirleticiler ve ısı adası etkisini azaltması geçirimli betonların avantajları arasında sayılabilir. Sınırlı dayanım özelliklerinden dolayı, bugüne kadar geleneksel betonlar kadar kullanılmamışlardır. Ancak, katkı malzemeleri teknolojisindeki gelişim ve artan çevre bilinciyle birlikte geçirimli betonların adı eskiden olmadığı kadar fazla duyulmaktadır. Bu çalışmada geçirimli betonların fiziksel özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden gradasyonun basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kum eklenmesinin basınç dayanımını ciddi oranda arttırabileceği görülmüştür. Ancak, ön deneyler yapılarak kum eklenmesi eşik değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geçirimli beton, Geçirimli beton teknolojisi, Permeabilite

An Experimental Study on Compressive Strength of Pervious Concretes

Abstract

Pervious concretes have gained popularity in recent years, because of human effort to protect depleted resource and reduce effect on nature. Especially resupply ground water resource, reduce effect of pollutants and urban heat island can be regarded as advantages of pervious concretes. Since limited strength properties of pervious concrete, it has not used as much as conventional concrete up to now. However, with development in additive agents technology and rising in environmental consciousness pervious concrete's name has been heard more frequently than ever before. In this study aggregate gradation, which affects physical properties of pervious concrete, was investigated. At the end of the study, it was seen that addition of sand could increase substantially compressive strength. However, preliminary test should be carried out to determine the threshold of sand addition level.

Keywords: Pervious concrete, Pervious concrete technology, Permeability

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet AKKAYA, aakkaya@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Artan nüfus, çevre kirliliği ve daha konforlu yaşama arzusu araştırmacıları yeni arayışlara yöneltmektedir. Bu amaç doğrultusunda geçirimli betonlar umut veren bir yapı malzemesidir.

Bu beton kullanılarak yapılan kaplamalar poroz yapısı sayesinde birçok avantaja sahiptir. Yağmur suyunu hızlıca zemine doğru süzerek yer altı su kaynaklarını zamanla yenilemesi, taşıt seslerini absorbe ederek konforlu bir çevre imkanı sunması, yağmurlu günlerde geçirimli beton kaplama yüzeyinde su birikintisi oluşmaması, kaplamanın geceleri parlamaması, yeryüzündeki ısı ve nemi ayarlayarak ısı adası oluşumunun azalmasına katkı sağlaması geçirimli beton kaplama kullanımının avantajları arasında sıralanabilir [1].

Barrett ve arkadaşları [2] arazi gelişiminin hızlanmasıyla birlikte geçirimsiz kaplama alanının artabileceği ve bunun sonucunda yağmursuyu akışı ile kirlilik yükünün yükseleceği sonucuna varmışlardır, [3]. Geleneksel yağmursuyu yönetim yaklaşımında akış ve kirlenmeyi azaltmak için fazla yağmur suyunu sahada tutma ve geciktirme önceliği üzerine yoğunlaşmıştır, [4]. Geçirimli beton kaplama teknolojisi bekletme havuzu, yağmursuyu hendeği ve diğer yağmursuyu yönetme araçlarına duyulan ihtiyacı gidererek daha etkili arazi kullanımı imkânı sunmaktadır [5].

Geçirimli beton kullanımının bir diğer avantajıysa şehir ısı adası etkisini azaltmasıdır. Güneş ışığını gün boyunca absorbe eden beton ve asfalt gibi kaplamalar, şehir ısı adası oluşumunun nedenlerindedir. Bu hadise, ısınan ortamı soğutmak için ihtiyaç duyulan enerji miktarını arttırmaktadır [6].

Geçirimli betonlar birçok faydalı özelliği sayesinde, sürdürülebilir yapılar ve altyapı çalışmaları açısından önemli yeni teknolojilerden birisidir [7]. Ancak, geçirimli betonların kaplama malzemesi olarak uygulanması özellikle gelişmekte olan ülkelerde malzeme hazırlanması, test edilmesi ve bunun yanı sıra inşaat

uygulamaları açısından standart eksikliğinden dolayı hala denenmemiştir [8]. Yapılan literatür araştırmalarında geçirimli betonlarla ilgili ülkemizde sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu makale kapsamında geçirimli betonların fiziksel özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden gradasyonun basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Şekil 1’de bir geçirimli beton yüzeyi görülmektedir.



Şekil 1. Geçirimli beton yüzey görünümü

2. GEÇİRİMLİ BETON

ACI 522R-2010’a [9] göre geçirimli betonlar süreksiz granülometriye sahip birbirleriyle bağlantılı, bağlantısız ve kapiler boşluklar içeren materyallerdir [8]. Geçirimli betonlar çok az veya hiç ince agrega içermemekle birlikte bağlayıcı malzemeler, iri agrega ve su karışımından oluşmakta olup; genel olarak %15 ile %25 arasında boşluk içermektedir [10]. Tasarım açısından düşünüldüğünde su/çimento oranı betonların önemli parametrelerindedir. Geçirimli betonlarda 0,27-0,30 arası su/çimento oranı, uygun kimyasal katkı eklentileriyle birlikte düzenli olarak kullanılmaktadır. Bu oran 0,34 ve 0,40’a kadar başarılı bir şekilde kullanılmıştır [5].

Geçirimli betonlarda dayanım ve su/çimento oranı arasındaki ilişki belirgin değildir. Karışım hazırlanırken su miktarı sıkı biçimde denetlenmelidir. Doğru su miktarı; avuç dolusu top haline getirilen numuneyi, boşluklu yapısını

kaybetmeyerek ufalanmayacak hale getirecek su miktarı olarak tanımlanmıştır [5]. Geçirimli betonlarda agrega/bağlayıcı oranı da önemli bir parametre olmaktadır. Agregacımento oranı 4:1'den 6:1'e kadar değişmekte olup, geleneksel beton karışımlarında %60-%75 aralığında değişmekte olan agrega hacmine karşın, geçirimli betonlarda bu oran %50-%65 aralığındadır [8].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1 Geçirimli Beton Agregaları

Geçirimli betonlarda ince agrega içeriği sınırlı ve iri agrega gradasyonu dar tutulmaktadır [5]. Literatür araştırmalarında agrega tipi ve gradasyonunun geçirimli betonun mekanik ve geçirimsizlik özelliklerine olan etkisini inceleyen bir çok çalışmaya rastlanmıştır.

Kevern ve arkadaşları [11] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada 17 kaynaktan temin edilen agregaların donma çözünme dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçta agregaların özgül ağırlık, aşınma dayanımı, gradasyon ve su emme kapasitesi özelliklerinin donma çözünme hasarını kontrol etmede önemli rol oynayacağı bulunmuştur.

Jain ve Chouhan [12] tarafından yapılan bir çalışmada agrega şekillerinin geçirimli beton basınç dayanımı ve permeabilitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre agrega köşelilik sayısına ters olarak basınç dayanımının değiştiği ayrıca düşük köşelilik sayılı agregalarda düşük permeabilite değeri ve yüksek basınç dayanımı elde edildiği bildirilmiştir.

Cosic ve arkadaşları [13] ise yapmış oldukları çalışmada agrega tipi ve boyutunun geçirimli beton özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre yüksek miktarda düşük boyutlu agrega kullanımının yüksek yoğunluklu bir geçirimli beton oluşturduğu, ayrıca yüksek eğilme dayanımı elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca geçirimli beton etkililiğini hesaplamada temel parametre olan bağlantılı porozitenin agrega tipinden, agrega boyutuna göre daha çok etkilendiği bulunmuştur.

3.2. Bağlayıcı Malzemeler

Geleneksel betonda olduğu gibi portland çimento ve katkı çimento geçirimli betonlarda da kullanılabilir [5]. Araştırmacılar silis dumanı ve uçucu kül gibi ikame bağlayıcı materyalleri de geçirimli beton karışımlarında kullanmışlardır [8]. Fu ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmada alkali aktivasyonlu cüruf da bağlayıcı malzeme olarak denenmiştir.

Sonuç olarak uygun miktarda alkali aktivasyonlu cüruf kullanımının geçirimli betonların mekanik dayanımını geliştirebileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmada farklı oranlarda silis dumanı katkısı içeren geçirimli betonların mekanik özellikleri de incelenmiştir. Deneysel sonuçta bağlayıcısı %10 silis dumanı içeren numunelerin kontrol numunesinden ve daha yüksek silis dumanı içeren numunelerden üstün mekanik dayanım gösterdiği bulunmuştur [14].

3.3. Katkı Maddeleri

Geçirimli betonlarda da konvansiyonel betonlarda olduğu gibi katkı malzemeleri kullanılabilir. Hızlı priz almasından dolayı priz geciktirici ve hidrasyon düzenleyici yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Geçirimli betonlarda da hava sürükleyici katkı maddesinin donma çözünme dayanımını geliştirdiği bildirilmiştir [4,15]. İncelenen çalışmalarda su azaltıcı katkı maddelerine sıklıkla başvurulduğu gözlenmiştir.

3.4. Basınç Dayanımı

Konvansiyonel betonun olduğu kadar geçirimli betonlarında basınç dayanımları önemlidir. Geçirimli betonların basınç dayanımını bulmak üzere yapılan çalışmalarda genel olarak geleneksel betonlar için hazırlanan deney yöntemleri kullanılmıştır. Geçirimli betonların poroz yapısı nedeniyle dayanımları düşük çıkmaktadır [1]. Tipik geçirimli beton basınç dayanım değeri 17 MPa civarındadır [5]. Geçirimli betonların basınç dayanımlarını yükseltmek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Chen ve arkadaşları [16] hem polimer katkı modifiyeli hemde ikame bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli betonlarla yüksek basınç dayanımı değerlerinin elde edilebileceğini bulmuşlardır. (poroziteye bağlı olarak 28 günlük değeri 32-46 MPa)

Zhong ve Wille [17] silis dumanı, silis tozu, su azaltıcı katkı malzemesi ile geçirimli betonların basınç dayanımı değerlerinin ciddi miktarda artış gösterdiğini bulmuştur. Sonuç olarak uygun şekilde dizayn edildiğinde 50 MPa basınç dayanımını geçen, 1 mm/ sn permeabilite değerini aşan, kabul edilebilir donma çözünme dayanımı gösterebilen geçirimli betonların elde edilebileceği belirtilmiştir.

Yang ve Jiang [1] küçük boyutlu agregası kullanımı, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin geçirimli betonların dayanımını geliştirdiğini bildirmiştir.

Rehder ve arkadaşları [18] lif katkı eklentili geçirimli betonları test etmişlerdir. Genel olarak basınç dayanımına lif eklenmesinin katkısının olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca boşluklu yapı özellikleri arasında porozitenin basınç dayanımı üzerinde maksimum etki gösterdiği bulunmuştur.

3.5. Eğilme Dayanımı, Kırılma Tokluğu ve Yorulma

Özellikle sıkıştırma derecesi, porozite, agregası/çimento oranı gibi birçok faktör geçirimli betonların eğilme dayanımı değerlerini etkilemektedir. Ancak tipik geçirimli beton uygulama tasarımları eğilme dayanımı ölçümüne ihtiyaç duymamaktadır [5]. Rehder ve arkadaşları [18] lif hacmi oranının artmasıyla kırılma tokluğunun artmasına rağmen, kırılma tokluğunun temel olarak porozite seviyesine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Chen ve arkadaşları [16] hem polimer katkı modifikasyonu ile hemde ikame bağlayıcı malzeme modifikasyonu yöntemleriyle elde edilen geçirimli betonların konvansiyonel geçirimli betonlara göre yorulma özelliklerini geliştirdiğini bulmuştur. Ancak, polimer katkı modifikasyonlu geçirimli betonların her gerilme

seviyesinde ikame bağlayıcı malzeme modifikasyonlu geçirimli betondan daha yüksek kırılma tokluğu ve daha uzun yorulma ömrü gösterdiği belirtilmiştir.

3.6. Aşınma ve Donma Çözünme

Genel amaçlı kaplama malzemesi olarak kullanılma imkanı bulunduğundan geçirimli betonların aşınma ve donma çözünme özellikleri de yapılan çalışmalar kapsamında test edilmiştir. Geçirimli betonların aşınma dayanımlarını bulmak için Dong ve arkadaşları [19] Cantabro testi, yüklenmiş teker aşınma testi ve yüzey aşınma testini kullanarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda daha ince iri agregası, latex ve/veya lif eklenmesinin geçirimli betonların aşınma dayanımını arttırdığı görülmüştür. Gaedicke ve arkadaşları [20] farklı agregası tiplerinden yapılmış geçirimli betonların aşınma dayanımlarını darbe aşınma ve yüzeyel aşınma testini kullanarak tespit etmişlerdir. Test sonuçlarına göre ince çakıl kullanılarak yapılan karışımlar kırma taş agregalarıyla yapılan karışımlardan daha düşük aşınma dayanımı göstermişlerdir. Bu farklılığa kırma taş agregalarının çimento hamuruna bağlanmasını güçlendirebilecek, gelişmiş yüzeyel sertlik ve kenetlenmenin sebep olabileceği sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada atık lastik parçalarının aşınma dayanımı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Sonuçta atık lastik kullanımının aşınma ve donma çözünme dayanımını geliştirdiği bulunmuştur [21].

Geçirimli betonlar boşluklu yapısından dolayı donma çözünme aşınmasına karşı da hassastır. Araştırmacılar hava sürükleyici katkı kullanılması [4], küçük boyutlu agregası kullanımı, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması [1] gibi uygulamaların geçirimli betonların donma çözünme dayanımlarını geliştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Geçirimli betonların donma çözünme dayanımlarının değerlendirilmesi için uygun bir test metodu ile ilgili fikir birliğine henüz

varılamamıştır. ASTM C 666A [22] kaplamaları en hızlı bozulma potansiyeli olan doygun halde test etmektedir. Geçirimli betonlarda doygun hale gelerek daha çabuk erken bozulmalara yol açacak agregalar etrafındaki ince beton tabakalarından dolayı, donma çözünme dayanımı üzerindeki agrega etkisi geleneksel betonunkinden farklı olabilmektedir [11].

3.7. Geçirimsizlik Özellikleri

Geçirimli betonlarda en çok aranan özelliklerden olan su iletimi, yüzeyden tabana birbiriyle bağlantılı boşluklar sayesinde olmaktadır. Taşınım ile ilgili olan özellikler suyu yüzeyden tabana transfer edip, nihai olarak taban suyunun beslenmesine yardım etmektedirler [8]. Geçirimli betonlardaki toplam porozite birbirleriyle bağlantılı boşluklar ve kapalı uçlu boşlukların toplamıdır ve su içinde tartma metoduyla hesaplanabilir [13]. Suyun taşınımına yardım eden birbirleriyle bağlantılı boşluk yapıları ayrıca efektif porozite olarak da anılmaktadır [8].

Permeabilite deneyleri, geçirimsizlik özelliklerini tespit etmek için olmazsa olmazdır. Qin ve arkadaşları [23] geçirimsiz betonlarda permeabilite ölçümlerinde düşen seviyeli permeabilite testi kullanılmasının, sabit seviyeli permeabilite testi kullanılmasından daha yüksek sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Düşen seviyeli permeabilite testinin başlangıç ve bitiş su seviyesi seçimi hesaplanan permeabilite değerini etkilediği, su seviyesinin sifıra yaklaştıkça bu farkın azaldığı ve bu korelasyondan dolayı geçirimsiz betonun permabilite değerinin uygulanan basınç ve test metoduyla birlikte rapor edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1 Çimento

Bu çalışmadaki karışımlarda Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.'de üretilmiş CEM I 52,5 R beyaz

portland çimentosu ve CEM V/A (S-P) 32,5 R kompoze çimento kullanılmıştır.

4.1.2. Silis Dumanı

İlk iki karışımda ikame bağlayıcı olarak sırasıyla çimento ağırlığının % 25'i ve % 15'i oranlarında, diğerlerinde çimento ağırlığının % 10'u oranında Oyak Beton'dan temin edilen silis dumanı kullanılmıştır.

4.1.3. Süper Akışkanlaştırıcı

İlk karışım hariç, diğer karışımlarda bağlayıcı ağırlığının % 2,5'i kadar BASF MasterGlenium 51 tipi polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

4.2. Numune Boyutları

Deneyde 15x15x15 cm lik küp kalıplar ve 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir numuneler kullanılmıştır.

4.3. Metot

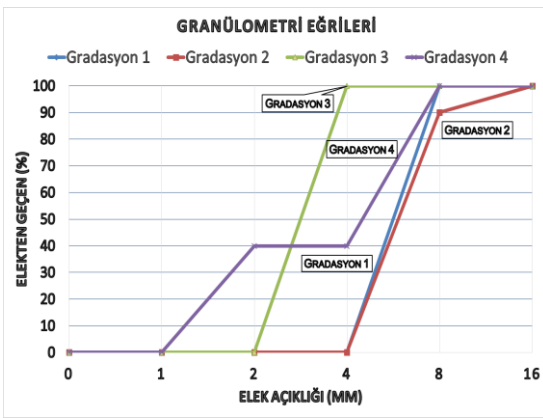
Malzemeler betoniyer yardımıyla karıştırılmış olup; ilk karıştırmanın ardından tavaya dökülerek homojen kıvam elde edilene kadar kürek ve mala yardımıyla karıştırma işlemi devam etmiştir. Putman ve Neptune silindir numuneler üzerinde Proktor çekici kullanılarak yapılan sıkıştırmanın saha koşullarındaki geçirimsiz beton kaplamasının özelliklerini iyi temsil ettiğini belirtmiştir [24]. Bu nedenle karışımlar standart proktor çekiciyle sıkıştırılmıştır.

Karışımların 7 günlük basınç dayanımları incelenmiş olup; numuneler deney gününe kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Deneyler Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de 5 no'lu karışıma ait numuneler görülmektedir.



Şekil 2. 5 no'lu karışıma ait numuneler

Şekil 3'de karışımlarda kullanılan agrega granülometrileri gösterilmiştir.



Şekil 3. Karışımlarda kullanılan agrega granülometrileri

Kırmataş kireç esaslı agregalar karışımda kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlık değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Agrega özgül ağırlık değerleri

Agrega boyutları	Özgül ağırlık değerleri
0-5 mm	2,56 g/cm ³
5-15 mm	2,69 g/cm ³

Karışım oranları Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Karışım oranları

Karışım No	1	2	3	4	5	6
Su/Çimento	0,24	0,26	0,28	0,28	0,28	0,28
Agr./Bağl.*	1,61	1,92	2,31	2,51	2,51	2,42
Gradasyon Numarası	2	2	3	3	1	4
Çimento Tipi	52,5 R	52,5 R	52,5 R	32,5 R	52,5 R	52,5 R

*: Agrega/Bağlayıcı oranı

Çizelge 2'de görülen karışım değerleri ile geçirimli betonların basınç dayanımı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Altıncı karışımda çimento hamurunun gradasyona kum eklenmesiyle nasıl sonuç vereceği test edilmiştir. İlk beş karışım boşluklu yapıda olup, sadece altıncı karışım boşluklu yapıya sahip değildir. Şekil 4'te 6 no'lu karışımla hazırlanmış küp numuneye ait kırılma şekli görülmektedir.



Şekil 4. 6 no'lu karışımla hazırlanmış küp numune kırılma şekli

Deneyler sonunda elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 3'de görülmektedir. 1 ve 2 no'lu karışımlara ait deneylerde 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir numuneler kullanılırken, diğer karışımlarda 15x15x15 cm'lik küp numuneler kullanılmıştır.

Çizelge 3. Basınç dayanımı değerleri

Karışım No	Basınç Dayanımı (MPa)
1	1,6
2	8,3
3	23,9
4	12,7
5	19,5
6	72,3

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçirimli betonlar insanoğlunun doğaya olan olumsuz etkisini azaltma, yaşam konforunu arttırma ve yaşadığımız çevreyi daha yaşanılır hale getirme amacıyla yapılan çalışmalarındandır. Ancak, düşük dayanım değerlerinden dolayı bugüne kadar geniş kullanım imkanı olmamıştır.

Karışım 1’de bağlayıcılar varlık gösterememiştir. Karışım 2’de oldukça kuru kıvamlıdır. İlk iki karışımın düşük basınç dayanım değerlerinin, karışımlarda gerekli su miktarından daha az su kullanıldığından kaynaklandığına kanaat getirilmiştir.

CEM V/A (S-P) 32,5 R çimento ile yapılan 4 no’lu karışım numunelerinin CEM I 52,5 R çimento kullanılarak yapılan 3 no’lu karışım numunelerinden daha düşük basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür. Agregabağlayıcı oranları birbirine yakın olduğundan aradaki farkın ağırlıklı olarak çimento tipinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İlk beş karışımda sadece 3 no’lu karışımda 20 MPa değerinin üzerine çıkılabilmektedir. 6 no’lu karışıma kum eklenerek agregabağlayıcısının etkisi de incelenmiştir. Sonuçta basınç dayanımı değeri 5 no’lu karışımda 19,5 MPa seviyesindeyken, 6 no’lu karışıma ait numunede 72,3 MPa seviyesine çıkmıştır. Ancak bu seferde geçirimli beton, boşluklu yapısını kaybetmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre agregabağlayıcısının geçirimli betonların basınç dayanımlarını etkileyen önemli parametrelerden olduğu görülmüştür. Genelde iri agregalarla yapılan geçirimli beton karışımlarına kum eklenerek basınç dayanımlarının büyük oranda yükseltilebileceği anlaşılmıştır. Ancak geçirimlilik özelliklerini olumsuz etkilemeyecek kum eklentisi eşik değerinin belirlenmesi için ön çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmadaki karışımlar arasındaki basınç dayanımı farklılıklarının agregabağlayıcı oranından ziyade gradasyon ve çimento tipinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Geçirimli betonlarla ilgili yapılacak her çalışma standart ve

yönetmeliklerin oluşturulmasına katkı sağlayacağından, oldukça değerlidir.

6. KAYNAKLAR

1. Yang, J., Jiang, G., 2002. Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials, *Cement and Concrete Research*, 33(3): 381-386.
2. Barrett, M.E., Jr, L.B.I., Jr, J.F.M., Charbeneau, R.J., 1998. Characterization of Highway Runoff in Austin, Texas, *Area, Journal of Environmental Engineering*, 124(2): 131-137.
3. Haselbach, L.M., Valavala, S., Montes, F., 2005. Permeability Predictions for Sand-Clogged Portland Cement Pervious Concrete Pavement Systems, *Journal of Environmental Management*, 81(1): 42-49.
4. Ghafoori, N., Dutta, S., 1995. Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 7(3): 183-191.
5. Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J., Association N.R.M.C., 2004. Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association Skokie, IL.
6. Urban Heat Island, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island, 27.05.2016, 17:56.
7. Nguyen, D.H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., Baraud, F., 2014. A Modified Method for the Design of Pervious Concrete Mix, *Construction and Building Materials*, 73: 271-282.
8. Chandrappa, A.K. Biligiri, K.P., 2016. Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material—Research Findings and Future Prospects: A State-of-the-Art Review, *Construction and Building Materials*, 111: 262-274.
9. American Concrete Institute, 522R-10, Report on Pervious Concrete.
10. National Ready Mix Concrete Association (NRMCA), NRMCA-Concrete in Practice-38 (CIP-38), <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/38p.pdf>, 26.05.2016, 16:30.

11. Kevern, J.T., Wang, K., Schaefer, V.R., 2010. Effect of Coarse Aggregate on the Freeze-Thaw Durability of Pervious Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(5): 469-475.
12. Jain, A.K., Chouhan, J.S., 2011. Effect of Shape of Aggregate on Compressive Strength and Permeability Properties of Pervious Concrete, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies E-ISSN2249-8974*, 1(1): 120-126.
13. Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., Netinger, I., 2015. Influence of Aggregate Type and Size on Properties of Pervious Concrete, *Construction and Building Materials*, 78: 69-76.
14. Fu, T.C., Yeh, W., Chang, J.J., Huang, R., 2014. The Influence of Aggregate Size and Binder Material on the Properties of Pervious Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, p:17.
15. Shu, X., Huang, B., Wu, H., Dong, Q., Burdette, E.G., 2011. Performance Comparison of Laboratory and Field Produced Pervious Concrete Mixtures. *Construction and Building Materials*, 25: 3187-3192.
16. Chen, Y., Wang, K., Wang, X., Zhou, W., 2013. Strength, Fracture and Fatigue of Pervious Concrete, *Construction and Building Materials*, 42: 97-104.
17. Zhong, R., Wille, K., 2015. Material Design and Characterization of High Performance Pervious Concrete, *Construction and Building Materials*, 98: 51-60.
18. Rehder, B., Banh, K., Neithalath, N., 2014. Fracture Behavior of Pervious Concretes: The Effects of Pore Structure and Fibers, *Engineering Fracture Mechanics*, 118: 1-16.
19. Dong, Q., Wu, H., Huang, B., Shu, X., Wang, K., 2012. Investigation into Laboratory Abrasion Test Methods for Pervious Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(7): 886-892.
20. Gaedicke, C., Marines, A., Miankodila, F., 2014. Assessing the Abrasion Resistance of Cores in Virgin and Recycled Aggregate Pervious Concrete, *Construction and Building Materials*, 68: 701-708.
21. Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Khoshnaw, G., İpek, S., 2014. Abrasion and Freezing-Thawing Resistance of Pervious Concretes Containing Waste Rubbers, *Construction and Building Materials*, 73: 19-24.
22. ASTM International, ASTM C 666/C666M-03, ASTM Standard Test Method of Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, 2003.
23. Qin, Y., Yang, H., Deng, Z., He, J., 2015. Water Permeability of Pervious Concrete Is Dependent on the Applied Pressure and Testing Methods. *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 1-6.
24. Putman, B.J., Neptune, A.I., 2011. Comparison of Test Specimen Preparation Techniques for Pervious Concrete Pavements, *Construction and Building Materials*, 25: 3480-3485.

The Effect of Edge Ratio and Fiber Orientation on Free Vibration Analysis of Laminated Composite Plates on Elastic Foundation

Ali DOĞAN*¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun

Geliş tarihi: 06.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

This study presents the effect of edge ratio and fiber orientation on free vibration analysis of simply supported antisymmetric thin and thick laminated composite plates (LCP) on elastic foundation. In the analysis, the foundation is modeled as two parameters Pasternak and Winkler type foundation. The equation of motion for laminated rectangular plates resting on elastic foundation is obtained through Hamilton's principle. The closed form solutions are obtained by using Navier technique, and then fundamental frequencies are found by solving the results of eigenvalue problems. The numerical results obtained through the present analysis are presented, and compared with the previous studies in the literature.

Keywords: Laminated composite, Free vibration, Elastic foundation, Shear deformation plate theory

Elastik Zemin Üzerine Oturan Tabakalı Kompozit Plaklarda Kenar Oranlarının ve Fiber Açılarının Değişiminin Serbest Titreşim Analizi Üzerine Etkisi

Öz

Bu çalışmada, elastik zemin üzerine oturan basit mesnetli antisimetrik dizilimli tabakalı kompozit ince ve kalın plakların (LCP) plak kenar uzunluklarının oranının ve fiber yönelimlerinin, serbest titreşim analizi üzerine etkisi sunulmaktadır. Bu analizlerde, zemin Pasternak ve Winkler tipi iki zemin parametresi ile modellenmiştir. Hamilton prensipleri ile elastik zemin üzerindeki tabakalı kompozit dikdörtgen plakların hareket denklemleri elde edilmiştir. Navier tekniği kullanılarak kapalı form çözümleri elde edilmiş ve sonra özdeğer problemi çözülerek temel frekanslar bulunmuştur. Analizler ile elde edilen nümerik sonuçlar çalışmada sunulmuş ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı kompozit, Serbest titreşim, Elastik zemin, Kayma deformasyon plak teorisi

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali DOĞAN, ali.dogan@iste.edu.tr

1. INTRODUCTION

Recently, due to the many paramount properties advanced composite materials such as laminated plates are found an application area in the engineering projects. Tremendous researches have been performed on the LCP to clarify the advantages of using these types of materials. One of the focused topics in research subject is the free vibration analysis of composite plates on elastic foundation.

Although LCP are of interest to many researchers, there is a dearth of study for angle-ply LCP in the literature. In this paper, both cross-ply and angle-ply LCP are analyzed. The aim of this paper is to present effecting of all plate parameters and Winkler-Pasternak soil parameters on free vibrations of LCP on elastic foundation.

In this research, free vibration analyses of anti-symmetrically LCP on elastic foundation are investigated in detail depend on the Winkler and Pasternak soil parameters, number of layers, plate thickness ratio, plate edge ratio and fiber angle orientation.

2. PREVIOUS STUDIES

Reissner theory [1] is one of the theories which include the shear deformation effect and many researchers have studied on the dynamic analysis of LCP by using Reissner theory. Nelson and Lorch [2] developed high order plate theories to appraise the shear strain of the LCP. Noor [3] has been examined the stability and vibration analysis of the composite plates. Reddy [4] and Qatu [5] used energy function to develop governing equations of LCP. Applying different plate theories, Reddy and Khdeir [6] investigated buckling and vibration analysis of LCP. Matsunaga [7], Kant and Swaminathan [8] have studied on the free vibrations of laminated thick plates using higher-order plate theory. Hui-Shen et al. [9] investigated dynamic behaviour of LCP on elastic foundation under thermomechanical loading. Many studies have been performed on characteristics of plates by Qatu [10]. Reddy [11]

presented studies including the effect of shear deformation for composite plates. Dogan and Arslan [12] investigated the effect of dimension on mode-shapes of composite shells. Akavci et al. [13] examined dynamic behavior of LCP on elastic foundation by using First-order Shear Deformation Theory (FSDT).

3. MATERIALS AND METHODS

A lamina is produced with the isotropic homogenous fibers and matrix materials. Any point on a fiber, and/or on matrix and/or on matrix-fiber interface has crucial effect on the stiffness of the lamina. Due to the big variation on the properties of lamina from point to point, macro-mechanical properties of lamina are determined based on the statistical approach.

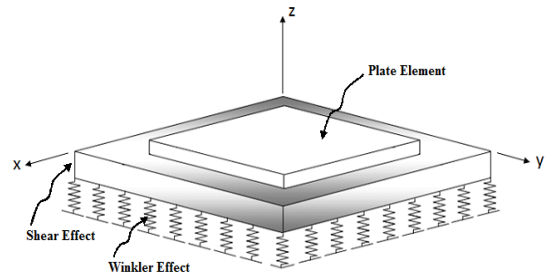


Figure 1. Laminated composite plate on elastic foundation

According to FSDT, the transverse normal do not cease perpendicular to the mid-surface after deformation. It will be assumed that the deformation of the plates is completely determined by the displacement of its middle surface. Using the given equation below (Eq.1) nth layer lamina plate stress-strain relationship can be defined in lamina coordinates,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} & 0 & 0 & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} & 0 & 0 & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{33} & 0 & 0 & \bar{Q}_{36} \\ 0 & 0 & 0 & \bar{Q}_{44} & \bar{Q}_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bar{Q}_{45} & \bar{Q}_{55} & 0 \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{36} & 0 & 0 & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

The displacement based on plate theory can be written as

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y) + z \varphi_x(x, y) \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y) + z \varphi_y(x, y) \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

where u, v, w, φ_x and φ_y are displacements and rotations in x, y, z direction, orderly. u_0, v_0 and w_0 are mid-plane displacements.

Equation of motion for plate structures can be derived by Hamilton's principle

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T + W - (U + U_F)) dt = 0 \quad (3)$$

where T is the kinetic energy of the structure

$$T = \frac{\rho}{2} \int \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right\} dx dy dz \quad (4)$$

W is the work of the external forces

$$W = \iint_{x,y} (q_x u + q_y v + q_z w + m_x \varphi_x + m_y \varphi_y) dx dy \quad (5)$$

in which q_x, q_y, q_z, m_x, m_y are the external forces and moments, respectively. U is the strain energy and U_F is the spring strain energy defined as,

$$U = \frac{1}{2} \int (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_{xy} \gamma_{xy} + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz}) dx dy dz \quad (6)$$

$$U_F = \frac{1}{2} \int \left(k_0 w^2 + k_1 \left[\left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] \right) dx dy \quad (7)$$

Solving equation 3 gives set of equations called equations of motion for plate structures. This gives equation 8 in simplified form as,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} N_x + \frac{\partial}{\partial y} N_{yx} + q_x &= \bar{I}_1 \ddot{u}^2 + \bar{I}_2 \ddot{\psi}_x^2 \\ \frac{\partial}{\partial y} N_y + \frac{\partial}{\partial x} N_{xy} + q_y &= \bar{I}_1 \ddot{v}^2 + \bar{I}_2 \ddot{\psi}_y^2 \\ \frac{\partial}{\partial x} Q_x + \frac{\partial}{\partial y} Q_y + q_z + k_0 w + k_1 \Delta^2 w &= \bar{I}_1 \ddot{w}^2 \\ \frac{\partial}{\partial x} M_x + \frac{\partial}{\partial y} M_{yx} - Q_x + m_x &= \bar{I}_2 \ddot{u}^2 + \bar{I}_3 \ddot{\psi}_x^2 \\ \frac{\partial}{\partial y} M_y + \frac{\partial}{\partial x} M_{xy} - Q_y + m_y &= \bar{I}_2 \ddot{v}^2 + \bar{I}_3 \ddot{\psi}_y^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Equation 8 is defined as equation of motion for thick shallow shell. The force and moment resultants are

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{0x} \\ \varepsilon_{0y} \\ \gamma_{0xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \tau \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{55} & A_{45} \\ A_{45} & A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{0xz} \\ \gamma_{0yz} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \{A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}\} &= \int_{-h/2}^{h/2} \{1, z, z^2\} \bar{Q}_{ij} dz & i, j = 1, 2, 6 \\ \{A_{ij}\} &= \int_{-h/2}^{h/2} \bar{Q}_{ij} dz & i, j = 4, 5 \\ \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5\} &= \int_{-h/2}^{h/2} \rho(1, z, z^2, z^3, z^4) dz \end{aligned} \quad (10)$$

The Navier type solution might be implemented to thick and thin plates. This type solution assumes that the displacement section of the plates can be denoted as sine and cosine trigonometric functions.

Assume a plate with shear diaphragm boundaries on all edges. For simply supported thick plates, boundary conditions can be arranged as follows:

$$\begin{aligned} N_x = w_0 = v_0 = M_x = \psi_y = 0 & \quad x = 0, a \\ N_y = w_0 = u_0 = M_y = \psi_x = 0 & \quad y = 0, b \end{aligned} \quad (11)$$

The displacement functions of satisfied the boundary conditions apply;

$$\begin{aligned} u_0(x, y, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} U_{mn} \cos(x_m x) \sin(y_n y) \sin(\omega_{mn} t) \\ v_0(x, y, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} V_{mn} \sin(x_m x) \cos(y_n y) \sin(\omega_{mn} t) \\ w_0(x, y, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} W_{mn} \sin(x_m x) \sin(y_n y) \sin(\omega_{mn} t) \\ \psi_x(x, y, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{xmn} \cos(x_m x) \sin(y_n y) \sin(\omega_{mn} t) \\ \psi_y(x, y, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{ymn} \sin(x_m x) \cos(y_n y) \sin(\omega_{mn} t) \end{aligned} \quad (12)$$

where $x_m = m\pi/a$, $y_n = n\pi/b$.

Substituting the above equations into the equation of motion in matrix form,

$$\begin{bmatrix} M_{11} & 0 & 0 & M_{14} & 0 \\ 0 & M_{22} & 0 & 0 & M_{25} \\ 0 & 0 & M_{33} & 0 & 0 \\ M_{41} & 0 & 0 & M_{44} & 0 \\ 0 & M_{52} & 0 & 0 & M_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{U}_{mn} \\ \ddot{V}_{mn} \\ \ddot{W}_{mn} \\ \ddot{\psi}_{xmn} \\ \ddot{\psi}_{ymn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{mn} \\ V_{mn} \\ W_{mn} \\ \psi_{xmn} \\ \psi_{ymn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Following equation can be used directly to find the natural frequencies of free vibrations. The number of terms that taken into account in the m and n

cycle is one (i.e. m=1 and n=1). Where the elements different from zero of M_{ij} and K_{ij}

$$[K_{mn}] \{\Delta\} + (\omega_{mn})^2 [M_{mn}] \{\Delta\} = 0 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} K_{11} &= -A_{11}x_m^2 - A_{16}x_my_n - A_{66}y_n^2 \\ K_{12} &= K_{21} = -A_{16}x_m^2 - (A_{12} + A_{66})x_my_n - A_{26}y_n^2 \\ K_{14} &= K_{41} = -B_{11}x_m^2 - 2B_{16}x_my_n - B_{66}y_n^2 \\ K_{15} &= K_{51} = -B_{16}x_m^2 - (B_{12} + B_{66})x_my_n - B_{26}y_n^2 \\ K_{22} &= -A_{66}x_m^2 - A_{26}x_my_n - A_{22}y_n^2 \\ K_{24} &= K_{42} = -(B_{12} + B_{66})x_my_n \\ K_{25} &= K_{52} = -B_{66}x_m^2 - B_{22}y_n^2 \\ K_{33} &= -A_{55}x_m^2 - 2A_{45}x_my_n - A_{44}y_n^2 - k_0 - k_1(x_m^2 + y_n^2) \\ K_{34} &= K_{43} = -A_{55}x_m - A_{45}y_n \\ K_{35} &= K_{53} = -A_{44}y_n - A_{45}x_m \\ K_{44} &= -A_{55} - D_{11}x_m^2 - 2D_{16}x_my_n - D_{66}y_n^2 \\ K_{45} &= K_{54} = -A_{45} - D_{16}x_m^2 - (D_{12} + D_{66})x_my_n - D_{26}y_n^2 \\ K_{55} &= -A_{44} - D_{66}x_m^2 - 2D_{26}x_my_n - D_{22}y_n^2 \\ M_{ij} &= M_{ji}; M_{11} = M_{22} = M_{33} = -I_1; M_{44} = M_{55} = -I_3 \end{aligned} \quad (15)$$

4. NUMERICAL SOLUTIONS AND DISCUSSIONS

In this study, free vibration analyses of symmetrically laminated composite plates on elastic foundation are investigated. Navier solutions for free vibration analysis of laminated composite plates are obtained by solving the eigenvalue equations. The plate, in hand, has a quadrangle planform where the ratio of plan-form dimensions varies from 1 to 4 ($a/b=1, 2, 4$). Effect of plate thickness ratio that ratio of plate width to plate thickness, $a/h=100, 50, 20, 10$ and 5 , has been examined. In the analysis material properties are assumed to be $E_1/E_2=40$, $G_{12}/E_2=G_{13}/E_2=0.6$, $G_{23}/E_2=0.5$, $\nu_{12}=0.25$.

A computer program has been prepared using Mathematica program separately for the analytical solution of free vibration analysis of laminated composite plates resting on an elastic foundation. Comparisons are made with available solutions in literature. Then additional examples are solved to search the effect of lamination orientations, fiber

orientations and foundation stiffness on the free vibration of laminated plates resting on elastic foundation. The results have been compared in tables and graphs.

dimensional linear Winkler foundation parameter and non-dimensional Pasternak foundation parameter as;

In analysis, following parameter are used for non-dimensional free vibration frequency, non-

$$\Omega = \omega \frac{a^2}{h} \sqrt{\frac{\rho}{E_2}}, k_0 = \frac{K_0 a^4}{E_2 h^3}, k_1 = \frac{K_1 a^2}{E_2 h^3} \quad (16)$$

Table 1. Non-dimensional fundamental frequency parameters of antisymmetric square plate for various values of orthotropy ratio (a/b=1 and a/h=5)

		E_1/E_2				
Method		3	10	20	30	40
(0/90) ₁	Noor [1973]	6.2578	6.9845	7.6883	8.1763	8.5625
	Reddy [1984]	6.2169	6.9887	7.8210	8.5050	9.0871
	Kant [2001]	6.1566	6.9363	7.6883	8.2570	8.7097
	Present study	6.2086	6.9393	7.7060	8.3211	8.8333
(0/90) ₂	Noor [1973]	6.5455	8.1445	9.4055	10.1650	10.6790
	Reddy [1984]	6.5008	8.1954	9.6265	10.5340	11.1710
	Kant [2001]	6.4319	8.1010	9.4338	10.2460	10.7990
	Present study	6.5043	8.2246	9.6885	10.6198	11.2708
(0/90) ₃	Noor [1973]	6.6100	8.3372	9.8398	10.6950	11.2720
	Reddy [1984]	6.5552	8.4041	9.9175	10.8540	11.5000
	Kant [2001]	6.4873	8.4143	9.8012	10.6850	11.2830
	Present study	6.5569	8.4183	9.9427	10.8828	11.5264

Table 2. Non-dimensional fundamental frequency parameters of (0/90/0) square plate for various values of a/h ratio (a/b= 1 and $E_1/E_2=40$)

		a/h				
k₀	k₁	Method	5	10	20	50
0	0	Hui-Shen et al. [2003]	10.263	14.702	17.483	18.689
		Present study	10.289	14.766	17.516	18.648
100	0	Hui-Shen et al. [2003]	14.244	17.753	20.132	21.152
		Present study	14.263	17.805	20.161	21.158
100	10	Hui-Shen et al. [2003]	19.879	22.596	24.536	25.390
		Present study	19.891	22.637	24.560	25.396

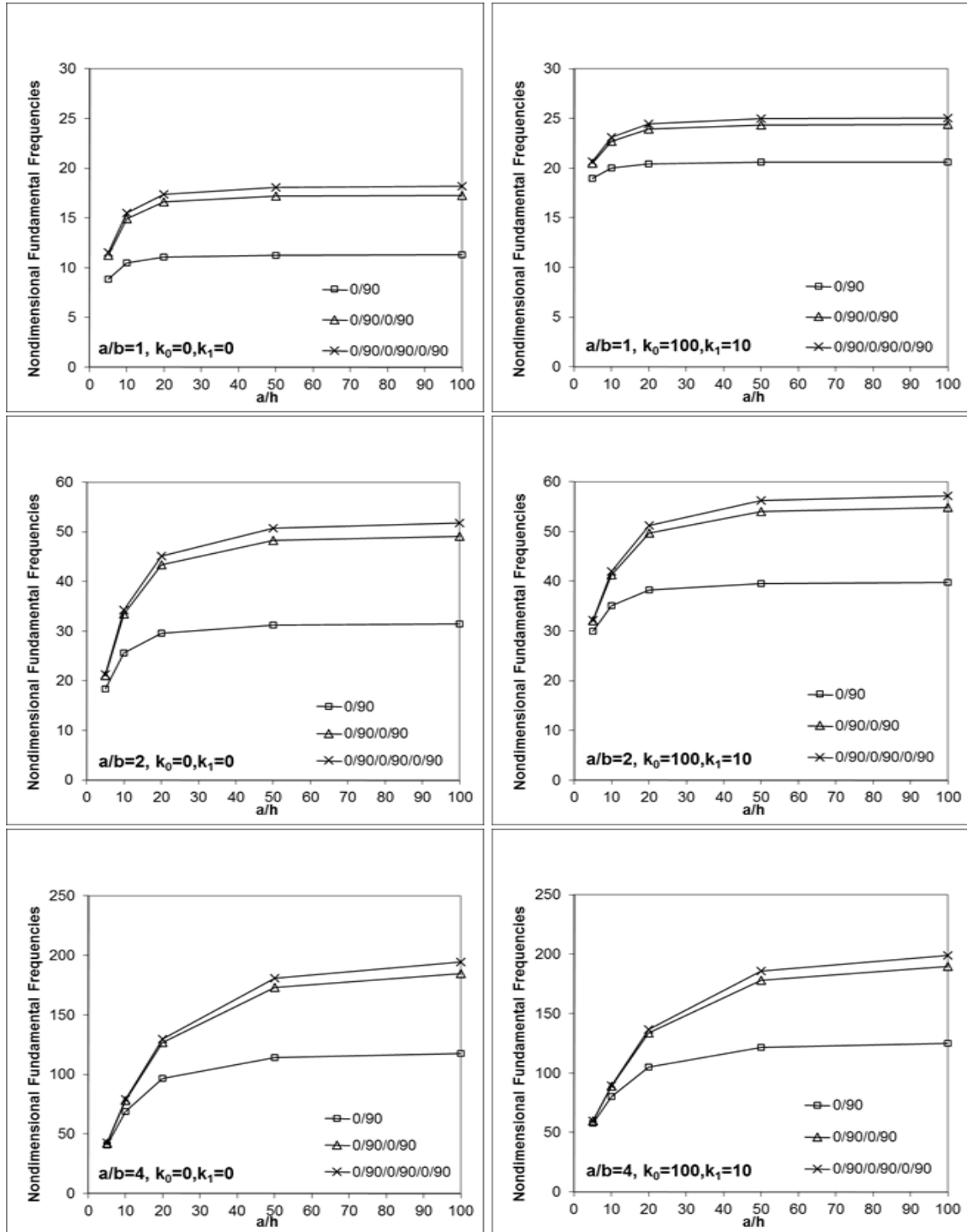


Figure 2. Effect of thickness ratio on the nondimensional frequency parameters for antisymmetric laminated composite plates on elastic foundation

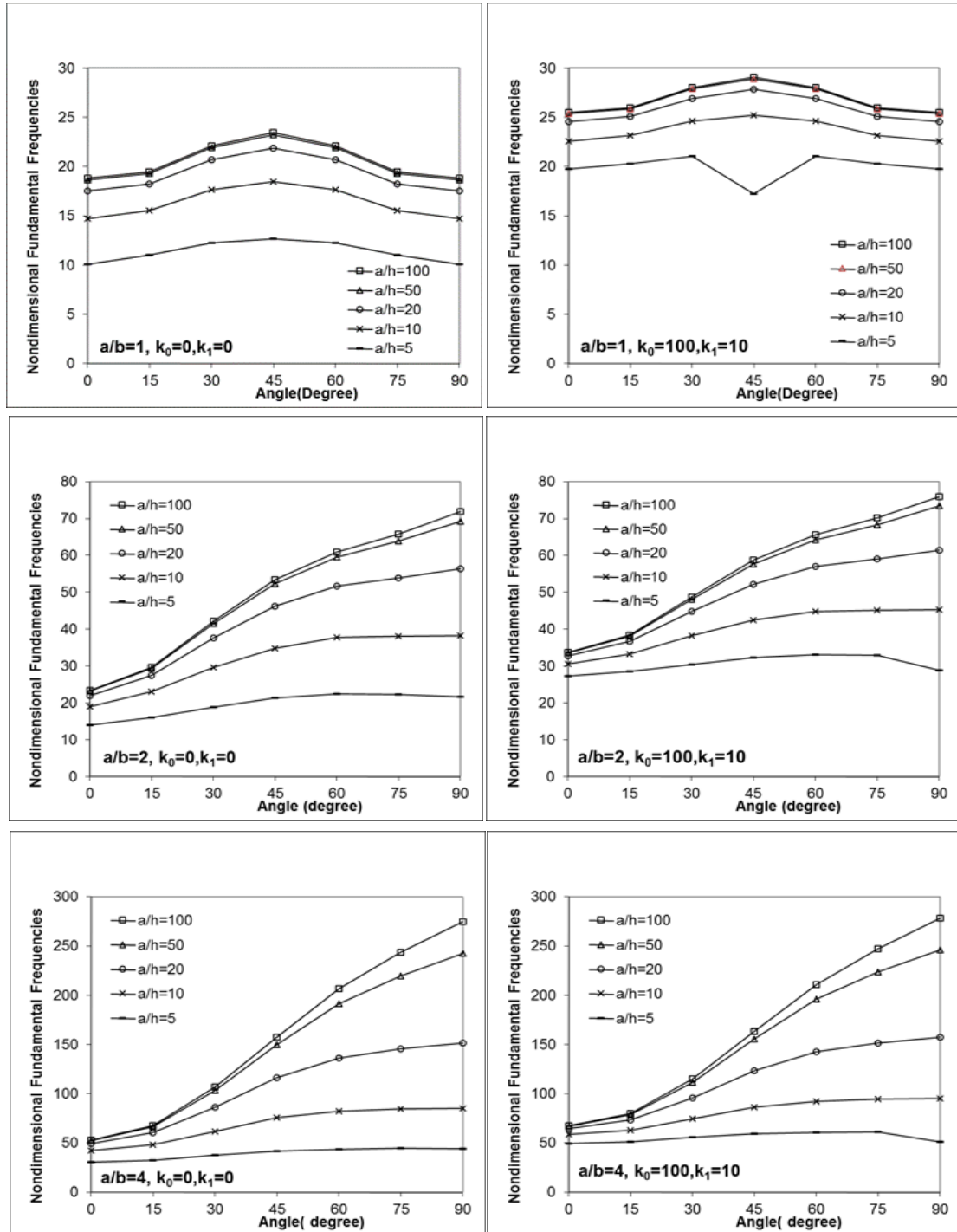


Figure 3. Effect of varying lamination angle θ on the non-dimensional frequency parameters for antisymmetric $[\theta/-\theta/\theta/-\theta]$ laminated composite plates on elastic foundation

It can be seen from the Fig. 2 that effect of foundation parameter k_0 is important for thin and thick LCP. Rise in a/b ratio lead to a decreasing trend in the incremental rate of the fundamental frequency when the k_0 value changes. However, increase of Pasternak parameter (k_1) from 0 to 10 considerably affected the incremental rate of natural frequency of LCP on elastic foundation.

Fig. 3 demonstrates the influences of θ (lamination angle), a/b , a/h and foundation parameters on the natural frequency of the anti-symmetrically ($\Theta/-\Theta/\Theta/-\Theta$) LCP when keeping constant the E_1/E_2 ratio at 40. Increase of θ caused to increase in dimensionless fundamental frequency regardless of the plate geometry. For all lamination angle studied caused to evident increase in the non-dimensional free vibration frequency parameters increase when foundation parameters increase. As seen from Fig. 3, when the a/b equals to 1 (square plates), results obtained for lamination angle equals to 0° , 15° are 30° are exactly same as those obtained for 90° , 75° are 60° , respectively due to symmetry.

5. CONCLUSIONS

In this study, free vibration analyses of anti-symmetrically laminated composite plates based on elastic foundation are investigated. The most important observations and results are summarized as follows:

Results showed present study and other shear deformation results for the non-dimensional frequencies are very closed.

For the cross-ply laminated composite plates, increase of foundation parameters (k_0 and k_1) increased the non-dimensional free vibration frequency parameters.

Results also showed that k_1 is more effective than that of the k_0 . Results showed that a/h ratio is an effective parameter on the foundation stiffness, increase of a/h ratios increased the stiffness significantly.

For the laminated composite square plates ($a/b=1$), k_0 is an important parameter, however effect of k_0 is insignificant when the plate plan form turns to square from rectangle ($a/b=2$, or 4).

Rise in the laminate angle (Θ) evoked the decline in displacement amplitude; however, increase in fundamental frequency irrespective of the plate geometry.

6. REFERENCES

1. Reissner, E., 1945. The Effect of Transverse Shear Deformation on the Bending of Elastic Plates. *J Appl Mech* 1945;12: 69–77.
2. Nelson, RB., Lorch, D.R., 1974. A Refined Theory of Laminated Orthotropic Plates. *J Appl Mech* 1974; 41:177–83.
3. Noor, AK., 1973. Free Vibration of Multilayered Composite Plates. *AIAA J* 1973;1138–39.
4. Reddy, JN., 1984. A Simple Higher Order Theory for Laminated Composite Plates. *J Appl Mech* 1984; 51:745-52.
5. Qatu, MS., 1991. Free Vibration of Laminated Composite Rectangular Plates. *Int J Solids Struct* 1991; 28:941-54.
6. Reddy, JN., Khdeir, AA., 1989. Buckling and vibration of laminated composite plates using various plate theories. *AIAA J* 1989; 12: 1808–17.
7. Matsunaga, H., 2000. Vibration and Stability of Cross-Ply Laminated Composite Plates According to a Global Higher-Order Plate Theory. *Compos Struct*, 48: 231–44.
8. Kant, T., Swaminathan, K., 2001. Analytical Solutions for Free Vibration of Laminated Composite and Sandwich Plates Based on a Higher-Order Refined Theory. *Compos Struct* 2001; 53:73–85.
9. Hui-Shen, S., Zheng, JJ., Huang, XL., 2003. Dynamic Response of Shear Deformable Laminated Plates Under Thermomechanical Loading and Resting on Elastic Foundations. *Compos Struct* 2003; 60: 57–66.
10. Qatu, MS., 2004. Vibration of Laminated Shells and Plates. Elsevier, Netherlands.

11. Reddy, JN., 2003. Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis. CRC press, USA.
12. Dogan, A., Arslan, HM., 2012. Investigation of the Effect of Shell Plan-Form Dimensions on Mode-Shapes of the Laminated Composite Cylindrical Shallow Shells Using SDSST and FEM. Steel and Composite Structures, An Int'l Journal; 12(4),303-24.
13. Akavci, SS., Yerli, HR., Dogan, A., 2007. The First Order Shear Deformation Theory for Symmetrically Laminated Composite Plates on Elastic Foundation. Arab J Sci Eng.; 32:341-8.

Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi ve Yağışlı-Kurak Dönemler Açısından İrdelenmesi

Evren TURHAN^{*1}, Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY², Abdurrahim ÇETİN³

^{1,3}Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

Geliş tarihi: 07.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Son yıllarda yağış-akış ilişkisini modellemede yapay zeka tekniklerinin kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası'ndaki belirlenmiş Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) ve Çatalan, Karaisalı Yağış Gözlem İstasyonu (YAGİ) verilerinden yararlanılarak yağış-akış ilişkisinin modellenmesi üzerine çalışılmıştır. İleri Beslemeli Geri Yayınımlı (İBGYSA) ve Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları (GRYSA) gibi farklı Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR) yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) analizi de yapılarak tahmin modeli test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Yağış-akış, Aşağı Seyhan alt havzası, SYİ

Modelling of Rainfall-Runoff Relation with Artificial Neural Network Methods for Lower Seyhan Plain Sub-Basin and Assessment in Point of Rainy-Droughty Terms

Abstract

Recently, using artificial intelligence techniques for modelling of rainfall-runoff relation is a very common application. In this study, modelling of rainfall-runoff relation for Lower Seyhan Plain Sub-Basin was applied with using existed flow data of certain Flow Observation Stations (FOS) in this basin and rainfall data of Çatalan, Karaisalı Rainfall Observation Stations (ROS). Different artificial neural network methods as Feed Forward Back Propagation Neural Networks (FFBPNN) and Generalized Regression Neural Networks (GRNN) were used. Obtained results were compared with Multiple Non-Linear Regression (MNL) results. In this context, also analysing by using the Standardized Precipitation Index (SPI) method, estimation model has been tested.

Keywords: Artificial neural networks, Rainfall-runoff, Lower Seyhan sub-basin, SPI

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Evren TURHAN, eturhan@adanabtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının planlanması ve yönetimi su talebinin hızlı bir şekilde artış göstermesi neticesinde çok önemli bir duruma gelmiş olup, su yapılarının geliştirilmesinde daha detaylı ve geniş araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda, su yapılarının geliştirilmesinde önemli bir faktör olan akarsu akımlarının tahminine yardımcı olabilecek yağış-akış ilişkisinin modellenmesi konusu ele alınmaya çalışılmıştır. Farklı YSA yöntemleri kullanılarak içerisinde verimli tarım arazilerini barındıran Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası'nın yağış-akış ilişkisi modellenmeye çalışılmış, klasik ÇDOR yöntemi ile karşılaştırılarak YSA yöntemlerinin uygulanabilme durumları ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlarla birlikte SYİ metodu ile kuraklık analizi yapılmış, yağışlı ve kurak dönemleri içeren zaman periyotlarında YSA'nın akım tahminlerindeki yakınsaması değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde havza yağış-akış ilişkisinin modellenmesi konularında YSA yöntemlerinin kullanıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Şahin [1], yaptığı çalışmada Karadeniz Bölgesi'ndeki yağış-akış ilişkisini İBGYSA, RTYSA ve GRYSA gibi farklı YSA metotları ile modellemiş, ÇDR yöntemi ile karşılaştırmıştır. Girdi verileri olarak yağış, sıcaklık, geçmiş akım değerlerini kullanarak akım tahminleri yapmıştır. Elde ettiği sonuçlar neticesinde ekstrapolasyon yapılması gerektiğinde akım tahminlerinde tercih edilmesi gereken YSA metodunun daha çok İBGYSA ve RTYSA yöntemleri olduğunu belirtmiştir.

Gümüş ve arkadaşları [2], yaptığı çalışmada Orta Fırat Havzası'nda bulunan 2122 numaralı AGİ'ye ait aylık ortalama akım verileri ile 17099 numaralı YAGİ ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar, İBGYSA metodu ile elde edilen sonuçları ÇDR yöntemi ile

karşılaştırmışlardır. Çalışma neticesinde İBGYSA yönteminin ÇDR yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sattari ve arkadaşları [3] yaptıkları çalışmada YSA ile SYİ modellemesi ve geleceğe dair kuraklık analizinin yapılmasına yoğunlaşmışlardır. Modellemede İBGYSA metodunu kullanmışlar, farklı zaman dilimlerine ait yağış ve SYİ kombinasyonlarını girdi verisi olarak alıp, ileriye dönük kuraklık tahminlerinde bulunmuşlardır. Sonuç olarak modelin uzun dönem periyodunda SYİ değerlerini tahmin etmede sıkıntılar oluşturduğunu, fakat yağış serileri arasındaki korelasyon arttıkça sonuçların daha olumlu olabileceğini ifade etmişlerdir.

Turhan [4] yaptığı çalışmada YSA yöntemi ile Seyhan Havzası'nın yağış-akış ilişkisini modelleyerek, gözlenmiş yağış ve akım verilerinden akım tahminleri elde etmiştir. İBGYSA yöntemi ile ÇDR yöntemini karşılaştırmış, çalışma sonucunda İBGYSA yönteminin ÇDR yöntemine göre genelde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Gümüş ve arkadaşları [5], yaptığı çalışmada Orta Fırat Havzası'nda bulunan 2157 numaralı AGİ'ye ait aylık ortalama akım verileri ile 17204 numaralı YAGİ'ye ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkiyi YSA metotlarından İBGYSA, GRYSA ve RTYSA ile araştırmışlar ve klasik bir metot olan ÇDR yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda RTYSA yönteminin diğer YSA'lara göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve tüm YSA yöntemlerinin ÇDR yöntemine göre daha iyi yakınsama sağladığını ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, yağış-akış modellemesinde YSA yöntemlerinden İBGYSA ve GRYSA metotları kullanılmış olup, akım bilgi elde etme süreçlerinin genelde lineer olmayan özellikte olması sebebiyle stokastik bir yöntem olan ÇDOR yöntemi ile karşılaştırılması gerektiği düşünülmüştür. Ayrıca Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası'ndaki yağış verileri bakımından en uygun iki YAGİ olan Çatalan ve Karaisalı YAGİ verileri kullanılarak SYİ kuraklık analizi yapılmış, YSA akım tahmin yöntemleri ile elde edilen grafikler ışığında yağışlı

ve kurak dönem periyotları açısından modelin kullanılabilirlik derecesi değerlendirmeye alınmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası; Şekil 1’de görüldüğü üzere ülkemizin güneyinde Doğu Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası, Seyhan Havzası’nın en verimli topraklarını içerisinde barındıran, tarımsal yoğunluğun fazla olduğu bir havza özelliği taşımaktadır [6].

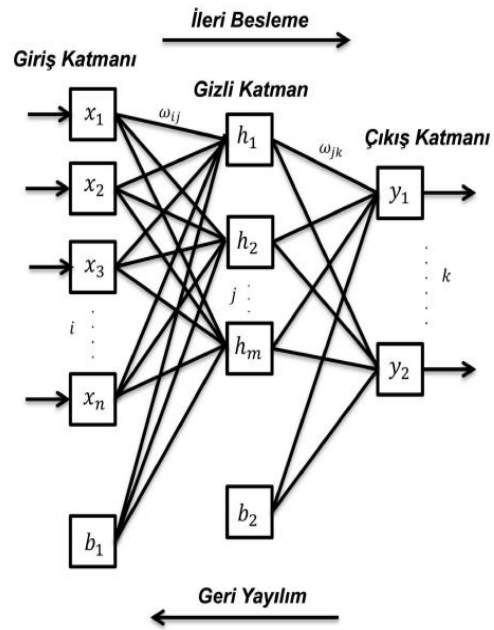


Şekil 1. Aşağı Seyhan Ovası alt havzası genel görünümü [7]

3.2. İleri Beslemeli Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağları (İBGYSA)

En çok kullanılan YSA yöntemlerinden biridir. Giriş, gizli (ara) ve çıkış katmanlarından oluşmaktadır. Gizli katmanların sayısında bir sınırlama bulunmamakla birlikte genellikle bir veya iki sayıda değerlendirilmektedir. Bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar vasıtası ile giriş değerleri olarak verilmekte; giriş katmanı, girdi vektörü yardımı ile elde ettiği bilgileri ağırlık katsayısı ile çarparak gizli katmandaki hücre yapılarına iletmektedir.

Bilgi; gizli ve çıkış katmanında değişikliğe uğrayarak ağ çıkışı tamamlanmış olmaktadır. Aslında bu yapısı ile ileri beslemeli ağ modelleri non-lineer bir işleve sahiptir. Geri yayılım algoritması ise; gizli katmanda yeterli düzeyde hücre olmak kaydı şartı ile sürekli bir fonksiyonu arzu edilen yakınsamada yaklaştırabilmeyi sağlamaktadır. Şekil 2’de İBGYSA’nın genel şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 2. İBGYSA genel şematik görünümü [8].

YSA’ların eğitiminde geri yayılım algoritması etkin olarak uygulanmaktadır. Geri yayılım algoritmasının temel kuralı arzu edilen veya ölçülmüş, mevcut değerler ile ağ çıkış değerleri arasındaki hatanın olabildiğince minimum düzeyde olmasıdır.

M katman yapısına sahip ileri beslemeli bir ağ için geri yayılım algoritması $m=1,2,3,4,\dots,M$ katman numarası olarak belirtilmek üzere,

x_i^m : m’inci katmandaki i biriminin girdisini,
 y_i^m : m’inci katmandaki i biriminin çıktısını,
 w_{ij}^m : (m-1)’inci katmandaki i birimini, m’inci katmandaki j birimine bağlayan ağırlık katsayısını ifade etmektedir.

İBGYSA uygulama aşamalarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

Adım-1: w'ye reel değer ifade eden rastgele küçük başlangıç sayıları atanmaktadır.

Adım-2: Rastlantısal bir çalışma yapısı oluşturulup, m katmanındaki her bir j birimi için ileri yönde çıkış değerleri hesaplanmaktadır. Bu şekilde çıkış,

$$y_i^m = f(\sum_i y_i^{m-1} w_{ij}^m) \quad (1)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Adım-3: Çıkış kısmı için δ olarak gösterilen hata terimleri hesaplanmaktadır.

$$\delta_i^m = (y_i^m - y_i^m) f'(X_i^m) \quad (2)$$

Adım-4: m=M,M-1,...,2 katmanlarındaki tüm i birimleri için geri yayınımla gizli katman birimleri için hata terimleri hesaplanmaktadır.

$$\delta_i^{m-1} = f'(X_i^{m-1}) \sum_i \delta_i^m w_{ij}^m \quad (3)$$

Adım-5: Tüm bu ağırlıklar w_{ij}^m 'ler kullanılarak elde edilmektedir.

$$w_{ij}^{\text{yeni}} = w_{ij}^{\text{eski}} + \Delta w_{ij}^m \quad (4)$$

Öğrenme katsayısı olarak η kullanılmakta, öğrenme aşamasında ağırlık katsayısında yapılan değişiklik Δw_{ij}^m eşitliğine göre ayarlanmaktadır. Dolayısı ile eşitlik;

$$\Delta w_{ij}^m = \eta \delta_i^m y_i^{m-1} \quad (5)$$

$$f(X,Y) = \frac{1}{(2\pi)^{(p+1)/2} s^{(p+1)}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp \left[-\frac{(X-X_i)^T (X-X_i)}{2s^2} \right] \exp \left[-\frac{(Y-Y_i)^2}{2s^2} \right] \quad (7)$$

Bu denklemde p, x vektörünün boyutu olup; n gözlenmiş veri sayısını, s ise düzeltme parametresini göstermektedir. D_i^2 skaler bir fonksiyon olarak kabul edilmek üzere;

$$D_i^2 = (X-X_i)^T (X-X_i) \quad (8)$$

olarak tanımlanırsa, bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu;

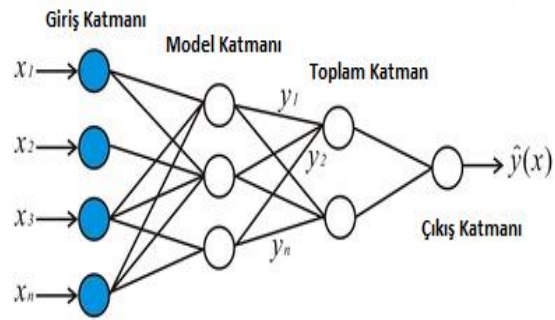
şekline dönüştürülmektedir.

Adım-6: Adım-2'ye dönülüp, toplam hata değeri kabul edilebilir bir seviyeye gelene kadar her bir adım için işlemler tekrarlanmaktadır [9].

3.3. Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları (GRYSA)

Geri yayınımla kullanıldığı gibi bir iteratif yapı içermemektedir. $f(x,y)$ müşterek olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilinmesi halinde, bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu şu şekilde yazılmaktadır:

$$E \left[\frac{y}{X} \right] = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y f(X,y) dy}{\int_{-\infty}^{\infty} f(X,y) dy} \quad (6)$$



Şekil 3. GRYSA genel şematik görünümü [10]

Eğer olasılık yoğunluk fonksiyonu bilinmemekteyse gözlenen X^i ve Y^i değerlerinden bu fonksiyon tahmin edilebilmektedir.

$$Y(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp \left(-\frac{D_i^2}{2s^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \exp \left(-\frac{D_i^2}{2s^2} \right)} \quad (9)$$

şeklinde elde edilmektedir [5].

Model oluşturulurken transfer fonksiyonu olarak 'Logaritmik Sigmoid Transfer Fonksiyonu'

kullanılmakta ve çıkışlar (0,1) aralığında oluşturulmakta, çıkış katmanı ise doğrusal fonksiyon şeklinde olmaktadır. Bu sebeple veriler ağ yapısına girmeden normalize edilmelidir. Normalizasyon yapılması çok yüksek veriler olmasına rağmen bir sorun teşkil etmemektedir. Denklem (10) kullanılarak normalize işlemi gerçekleştirilmektedir.

$$Q_{ne} = \psi \frac{Q_e - Q_{min}}{Q_{mak} - Q_{min}} + \rho \quad (10)$$

Q_{min} ve Q_{max} her bir istasyonun minimum ve maksimum debisini; Q_e normalize edilmiş debi değerlerini göstermektedir. Denklemdaki Ψ ve ρ değerleri sırası ile 0,6 ve 0,2 sabiti olarak değerlendirilmiştir. Denklem ters işlem uygulanarak normalizasyon tamamlanmıştır.

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{hesaplanan})^2 \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{ortalama})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{hesaplanan})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{ortalama})^2} \quad (12)$$

3.4. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR)

Lineer regresyon ile temelde benzer olmakla beraber lineer olmayan regresyonda da ulaşılmak istenen hedef bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında lineer olmayan bir ilişkinin var olup olmadığıdır. Lineer olmayan regresyonda lojistik, üstel ve polinom denklemleri genelde kullanılmaktadır. Bu tip denklemlerde, üzerinde ilişki olup olmadığı irdelenen değişken ve bağımlı parametreler ele alınarak bulunması gereken birkaç bilinmeyen parametre mevcut olmaktadır. Örneğin P bağımlı değişkeni ile denklem (13)'te verilen bağımsız değişkenler arasında üstel bir fonksiyon düşünülerek lineer olmayan regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

$$P = v a_1^{\beta_1} a_2^{\beta_2} a_3^{\beta_3} \dots a_n^{\beta_n} \quad (13)$$

Burada β_i i'nci model parametresi, v çarpımsal hata terimi ve n değişken sayısını belirtmektedir [11].

Ortalama Karesel Hata (OKH) değerinin sıfıra, R^2 değerinin de 1'e yakın olması iyi bir tahmin yapıldığını göstermektedir. Saklı tabaka veya gizli katmanda tek nöron değeri yani hücre sayısı kullanılmıştır. Çıkış değeri ise 1'dir.

Tahmin verileri OKH ve Belirlilik Katsayısı (R^2) baz alınarak $Q_{ölçülen}$ gözlenmiş akım verilerini, $Q_{hesaplanan}$ modelleme sonucu elde edilen akım verilerini göstermektedir. Eldeki mevcut verilerin %70'i eğitim, %30'u test aşamasında kullanılmıştır. YSA yöntemleri ile yapılan modellemeler MATLAB programında yapılmış olup, MS Excel programı sonucu elde edilen ÇDOR değerleri ile karşılaştırılmıştır.

N ifadesi toplam veri olarak değerlendirildiğinde,

3.5. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi (SYİ)

SYİ genel olarak belirli bir zaman dilimi içerisinde yağış ölçümlerinin ortalama değerden farkının hesaplanan standart sapma değerine bölünmesi ile elde edilmektedir.

X_i : Belli bir zaman dilimindeki ortalama yağış değerini

X_i^{ort} : Seçilmiş bir zaman dilimi içerisindeki yağış değerleri ortalamasını

σ : Standart sapma değerini

göstermek üzere SYİ ifadesini şu şekilde yazabiliriz:

$$SYI = \frac{X_i - X_i^{ort}}{\sigma} \quad (14)$$

Ayrıca n ifadesinin belirli bir ay için gözlem sayısını, x ifadesinin ise o ayın ortalama yağış değerini ifade ettiği bir eşitlikte standart sapma değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (15)$$

İndeksin hesaplanmasında yağışın 12 ay ve daha az periyotlarda normal dağılıma uymaması nedenleriyle karmaşık bir yapı göstermekte ve bu nedenle yağış serileri öncelikle normal dağılıma uyacak hale getirilmektedir. Elde edilen SYİ değerleri yağış verilerinin eksik olması nedeniyle lineer olarak artan ve azalan bir trend

göstermektedir. SYİ değerlerine normalizasyon işlemleri uygulanarak seçilen zaman dilimi içerisinde hem kurak hem de yağışlı dönemler aynı şekilde belirlenebilmektedir. SYİ değerleri kullanılarak yapılan kuraklık analizinde indeksin sürekli eksi değeri aldığı negatif zaman periyodu kurak dönem olarak addedilmektedir. İndeksin sıfırın altına ilk düştüğü ay kuraklığın orijin noktası olarak kabul edilmekte, pozitif değere yükseldiği ay ise kuraklığın bitiş noktası olarak belirlenmektedir. SYİ yöntemi ile kuraklık kategorisi Çizelge 1’de gösterilmektedir. Bölgedeki mevcut kullanılabilir su kaynaklarının koşullarına göre zaman aralıkları değişken olabilmektedir [12].

Çizelge 1. SYİ değeri-kuraklık kategorisi sınıflandırması [12]

<i>SYİ Değeri</i>	<i>Kuraklık Kategorisi</i>	<i>SYİ Değeri</i>	<i>Kuraklık Kategorisi</i>
≥ 2	Çok şiddetli yağışlı	0-(-0,99)	Normale yakın kuraklık
1,50-1,99	Çok yağışlı	-1,00-(-1,49)	Orta şiddetli kuraklık
1,00-1,49	Orta şiddetli yağışlı	-1,50-(-1,99)	Şiddetli kuraklık
0,99-0	Normal	≤ -2	Çok şiddetli kuraklık

3.6. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

Bir istasyondaki kayıtların bir kısmı eksik ise eksik olan kısmı tamamlayabilmek amacı ile yakın konumda bulunan istasyonların kayıtlarından faydalanılabilmektedir. En yakın üç istasyondaki ortalama yağışlar N_A , N_B , N_C ; eksik olan yağışa karşılık gelen okumalar ise P_A , P_B , P_C olarak değerlendirilirse ortalama yağışı N_x olan istasyondaki bilinmeyen yağış yüksekliği aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir [4]:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right) \quad (16)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası’nda bulunan ve mevcut datalar bakımından birbirleri ile uyumlu olan Çatalan ve Karaisalı YAGİ’lerinden aylık yağış ortalama değerleri ve Seyhan Havzası’nın 1817-1820-1821 nolu AGİ’lerinin önceki akım değerleri kullanılarak akım tahmin modellemesi oluşturulmaya çalışılmıştır [13]. YSA mimarisinde 6 adet giriş verisi alınmıştır. Bu 6 adet veriden 2 tanesi aylık ortalama yağış verileri olup, kalan 4 adedi 1817-1820-1821 AGİ’lerinden alınan akım verilerinin farklı kombinasyonlarla yerleştirilmesi şeklindedir (Çizelge 2 ve 3).

Çizelge 2 ve 3'te de görüldüğü üzere modelleme mimarileri 6 giriş verisi, 1 gizli katman ve 1 çıkış yapısı şeklinde oluşturulmuştur. Eğitim ve test dataları ayrı ayrı değerlendirilmiş, çıkış değerleri 1817-1820 ve 1821 AGİ'lerinin belirlenmiş zaman

dilimi için akım tahminleri şeklinde ele alınmıştır. YSA yöntemlerinin klasik bir yöntem olan ÇDOR yöntemine çok büyük oranda yakınsama sağladığı, bazı modelleme yapılarında az da olsa daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 2. İBGYSA ve ÇDOR modellemeleri için eğitim ve test sonuçları

Dene me	Giriş Katmanı	Çıkış	İBGYSA				ÇDOR			
			Eğitim		Test		Eğitim		Test	
			R ²	OKH	R ²	OKH	R ²	OKH	R ²	OKH
1	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1821 _t Q1817 _{t+1}	Q1817 _t	0,933	23,45	0,913	11,44	0,925	8,61	0,914	2,19
2	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1821 _t Q1820 _{t+1}	Q1820 _t	0,927	16,81	0,903	7,37	0,927	10,07	0,926	5,68
3	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1817 _{t+2} Q1821 _{t+1}	Q1821 _t	0,814	37,28	0,851	16,65	0,819	26,45	0,823	18,15
4	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1820 _{t+2} Q1821 _{t+1}	Q1821 _t	0,862	27,34	0,870	13,89	0,874	11,23	0,903	9,64
5	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1820 _{t+2} Q1817 _{t+1}	Q1817 _t	0,941	20,57	0,917	10,75	0,938	17,45	0,898	7,78
6	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1817 _{t+2} Q1820 _{t+1}	Q1820 _t	0,927	16,21	0,900	7,66	0,924	13,08	0,918	6,52

Yağış verileri 0,1 ile 0,9 arasında ölçeklendirilerek zaman aralığı (t) 1972-1979 yılları arası alınmış, eğitim ve test aşamalarında değerlendirilmiştir.

Toplamda 93 adet verinin 66'sı eğitim aşamasında, 27 veri ise test aşamasında kullanılmıştır.

Çizelge 3. GRYSA ve ÇDOR modellemeleri için eğitim ve test sonuçları

Deneme	Giriş Katmanı	Çıkış	GRYSA				ÇDOR			
			Eğitim		Test		Eğitim		Test	
			R ²	OKH	R ²	OKH	R ²	OKH	R ²	OKH
1	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1821 _t Q1817 _{t+1}	Q1817 _t	0,993	2,32	0,842	20,95	0,925	8,61	0,914	2,19
2	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1821 _t Q1820 _{t+1}	Q1820 _t	0,974	5,97	0,815	14,89	0,927	10,07	0,926	5,68
3	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1817 _{t+2} Q1821 _{t+1}	Q1821 _t	0,929	14,42	0,890	23,66	0,819	26,45	0,823	18,15
4	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1820 _{t+2} Q1821 _{t+1}	Q1821 _t	0,948	10,72	0,913	17,83	0,874	11,23	0,903	9,64
5	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1820 _t Q1820 _{t+1} Q1820 _{t+2} Q1817 _{t+1}	Q1817 _t	0,993	2,49	0,876	16,64	0,938	17,45	0,898	7,78
6	Pçatalan _t Pkaraisalı _t Q1817 _t Q1817 _{t+1} Q1817 _{t+2} Q1820 _{t+1}	Q1820 _t	0,980	4,38	0,917	7,28	0,924	13,08	0,918	6,52

Şekil 4 ve 5'teki grafikler İBGYSA ve GRYSA değerleri zamana bağlı olarak eğitim ve test aşamasında sınınanarak elde edilmiştir. Grafikler pik debiler haricinde çok büyük oranda yakın sonuçlar vermiş, eğitim aşamasında YSA yöntemlerinin ciddi bir korelasyon sağladığı görülmüştür. Eğrilerin dönüm noktalarında hata oranları

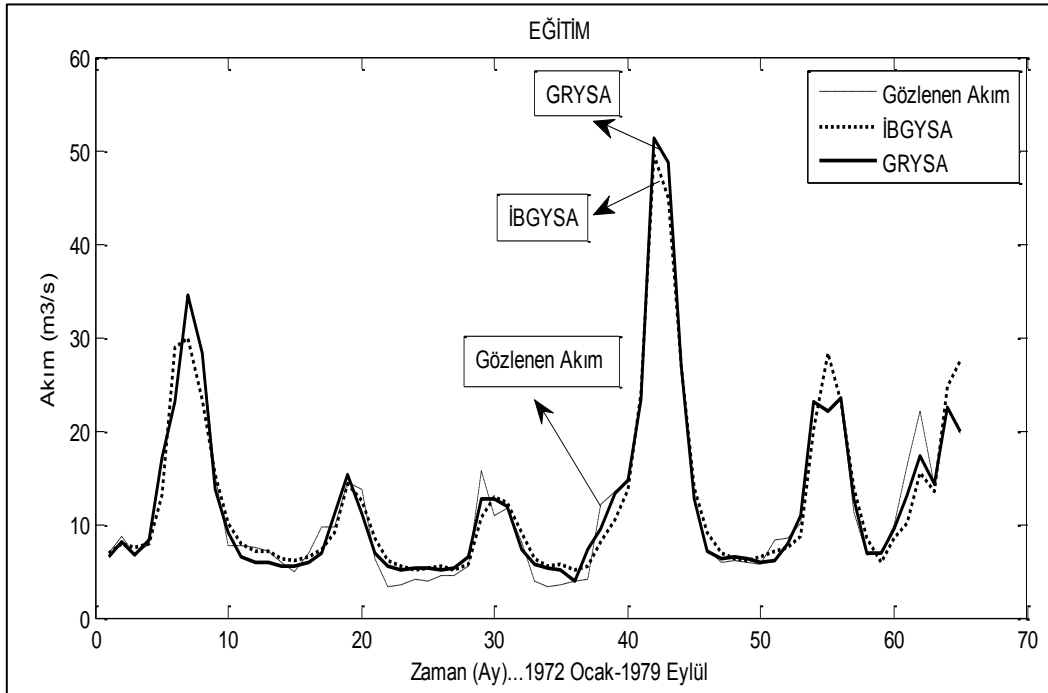
artmakta ve test aşamasında korelasyon biraz azalmakta ve yakınsaklıktan uzaklaşmaktadır. Bunun nedeninin test aşamasında sınınanan data sayısının az sayıda olması olarak düşünülmektedir. Her iki yöntemden GRYSA yönteminin ÇDOR yöntemine göre az dahi olsa daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Şekil 6 ve 7’de Deneme 6’nın klasik bir stokastik yöntem olan ÇDOR yöntemi ile elde edilen grafik sonuçları gösterilmektedir. Eğriler incelendiğinde YSA yöntemlerinin sonuçlarında görüldüğü gibi ÇDOR yönteminin de eğitim aşamasında ciddi bir yakınsama sağladığı, pik debilerde hata oranının arttığı ve kırılmaların gerçekleştiği dönüm noktalarında eğrilerin birbirinden uzaklaştığı göze çarpmaktadır. Fakat ÇDOR yöntemi test aşamasında YSA yöntemlerinden farklı olarak data sayısı az olmasına rağmen yakınsaklığı biraz da olsa sağlayabilmiştir. Şekil 8, 9, 10 ve 11’deki grafikler Deneme 6’da ele alınan YSA mimari yapılarına göre MATLAB programı çıktılarını oluşturmaktadır. Grafikler incelendiğinde; GRYSA metodunun eğitim aşamasında $y=x$ doğrusu ile neredeyse çakışmakta olduğunu, test aşamasında ise $y=x$ doğrusundan sapma gösterdiğini görebilmek mümkündür. Genelde

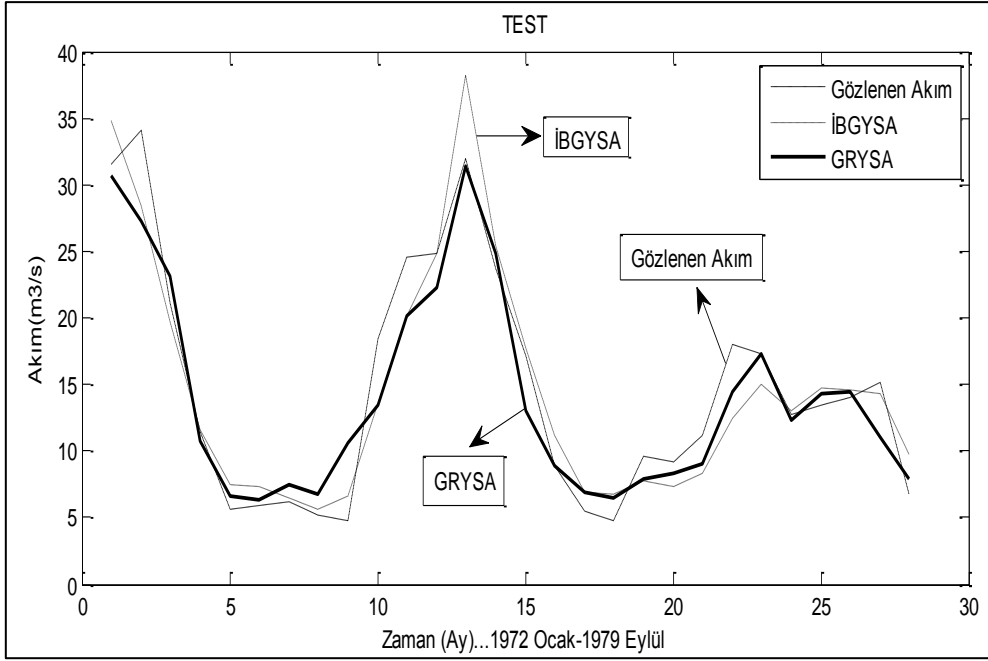
GRYSA yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

Şekil 12’de ÇDOR yönteminin Eğitim ve Test aşamasındaki R^2 belirlilik katsayısı grafikleri bulunmaktadır. ÇDOR test aşamasında YSA metotlarına göre daha iyi bir yakınsama sağlamıştır. OKH değerinin daha düşük olması yani hata oranının azlığı bunda büyük bir etken olarak görülmektedir. Fakat R^2 değerleri göz önüne alındığında arada çok fazla bir fark olmadığı da aşikardır.

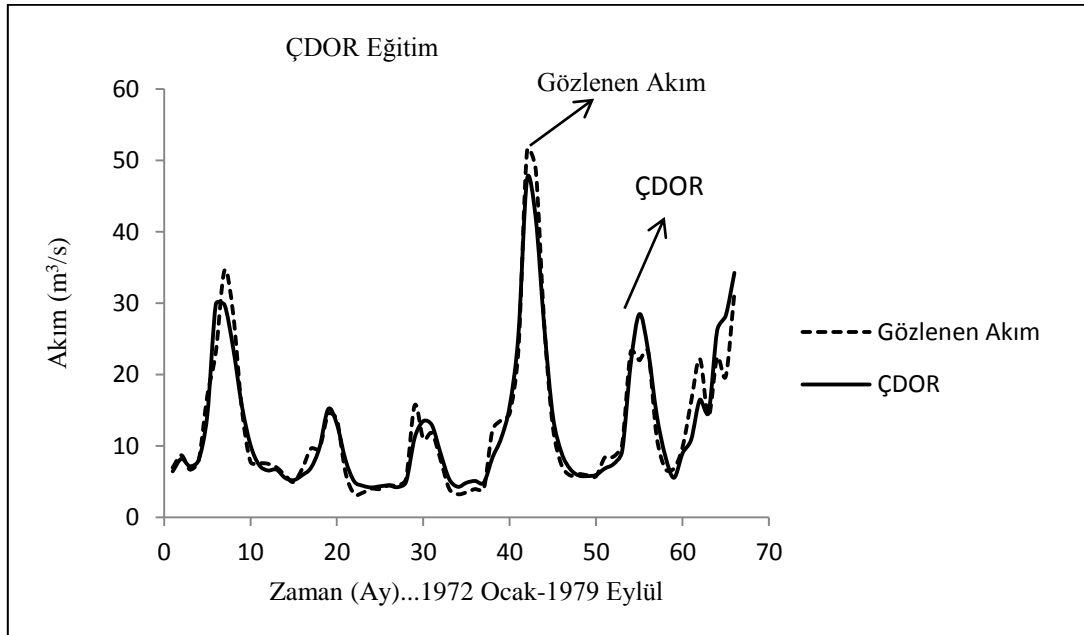
Şekil 13 ve 14’te Çatalan ve Karaisalı YAGİ dotaları kullanılarak SYİ metodu ile zamana bağlı (Veriler (t) 1972-1979 yılları arası alınmıştır.) SYİ değerleri grafiği MS Excel programı yardımı ile oluşturulmuştur.



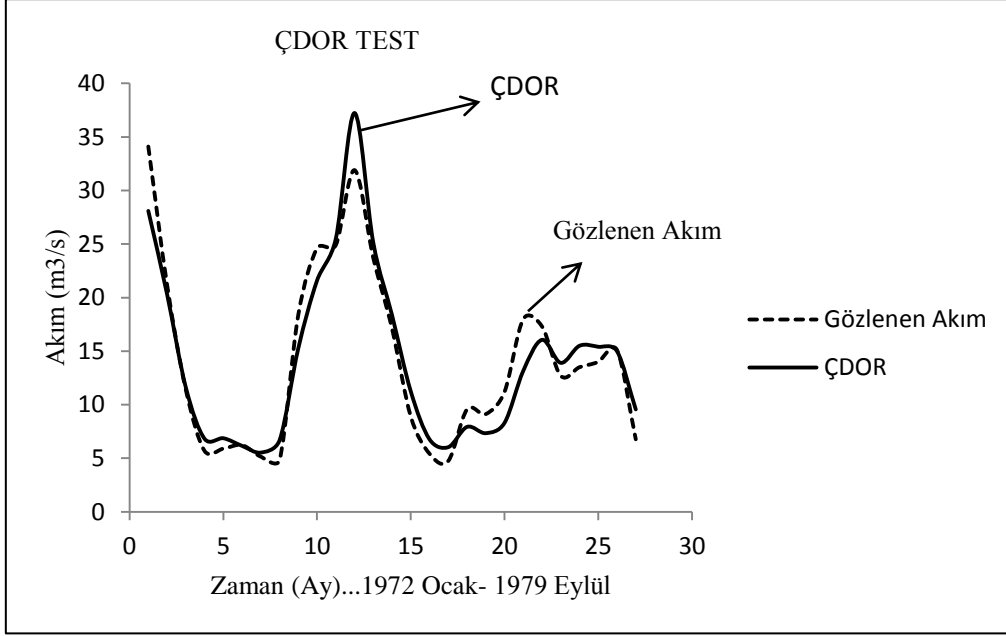
Şekil 4. Deneme 6’nın eğitim dönemi için İBGYSA-GRYSA yöntemleri ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



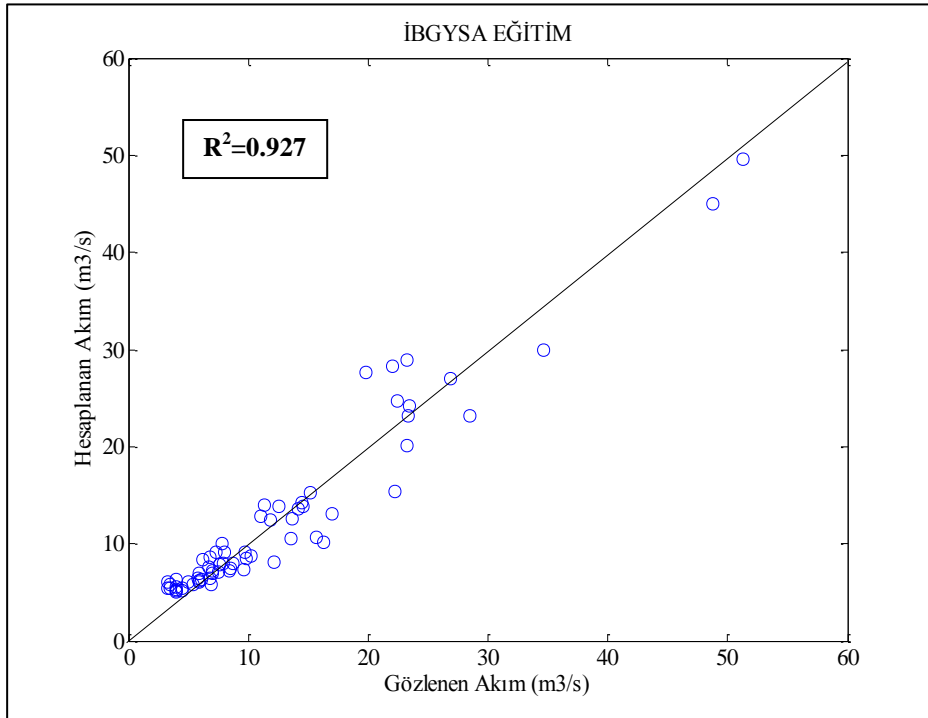
Şekil 5. Deneme 6'nın test dönemi için İBGYSA-GRYSA yöntemleri ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



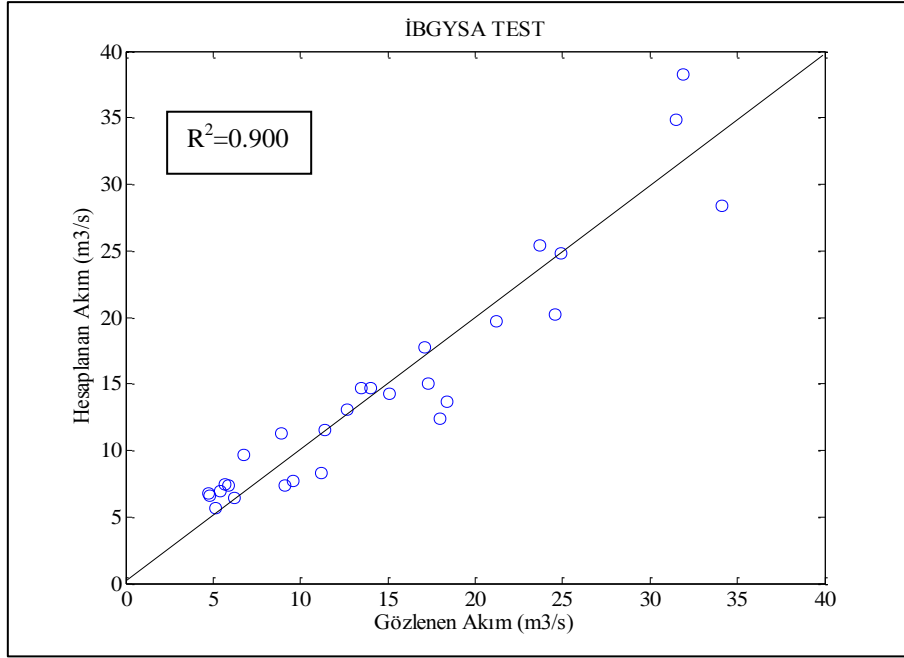
Şekil 6. Deneme 6'nın eğitim dönemi için ÇDOR yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



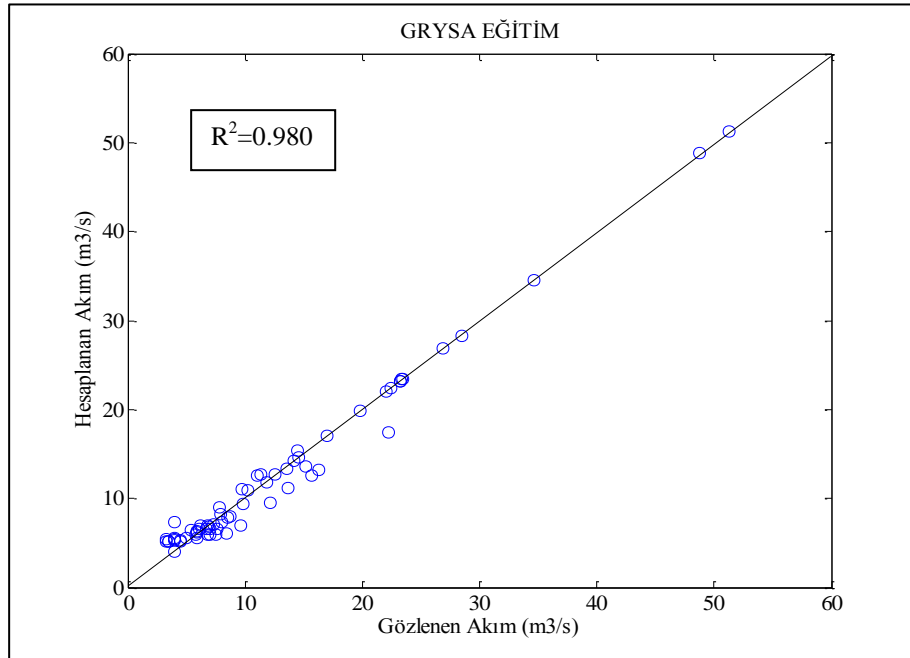
Şekil 7. Deneme 6'nın test dönemi için ÇDOR yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



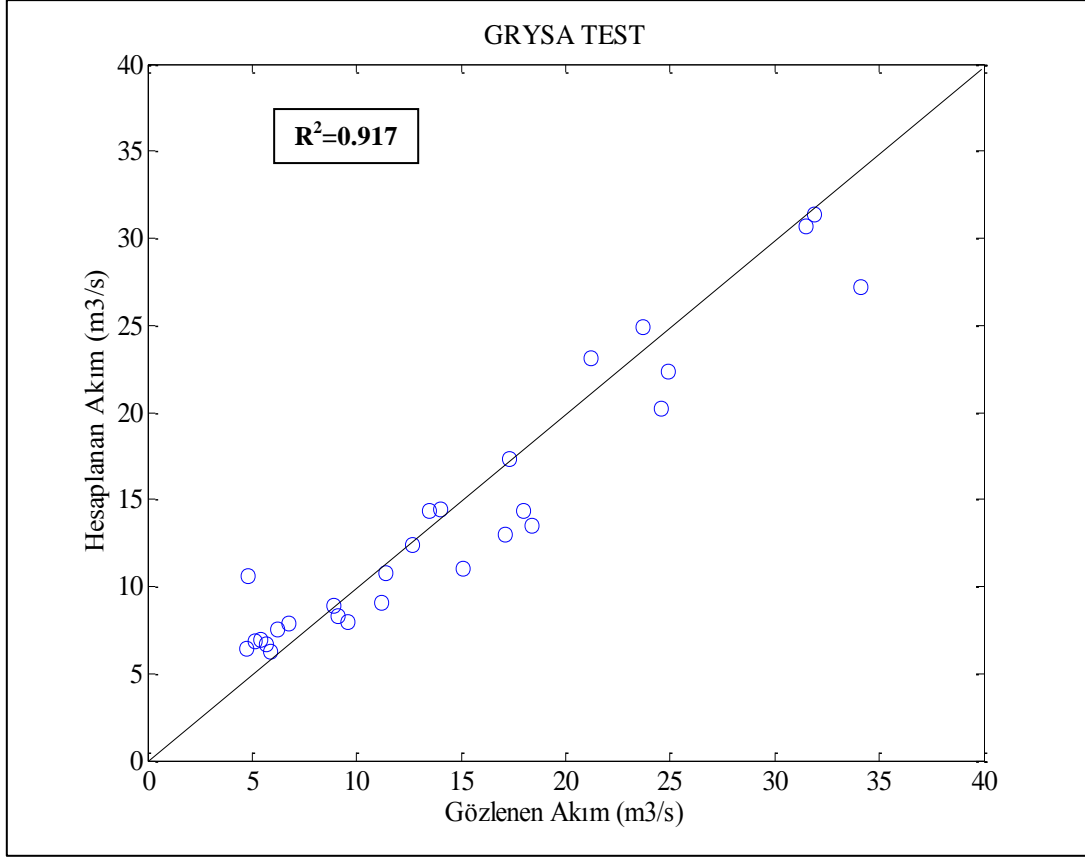
Şekil 8. Deneme 6'nın eğitim dönemine ait İBGYSA yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı (R^2)



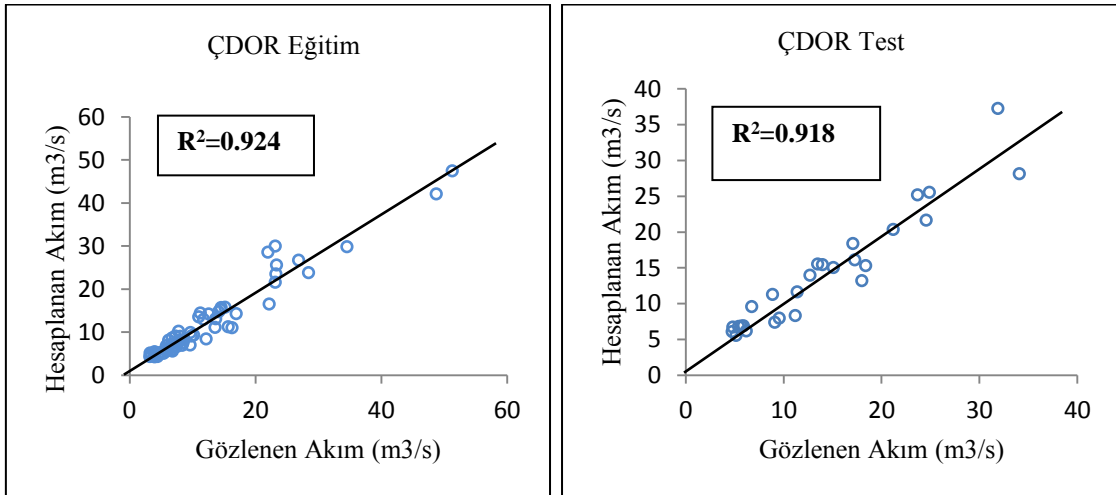
Şekil 9. Deneme 6'nın test dönemine ait İBGYSA yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı (R^2)



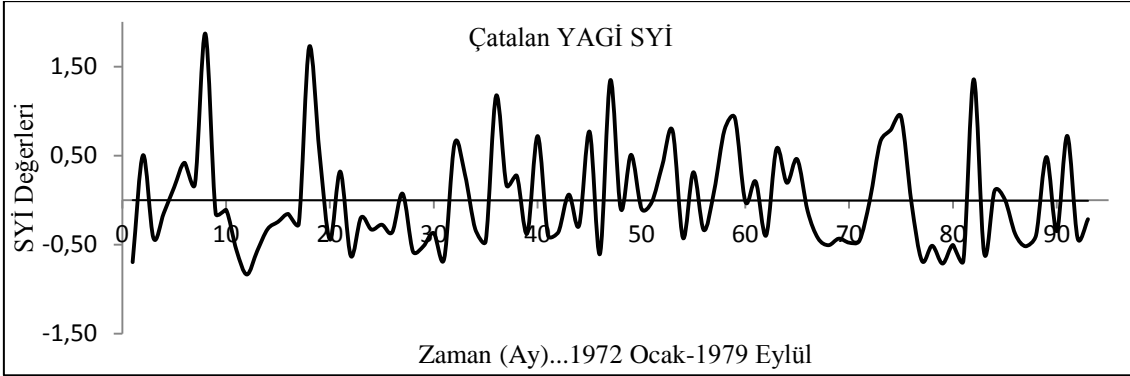
Şekil 10. Deneme 6'nın eğitim dönemine ait GRYSA yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı (R^2)



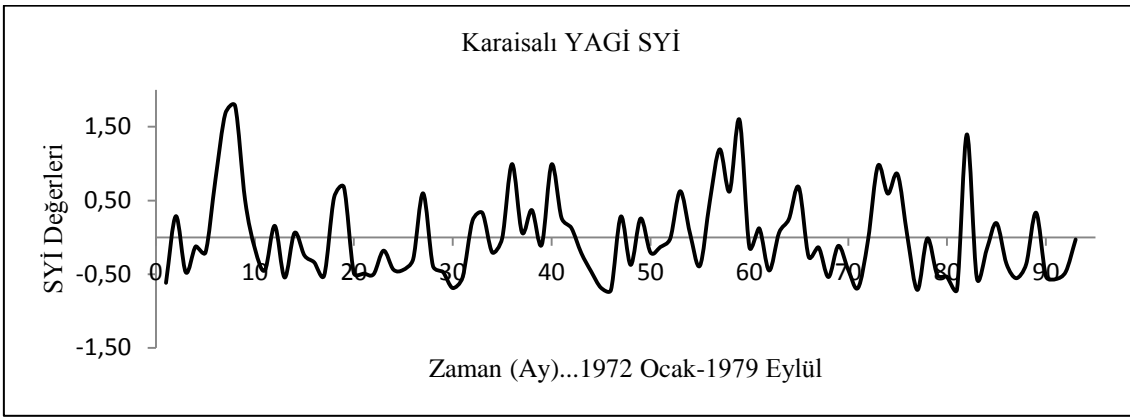
Şekil 11. Deneme 6'nın test dönemine ait GRYSA yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı (R^2)



Şekil 12. Deneme 6'nın eğitim (sol) ve test (sağ) dönemine ait ÇDOR yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı (R^2)



Şekil 13. Çatalan YAGİ SYİ değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 14. Karaisalı YAGİ SYİ değerlerinin zamanla değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma neticesinde yağış-akış modelinin Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası'na uygulanmasında YSA yöntemlerinden GRYSA metodunun akım tahmin problemlerinde kullanılmasının iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. Daha iyi sonuçları elde etmek bakımından çok fazla sayıda deneme yapılması gerekmekte olup, kullanılan girdi verileri haricinde yeni girdiler sağlanarak oluşturulacak daha farklı modelleme yapıları başarı düzeyini daha yukarılara çekebilecek, hataları daha düşük seviyelere indirilebilecektir.

Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası'nda geliştirilen yağış-akış modelinin su kaynaklarının doğru ve sürdürülebilir işletilmesi konusunda özellikle yağışlı ve kurak dönemler açısından gerek duyulan

veri ve karar destek süreçlerinde ciddi kolaylıklar sağlayacağı aşikardır. İlerleyen zamanlarda modelleme ile ilgili duyarlılık düzeyinin belirlenebileceği ve girdilerdeki farklı değişkenlerin arzu edilen sonuçları yakalamada nasıl bir etkisi olabileceğine yönelik çalışmalar yapılabilir. Böylece girdi değişkenliği sonrasında modelin eksik kısımları tespit edilebilecek ve geliştirilmesi sağlanabilecektir.

6. KAYNAKLAR

1. Şahin, M., 2007. Karadeniz Bölgesindeki Yağış-Akış İlişkisinin Farklı Yapay Sinir Ağları Metotlarıyla Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Gümüş, V., Kavşut, M.E., Yenigün, K., 2010. Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesinde Orta

- Fırat Havzası Uygulaması, 2. Su Yapıları Sempozyumu, 14-16 Ekim, Diyarbakır.
3. Sattari, M.T., Yürekli, K., Ünlükara, A., 2011. Karaman İlinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı Kullanılarak Kuraklığın Tahmini, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, Vol:4, No:1, pp:07-13.
 4. Turhan, E., 2012. Seyhan Havzası'nın Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
 5. Gümüş, V., Soydan, N.G., Şimşek, O., Aköz, M.S., Kırkgöz, M.S., 2013. Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, Vol:28, No:1, 37-49.
 6. Seyran, Z., 2009. Aşağı Seyhan Ovasının Geçmişten Günümüze Arazi Kullanımındaki Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
 7. Yeler, O., Şatır, O., Berberoğlu, S., 2014. Tarımsal Ürün Deseninin Çok Zamanlı Landsat Veri Seti Kullanılarak Objeler Tabanlı Belirlenmesi: Aşağı Seyhan Ovası Örneği, 5. Uzaktan Algılama- CBS Sempozyumu (Uzal-CBS), 14-17 Ekim, İstanbul.
 8. Doğru, F., 2015. Güncel Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Rezidüel Gravite Anomalilerinden Parametre Kestirimi, Hacettepe Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Vol:36, No:1, 31-43.
 9. Keleşoğlu, Ö., Akarsu, E.E., 2008. Betonarme Bir Binada Yıllık Isı Kaybı ve Enerji İhtiyacının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, Vol:3, No:2, A0079, 381-390.
 10. Konate, A.A., Pan, H., Khan, N., Yang, J.H., 2015. Generalized Regression and Feed-Forward Back Propagation Neural Networks in Modelling Porosity from Geophysical Well Logs, Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, ISSN 2190-0558, DOI 10.1007/s13202-014-0137-7.
 11. Seçkin, N., Güven, A., Yurtal, R., 2010. Taşkın Debilerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi: Örneksel Bölge Çalışması-Batı Karadeniz Havzası, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol.25, No:1-2, 45-57, Adana.
 12. Keskin, M.E., Terzi, Ö., Taylan, E.D., Yılmaz, A.G., 2007. Isparta Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Analizi, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi- TİKDEK, 11-13 Nisan, 350-359, İstanbul.
 13. EİEİ, 2005. Su Akımları Yıllığı Kitabı, Ankara.

Weight Reduction of Intercity Bus by Different Seat Construction Design in Compliance with APTA and FMVSS Standards

Gonca DEDE*¹, Mustafa ÖZCANLI²

¹Amasya University, Technology Faculty, Automotive Engineering Department, Amasya

²Çukurova University, Faculty of Engineering and Architecture, Automotive Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 07.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

In this study, weight reduction potential of different seat construction designs has been evaluated for intercity bus. The passenger seats were designed as CAD model. Finite element method was used to simulate the tests of FMVSS and APTA standards. Total deformation and maximum stress parameters, which were obtained by test simulations in FEA software, were analyzed to verify seat designs. This study results show that using aluminum alloy for seat design instead of St-37 steel provide 50% weight reductions for seat design. This weight reduction can reduce CO₂ emissions and also provide fuel efficiency over the vehicle's operating life.

Keywords: Vehicle efficiency, Emission, Aluminum alloy, Seat

Şehirlerarası Otobüslerde APTA ve FMVSS Standartları'na Uygun Farklı Koltuk Yapısı Dizaynları ile Ağırlık Azaltılması

Öz

Bu çalışmada, şehirlerarası otobüslerde farklı koltuk yapı dizaynlarının ağırlık azaltma potansiyeli değerlendirilmiştir. Yolcu koltukları bilgisayar destekli yazılım modeli olarak tasarlanmıştır. FMVSS ve APTA standartları testlerini simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Koltuk dizaynlarını doğrulamak için, sonlu elemanlar analiz metodu ile yapılan test simülasyonları sonucunda elde edilen toplam deformasyon ve maksimum stres değerleri incelenmiştir. Çalışma sonuçları koltuklarda çelik yerine alüminyum alaşım kullanmanın %50 ağırlık azalışı sağlayacağını göstermiştir. Bu ağırlık azalışı araç ömrü süresince CO₂ emisyonlarını azaltabilir ve yakıt verimliliği de sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Araç verimliliği, Emisyon, Alüminyum alaşımı, Koltuk

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Gonca DEDE, gonca.dede@amasya.edu.tr

1. INTRODUCTION

Vehicles are one of the most important parts of daily life. They provide comfort and mobility for people. In the same time, they affect significantly the environment during their life time. Greenhouse gas emissions and energy consumption are important effects of vehicles.

Previous studies show that approximately 15% of overall greenhouse gas emissions is occurred due to transportation sector. Globally, the transportation sector's CO₂ emissions represent 23% of overall CO₂ emissions from fossil fuel combustion [1]. In addition to greenhouse gas emissions, transportation sector accounts for 63% of the total growth in world consumption of petroleum and other liquid fuels from 2010 to 2040 in the reference case of International Energy Outlook 2013 issued by U.S. Department of Energy [2]. Due to the increments of energy consumption and greenhouse gas emission, there is aim for reducing emissions and improving fuel efficiency in transportation sector.

Weight reduction of vehicles is one of the most effective means to reduce fuel consumption and greenhouse gases for vehicle. It has been estimated that for every 10% of weight eliminated from a vehicle's total weight, fuel economy improves by 7%. This also means that for every kilogram of weight reduced in a vehicle, there is about 20 kg of carbon dioxide reduction over the vehicle's operating life [3].

In 1995, Stodolsky et al. performed a study which estimates total life-cycle energy savings over time as aluminum-intensive vehicles (AIVs). Their study showed that 19-31% weight reduction (270-460 kg) is possible with the intensive use of aluminum in passenger cars and light trucks, resulting in a fuel economy improvement of 12.5-20% for AIVs over conventional steel vehicles. They defined in that at least three ways to decrease the empty weight of a vehicle in their study. These three ways are; reducing vehicles' size, optimizing its design to minimize weight, and replacing the materials used in its construction with lighter mass equivalents. According to the

Stodolsky et al. the third alternative, use of lightweight materials could provide greater gains [4].

It can be understood from ratio of overall vehicle weight; passenger seats have an important energy saving potential. Approximately, 8% of unloaded vehicle weight is seat weight [5]. Previous studies show that using lightweight material can provide a reduction of weight in between 8, 6% and 30% [4-8].

In this study weight reduction potential of intercity bus by different seat construction designs in compliance with APTA & FMVSS standards has been investigated theoretically. Analyses were conducted with finite element analysis software.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

Lightweight materials include magnesium, aluminum, advanced high-strength steels, titanium as well as polymer-matrix composites reinforced with glass and carbon fibers. Aluminum material and its potential for weight reduction are shown in Table 1 [9].

Table 1. Potential Vehicle Materials Substitution [9]

Lightweight Material	Material Replaced	Mass Reduction	Relative Cost (per part)
Aluminum	Steel, Cast Iron	40-60	1.3-2
Aluminum Metal Matrix Composite	Steel or Cast Iron	50-65	1.5-3+

In automotive industry, high strength steel, aluminum alloys, magnesium alloy, composites are used to reduce weight. These materials must have the performance requirements (strong, durable, easily formed and joined into assemblies and components, sufficiently well-characterized) to use for vehicle design [10].

2.1.1. Aluminum Alloys

Aluminum is a light metal and the use of aluminum offers considerable potential to reduce the weight of an automobile body. Aluminum is a soft metal, but high strength-weight ratios can be achieved in certain alloys.

An aluminum alloy has a chemical composition where other elements are added to pure aluminum in order to enhance its properties, primarily to increase its strength. These other elements include iron, silicon, copper, magnesium, manganese and zinc. These alloy are divided several groups according to alloying elements. One of these groups is 6xxx series. The 6xxx series are versatile, heat treatable, highly formable, weldable and have moderately high strength coupled with excellent corrosion resistance. Alloys in these series contain silicon and magnesium in order to form magnesium silicide within the alloy. Extrusion products from the 6xxx series are the first choice for architectural and structural applications. Alloy 6061 is the most widely used alloy in this series and is often used in truck and marine frames [11].

The properties of aluminum alloy are given in Table 2. Material properties were taken from MatWeb for Al-6061 T6 [12].

Table 2. Material properties [12]

Material	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Tensile Strength	
			Yield (MPa)	Ultimate (MPa)
Al-6061 T6	68.9	0.33	276	310

2.2. Computer Software

CAD and FEM software were used for the decision of the design. A reference seat frame design was made to determine the weight reductions in this study.

2.3. Seat Dimensions' Constraints

A CAD-model of seat frame was built based on reference dimensions of "Standard Bus

Procurement Guidelines RFP". Reference dimensions are shown in Figure 1 [13].

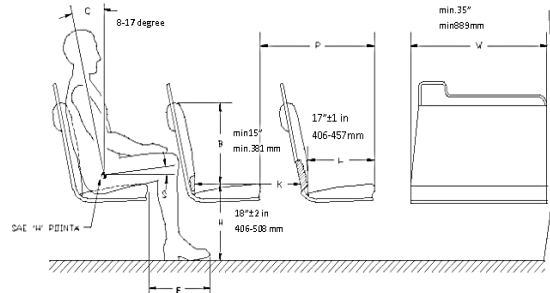


Figure 1. Seating dimensions & standard configuration [13]

2.4. Seat Reference Point

The seat reference point was specified by using 95th percentile man manikin. The H-point of the manikin was specified as design reference point as it is described in SAE J1100 Motor Vehicle Dimension document. In Figure 2 the manikin, reference seat structure and H-point of the manikin are shown [14].



Figure 2. SRP of seat design with 95 percentile manikin [14]

In automotive sector there are several regulations which specify the minimum requirements of seats. According to these regulations, the seats must be designed to meet various loading conditions like forward, reward dynamic loads and other static loads. There are different standards for seats in Europe and United States. In United States,

Weight Reduction of Intercity Bus by Different Seat Construction Design in Compliance with APTA and FMVSS Standards

American Public Transportation Association (APTA) Standards (Standard Bus Procurement Guidelines) is used as a reference by seat designers. In Table 3 and 4 show an overview of seat standards. The load cases that are shown in tables were used in this study. In Figs 3-6, the force applications of APTA and FMVSS are shown.

Table 3. Overview of APTA standards (United States) [15]

Load Case	Experimental Conditions	Area of Application	Max. Deformation (mm)
Deceleration	10 G Duration: 10 msec	Entire Seat	<355 (upper part of seat)
Vertical Force	2.23 kN	Cushion	6.5
Horizontal Force	2.23 kN	Seatback (force equally distributed over the seatback)	6.5

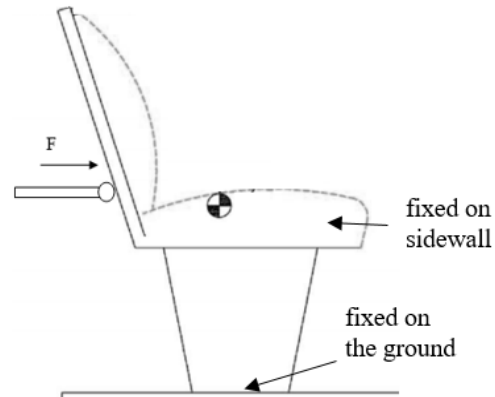


Figure 3. APTA seat tests photos-APTA horizontal seatback load application [15]

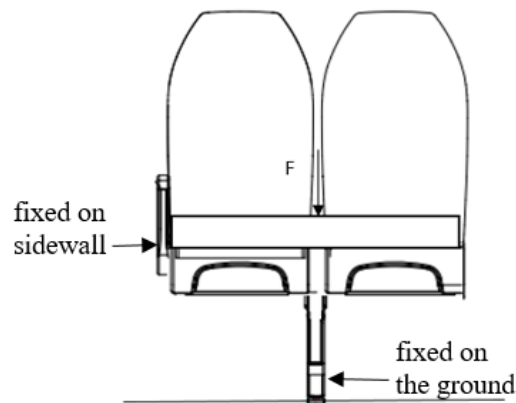


Figure 4. APTA seat tests photos-APTA vertical force application [15]

Table 4. Overview of FMVSS 207 [16]

Load Case	Experimental Conditions	Area of Application
Rearward Force	$F=20*9.81*ms$ Duration: Apply-5secs Hold-5secs Release-5secs	Center of Gravity
Moment Force	$M=373 Nm$ $F=373/D$ (distance between SRP and upper cross member) Duration: Apply-5secs Hold-5secs Release-5secs	Uppermost Cross Member

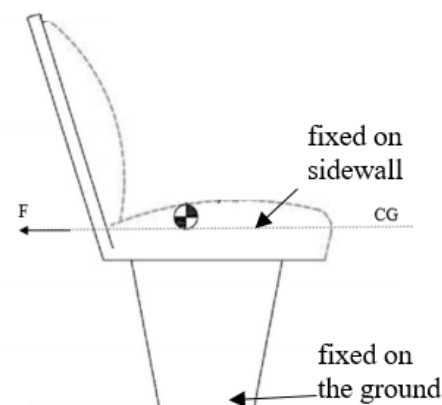


Figure 5. FMVSS 207 seat tests photos-FMVSS rearward force application [16]

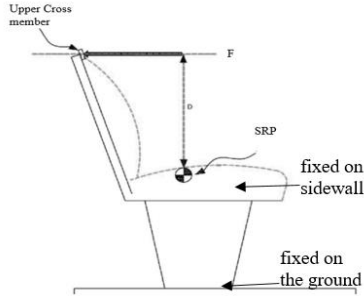


Figure 6. FMVSS 207 seat tests photos-FMVSS rearward moment load application [16]

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Analysis Results of Load Cases for Reference Seat Design

A reference seat design was built in CAD program. Reference seat material was selected as St-37. A finite element model was formed in FEM software.

This final element model consists a seat structure. Most of seat structures were made of sheet and tube. In FEM analysis three type of elements are used; 3D elements, 2D (2D solids, plates and shells) elements, and 1D (truss and beam) elements. Usually, 2D elements should be used for areas/parts that have a plate- or shell-like geometry [17]. Therefore, in geometry modeling for the seat parts where 2D elements are to be used, the geometrical mid surfaces were created. Shell element type is used for the seat parts [18].

The mesh only needs to be finer in areas of importance, such as areas of interest, and expected zones of stress concentration, such as at re-entrant corners, holes; slots; notches; or cracks. For seat FEM model, the areas of holes and attachment points were meshed finer. Regularly shaped elements are not possible for every geometry, thus element distortions are possible in meshing. Mesh quality can be controlled by these element distortions limitations. Element quality, aspect ratio, jacobian ratio, wrapping factor, parallel deviation, maximum corner deviation, skewness are used to control mesh quality. The finite element model mesh quality was control criteria.

Weld connections were simulated as bonded contact. Bolt connections were modeled by using line elements. The surface of sidewall and floor were defined as fixed support [19].

The reference seat was analyzed according to the APTA and FMVSS. The reference seat passed all tests.

3.2. Seat Design for Al-6061 T6

3.2.1. Design Step 1

Aluminum 6061 T6 was used instead of St-37 with same design. When the seat was analyzed for the APTA horizontal force load case and FMVSS rearward moment test, the maximum stress of the frame was above the ultimate tensile strength of material (Figure 7).

3.2.2. Design Step 2

Seat and floor attachment part dimensions were changed. The design passed the FMVSS rearward moment test. However, the design didn't pass the APTA horizontal force application test. The maximum deflection was above the requirement (Figure 7).

3.2.3. Design Step 3

The seatback deformation was above the regulation; therefore, the gaps on seatbacks were removed (Figure 8).

3.2.4. Design Step 4

The total deformation was above the regulation; therefore, the gaps on upper seat frame parts were removed. (Figure 8).

3.2.5. Design Step 5

The total deformation was above the regulation; therefore, the seat frame wall thickness was increased (Figure 9).

Weight Reduction of Intercity Bus by Different Seat Construction Design in Compliance with APTA and FMVSS Standards

3.2.6. Design Step 6

Seat and floor attachment part location was changed to reduce the total deformation. It was relocated to the near the sidewall (Figure 9).

3.2.7. Design Step 7

The parts on the seat frame profile were relocated to the front (Figure 10).

3.2.8. Design Step 8

The side profile width of the seatback was increased (Figure 10).

3.2.9. Design Step 9

The height of upper cross member of seat was reduced (Figure 11).

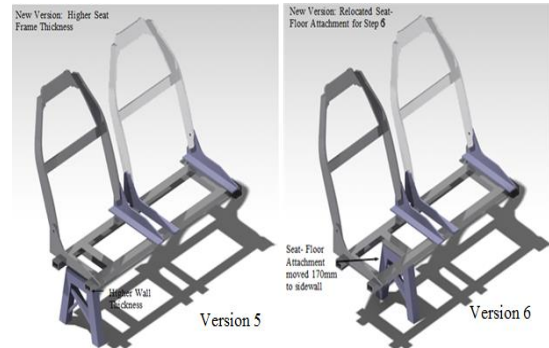


Figure 9. Seat design version 5&6

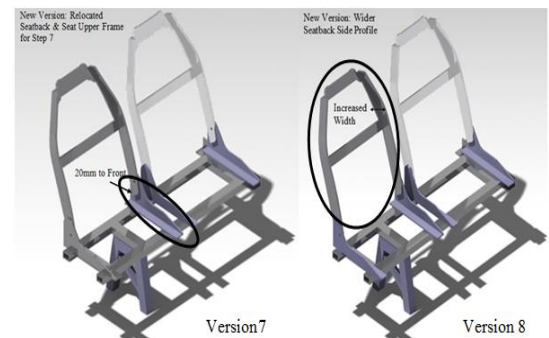


Figure 10. Seat design version 7&8

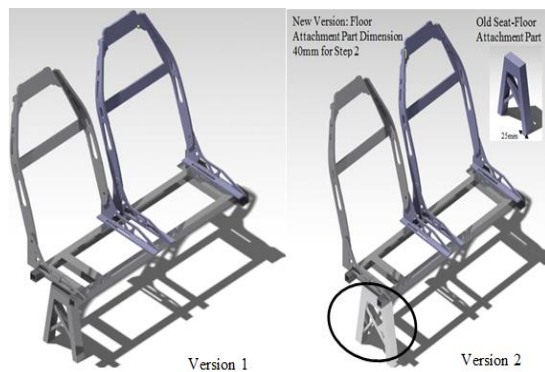


Figure 7. Seat design version 1&2

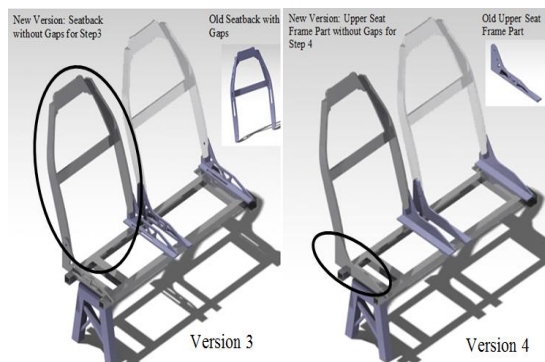


Figure 8. Seat design version 3&4

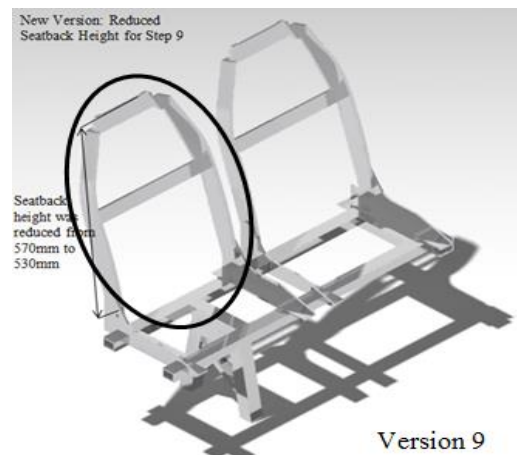


Figure 11. Seat design version 9

3.3. Seat Test Results for AI-6061 T6

After the final step of development, the seat design was passed all the tests. Test results are shown in Table 5-7 and Figs 12-17 in below.

Table 5. Wall thickness and weights for reference design and al-6061 design

Part Name	Reference	Al- 6061	Reference Seat Weight (kg)	Al-6061 Seat Weight(kg)
	Wall Thickness(mm)			
Seat-Floor Attachment	4	4	2.133	0.90
Seat Frame	2	4	4.398	3.14
Seat Upper Frame	6	6	0.918	0.46
Sidewall Attachment	5	5	0.874	0.22
Seatback	10	10	5.414	2.42
Total Weight			21.927	10.93

Table 6. Al-6061 seat analysis results for same design with reference design

Standards	Load Case	Requirement Max. Deformation (mm)	Max. Deformation (mm)	Max. Stress (MPa)
APTA Load Cases	Deceleration	<355 (upper part of seat)	7.1	49.7
	Vertical Force	6.5	0.37	84.2
	Horizontal Force	6.5	17.2	312
FMVSS	Rearward Force Application Test Simulation	-	5.6	82.6
	Rearward Moment Application Test Simulation	-	64	337

Table 7. Wall thickness and weights for reference design and al-6061 final design

Standards	Load Case	Requirement Max. Deformation (mm)	Max. Deformation (mm)	Max. Stress (MPa)
APTA Load Cases	Deceleration	<355 (upper part of seat)	3.99	16.73
	Vertical Force	6.5	0.29	17.8
	Horizontal Force	6.5	6.44	130.13
FMVSS	Rearward Force Application Test Simulation	-	2.72	74.4
	Rearward Moment Application Test Simulation	-	36.28	175.61

3.3.1. APTA Regulation 80 Deceleration Load Case Analysis

The seat design was analyzed according to the APTA; 10G deceleration was applied to the seat during 10 milliseconds. The maximum total

deformation of the entire seat is 3.99 mm. This value is below the requirement of the APTA standard. The maximum stress of the seat design is 16.73 MPa, this value is below the tensile strength of Al-6061.

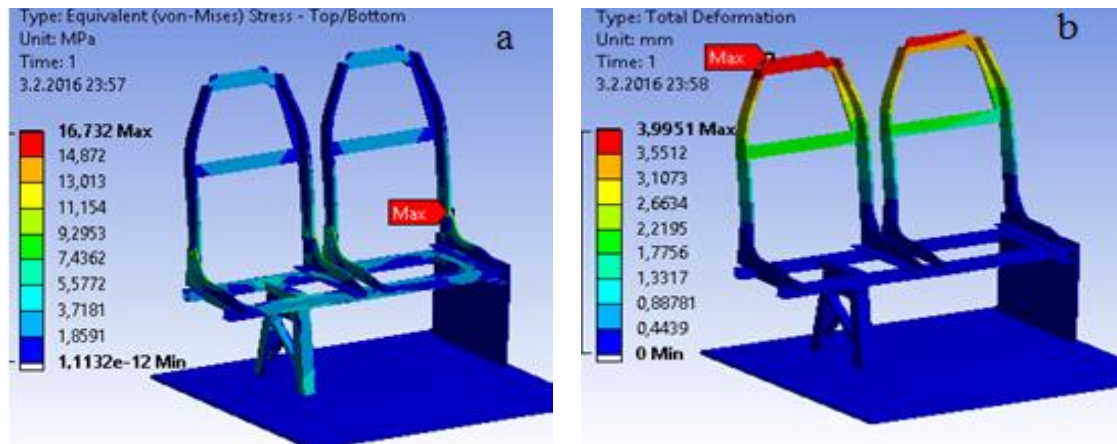


Figure 12. APTA& ECE R80 deceleration load case analysis results a) Total deformation b) Maximum equivalent stress

3.3.2. APTA Horizontal Force to Seatback Load Case Analysis

The seat design was analyzed according to the APTA, 2.23 kN load was applied to the upper

cross member of seatback through the loading bar. The maximum total deformation of the entire seat is 6.44 mm. This value is below the requirement of the APTA standard.

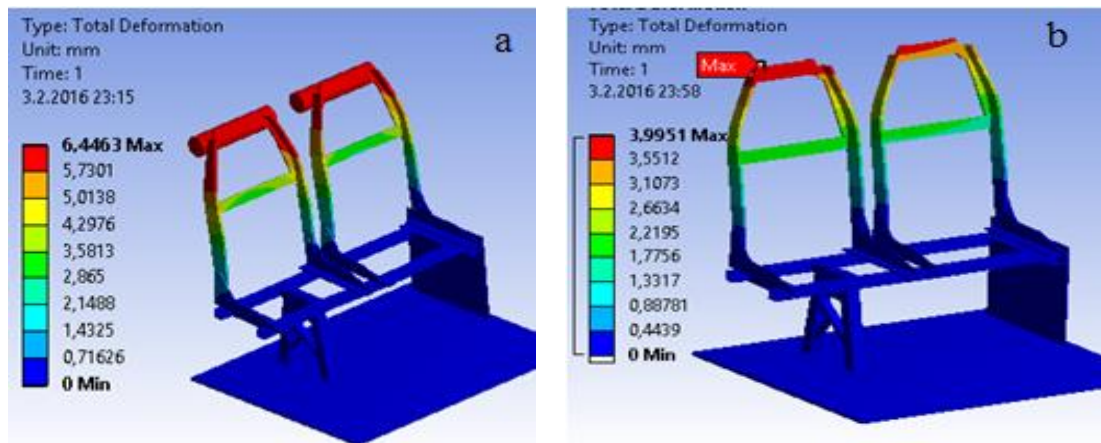


Figure 13. APTA horizontal force to seatback load case analysis a) Total deformation b) Maximum equivalent stress

3.3.3. APTA Vertical Force to Seat Cushion Part Load Case Analysis

The seat design was analyzed according to the APTA, 2.23 kN load was applied to the upper

cross member of seatback through the loading bar. The maximum total deformation of the entire seat is below 1 mm. This value is below the requirement of the APTA standard.

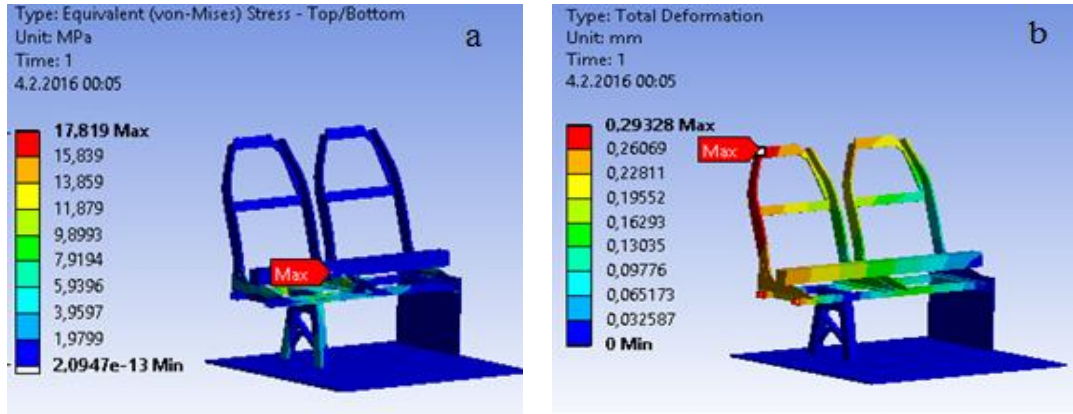


Figure 14. APTA vertical force to seat cushion part load case analysis a) Total deformation b) Maximum equivalent stress

3.3.4. Rearward Force Application Test Simulation

The force was applied through the center of gravity on a rigid member. The force, which was determined according to the FMVSS 207, was equal to the 20 times the mass of the seat in kilograms multiplied by 9.8. The force was applied in 5 seconds, hold for 5 seconds and released in 5 seconds.

The force is expressed as

$$F = 20 \text{ gms (N)} \quad (1)$$

where g is gravity force and m_s is mass of the seat.

The force is determined as

$$F = 20 \times 10,93 \times 9,81 \text{ N} = 2145 \text{ N} \quad (2)$$

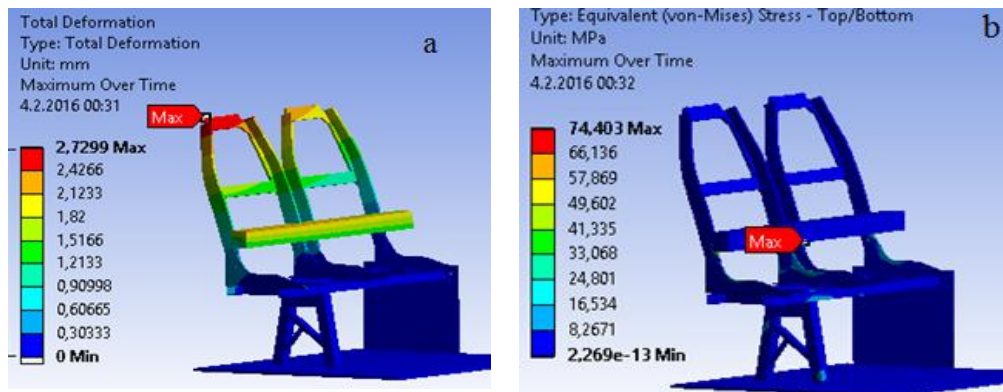


Figure 15. Rearward force application test simulation a) Total deformation b) Maximum equivalent stress

3.3.5. Moment applied in a Rearward Longitudinal Direction Test Simulation

The force was applied to the upper cross-member of the seat backs. All loads were applied in 5 seconds, hold for 5 seconds and released in 5 seconds.

The force is expressed as

$$F = M / D \quad (3)$$

where $M= 373 \text{ Nm/occupant}$, D is the Vertical distance between SRP plane and upper cross member.

The force is determined as

$$F=373/0,329 =1133\text{N} \quad (4)$$

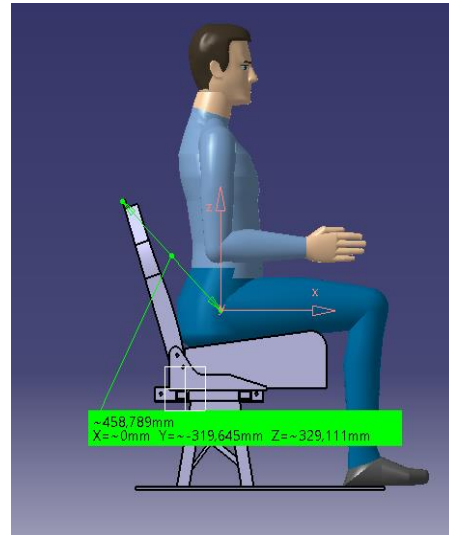


Figure 16. Vertical distance between SRP plane and upper cross member

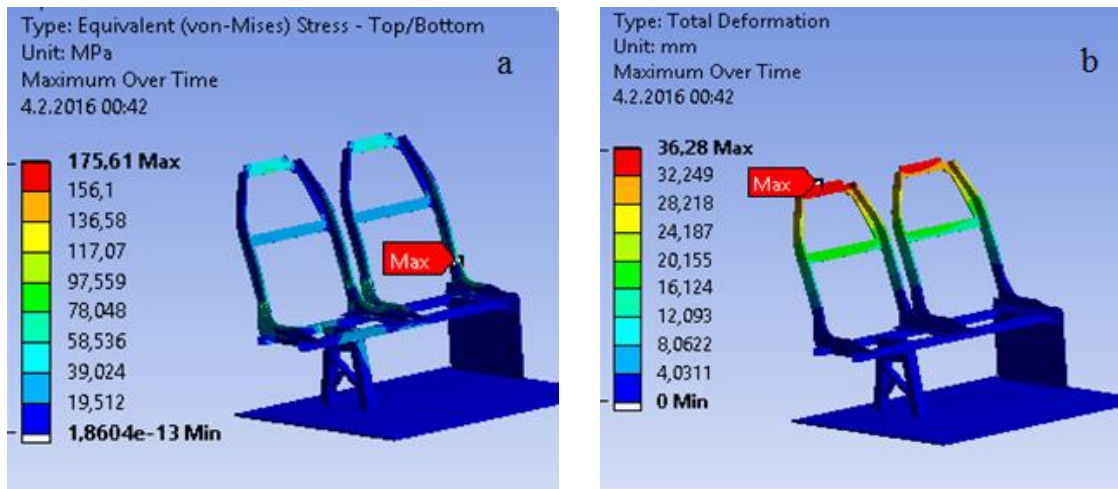


Figure 17. Rearward moment application test simulation a) Total deformation b) Maximum equivalent stress

3.4. Comparison of Seat Design

The main objective of this study is reducing the seat weight. Therefore, lightweight material was used to reduce the weight. An aluminum alloy was selected. The seat structures were tested

safety standards that are set for bus seats. The seat designs are shown in Figure 18.

The aluminum alloy design has higher wall thickness for seat frame part. Table 8 represents the seat and floor attachment part of aluminum alloy design are closer to the sidewall.

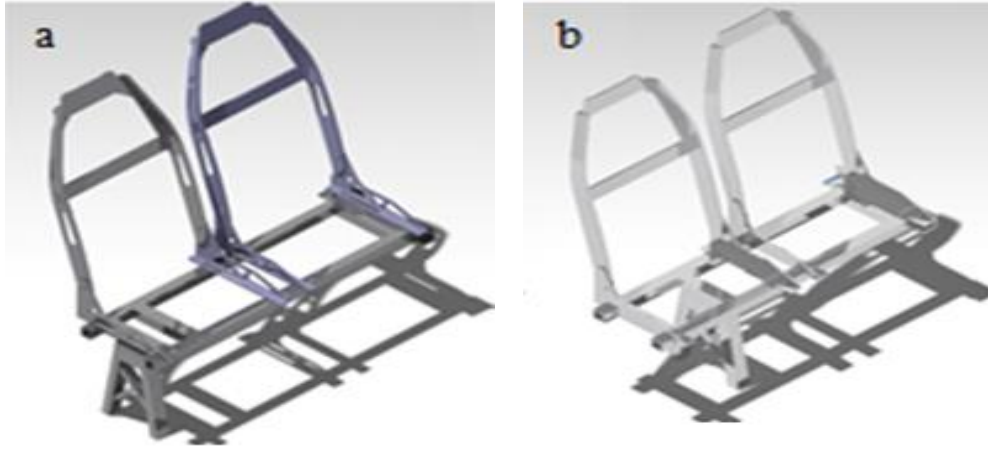


Figure 18. Seat designs a) Reference seat design b) Aluminum alloy seat design

Table 8. Comparison of seat designs

Part Name	Reference	Al-6061	Reference	Al-6061
	Wall Thickness(mm)		Seat Weight (kg)	
Seat-Floor Attachment	4	4	2.133	0.9
Seat Frame	2	4	4.398	3.14
Seat Upper Frame	6	6	0.918	0.46
Sidewall Attachment	5	5	0.83	0.22
Seatback	10	10	5.447	2.42
Total Weight			21.927	10.93

As seen in the Table 9, the aluminum alloy decreases the reference seat's total mass 21.92 to 10.99 kg (50% in mass).

Table 9. Weight comparison

	St-37	Al 6061
Total Weight (kg)	21.92	10.93
Weight Reduction (kg)	0	10.99
Weight Reduction (%)	0	50.14
Bus Weight Reduction* (%)	0	2.83

* This calculation is done for a bus with 40 seats

In addition to fact that the aluminum alloy provides weight reduction, when we calculate the factor safety for final design, it can be seen that its factor safety is about 1,6.

The factor of safety expressed as

$$\text{factor of safety} = \frac{\text{material yield stress}}{\text{maximum design stress}} \quad (5)$$

for design with Al 6061 is determined as

$$\text{factor of safety} = \frac{276}{175} = 1,57 \quad (6)$$

where material yield stress is equal to 276 Mpa from Table 2 and maximum design stress is 175 Mpa from Table 7.

Reducing vehicle weight can help decrease energy and petroleum consumption by increasing efficiency. In addition, it decreases the greenhouse gas emissions. Ghassmieh estimated that for every 10% of weight eliminated from a vehicle's total weight, fuel economy improves by 7% and for every kilogram of weight reduced in a vehicle; there is about 20 kg of carbon dioxide reduction [3]. According to the Ghassmieh's estimations fuel economy and CO₂ reductions were calculated

Weight Reduction of Intercity Bus by Different Seat Construction Design in Compliance with APTA and FMVSS Standards

approximately for this study, calculation results are shown in Table 10.

Table 10. Fuel economy and CO₂ reduction calculation for Al-6061 seat design

Estimation		Calculation for Al 6061	
Vehicle Weight Reduction	Fuel Economy	Vehicle Weight Reduction	Fuel Economy
10%	7%	3%	2.1%
Weight	CO ₂	Weight	CO ₂
Reduction	Reduction	Reduction *	Reduction *
1 kg	20 kg	440 kg	8800 kg

* This calculation is done for a bus with 40 seats

4. CONCLUSION

The aim of this study was designing lightweight seat design for an intercity bus. Aluminum alloys material was used to reduce the weight of the seat design.

Conclusions based on the comparison of designs with reference seat design

- 50% weight reduction was obtained by using aluminum alloy as seat material.
- If aluminum alloy design used for a bus with 40 seat 2.1% fuel economy could be obtained and 8800 kg CO₂ emission could be prevented during lifetime in comparison with the reference design.

5. REFERENCES

1. International Transport Forum, Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions-Trends & Data, 2010. 15.07.2015, 2010.
2. U.S. Energy Information Agency, International Energy Outlook, 2013. 15.07.15, 2013.
3. Ghassemieh, E., 2011. Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects, New Trends Developments in Automotive Industry, Chiaberge, M., 978-953-307-999-8
4. Stodolsky, F., Vyas, A., Cuenca, R., Gaines, L., 1995. Life-Cycle Energy Savings Potential from Aluminum-Intensive Vehicles, 1995. Total Life Cycle Conference & Exposition, Vienna, Austria.
5. Yuce, C., 2013. Yeni Nesil Ticari Araçlar için Hafifletilmiş Yolcu Koltuğu Tasarımı ve Prototip İmalatı, Master's Degree, Uludağ University, Institute of Science and Technology.
6. Burman, R., 1997. 11-IBCAM Vehicle Technology '97, Automotive Engineer.
7. Garcia Nieto, P.J., Vilan, J.V., Del Coz Diaz, J.J. Matias, J.M., 2009. Analysis and Study of an Automobile Rear Seat by FEM, International Journal of Computer Mathematics, 86;640-664.
8. Steinwall, J., Viippola, P., 2014. Concept Development of a Lightweight Driver's Seat Structure & Adjustment System, Master's Degree, Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology.
9. U.S. Department of Energy, Multi-Year Program Plan 2011 – 2015, 16.07.15, 2010.
10. Cheah, L.W., 2010. Cars on a Diet: The Material and Energy Impacts of Passenger Vehicle Weight Reduction in the U.S., Doctor of Philosophy, Engineering Systems at The Massachusetts Institute of Technology.
11. The Aluminum Association, Aluminum Alloys 101, The Aluminum Association, 03.08.2015.
12. MatWeb, LLC., <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=90404a0c001c4016b2b359a6c19f9127>, 03.08.2015.
13. American Public Transportation Association, APTA Bus Procurement Guidelines, 03.08.2013.
14. The Executive Director Office of the Federal Register Washington, 1984. D.C., SAE 1100: Motor Vehicle Dimensions, 4.08.2015.
15. Bergeron, F., Audet, J.F., 2004. Feasibility Study for the Development and Marketing of Magnesium Seats for Motor Coaches and other modes of Public Transit, Feasibility Report, TP 14275E, Transportation Development Centre, Canada.
16. U.S. Government Publishing Office, 2008. Federal Motor Vehicle and Safety Standard, Standard No. 207, Seating Systems, 4.08.2015.
17. Liu, S.S.Q.G.R., 2003. The Finite Element

Method: A Practical Course. Butterworth-Heinemann.

- 18.** ANSYS, Inc., ANSYS Meshing User's Guide, Knowl. Creat. Diffus. Util., vol. 15317.
- 19.** Ansys, 2014. An Overview of Methods for Modelling Bolts in ANSYS V15, in Ansys Regional Conference.

Investigation of the Uplift Capacity of Group Anchor Plates in Geogrid-Reinforced Sand

Buse EMİRLER^{*1}, Mustafa TOLUN¹, Mustafa LAMAN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 07.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

In this study, the uplift capacity of group anchors has been investigated in sand with and without geogrid reinforcement experimentally and numerically. While the investigated parameters are the effect of embedment ratio of anchors and number of geogrid layers for a single anchor plate and 2x2 anchor configuration, the constant parameters are spacing ratio between anchors, depth of the first layer of geogrid, vertical spacing ratio of geogrid layers and length of geogrid. Experimental studies have been modelled and analyzed with Plaxis 3D which is a finite elements software. The results obtained from both of the studies have been compared and the validity of the numerical analysis has been investigated on the uplift capacity of anchor plate. As a result, it was shown that depending on the reinforcement geogrid, the uplift capacity of anchor plate can be improved by up to 2 times that of the unreinforced sand.

Keywords: Laboratory test, Numerical analysis, Uplift capacity, Anchor plate, Geogrid

Geogrid Donatılı Kumda Grup Ankraj Plakalarının Çekme Kapasitesinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, geogridle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum zemindeki grup ankrajların çekme kapasitesi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Tek ve 2x2 yerleşim düzenindeki ankraj plakalarında gömülme oranı ve geogrid tabakası sayısının çekme kapasitesine etkisi araştırılırken, ankrajlar arası mesafe oranı, geogrid tabakasının ilk derinliği, geogrid tabakaları arası düşey mesafe ve geogrid tabakasının uzunluğu sabit tutulmuştur. Deneyler sonlu elemanlar programına dayalı Plaxis 3D bilgisayar programı ile sayısal olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalar ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sayısal analizin ankraj plakasının çekme kapasitesini tahminindeki başarısı araştırılmıştır. Sonuç olarak, geogridle güçlendirmenin ankraj plakasının çekme kapasitesini 2 kata kadar artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Laboratuvar deneyi, Sayısal analiz, Çekme kapasitesi, Ankraj plakası, Geogrid

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Buse EMİRLER, bemirler@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Nowadays, various kinds of structures are needed due to the changes in necessities. Depending on these needs, it has become inevitable to use the foundation systems in different types. Foundation systems of specific structures such as high-voltage power lines, communication towers, long factory chimneys and sea platforms have been subjected to different loading conditions. These structures are under the influence of uplift loading conditions. Some examples of the mentioned loads are eccentricity based loads; lifting load in structures constructed afloat and lifting loads in empty silos. Although it is generally enough for foundation systems to be analyzed and designed in terms of compression loads, some foundation systems should be designed by analyzing them in terms of uplift load. Especially the foundation systems under uplift loads should be designed according to the factors affecting the uplift capacity. Anchor systems have been used effectively in structures subjected to uplift load recently. These anchor systems are affected by some factors such as soil properties, embedment ratio and anchor group configuration [1].

Several theoretical and numerical studies were performed to predict the influence of various parameters on the uplift response of horizontal anchor plates in sand [2-10]. A number of experimental investigations were reported by several researchers to evaluate the uplift capacity of anchor plates in cohesionless soil [11-19]. The results of these investigations showed that the uplift capacity of the anchor plates can be significantly improved by increasing the size and depth of anchor plate. However, in some situations, it is generally not economical to increase the size and depth of anchor plates due to increase in cost of excavation, and problem of compacting fill material below possible existing water table at great depths. In such conditions, it is necessary to investigate alternative methods to improve the uplift capacity of an anchor plate.

Application of geosynthetics inclusions is a well known alternative method of soil reinforcement that increases the resistance of soil due to interaction of soil and tensile elements. Anchor plates can be loaded by higher uplift loads due to use of geosynthetics reinforcement, which has got high mechanical and chemical resistance, high durability, and good interaction between soil and reinforcement. Although many studies on uplift capacity of anchor plates in unreinforced sand have been carried out as mentioned before, investigations on the uplift capacity behaviour of an anchor plate in geosynthetics-reinforced sand are still very limited [20].

Ilamparuthi et al. [21] conducted two series of uplift load tests on anchors embedded in submerged sand. First series of tests were in submerged sand and the second series of tests were in submerged sand reinforced with single layer of geogrid. The geogrid was positioned directly on the anchor and its width ratio was varied ($B_r/B = 2, 3$ and 4). Other parameters varied in both monotonic and cyclic mode of loading were embedment ratio of anchor ($H/B=2, 3$ and 4) and relative density of sand (loose, medium and dense conditions). Niroumand et al. [22] investigated the uplift response of symmetrical anchor plates with and without grid fixed reinforcement (GFR) in model tests and numerical simulations by Plaxis. Many variations of reinforcement layers were used to reinforce the sandy soil over symmetrical anchor plates. In the study, different factors such as relative density of sand, embedment ratios, and various GFR parameters including size, number of layers, and the proximity of the layer to the symmetrical anchor plate were investigated in a scale model. Niroumand and Kassim [23] evaluated the uplift response of symmetrical anchor plates with and without geogrid reinforcement layers in model tests and numerical simulations by using PLAXIS. Many parameters of the reinforcement layers were used to reinforce the sandy soil over circular, square, and rectangular symmetrical anchor plates of various sizes. In the study, different parameters such as

relative density of sand and embedment ratios, in conjunction with geogrid reinforcement layer parameters including size, number of layers, and the proximity of the layer to the circular anchor plate were investigated in a scale model. Keskin [20] investigated the uplift capacity of horizontal square anchor plates in sand with and without geogrid reinforcement, experimentally. The investigated parameters were the effect of the depth of the single layer of geogrid, vertical spacing, number and length of geogrid layers, the effects of embedment depth, and relative density of sand. A series of three dimensional finite element analyses model was established and confirmed to be effective in capturing the behaviour of anchor plate-reinforced sand by comparing finite element method's predictions with experimental results.

In this paper, the uplift capacity of group anchors systems has been investigated in loose sand with and without geogrid reinforcement through experimental and numerical studies. While the investigated parameters are the effect of embedment ratio of anchors ($H/B=2, 4$ and 6) and number of geogrid layers ($N=1, 2$ and 3) for a single anchor plate and 2×2 anchor configuration, the constant parameters are spacing ratio between anchors ($S/B=4$), depth of the first layer of geogrid ($u/B=0.00$), vertical spacing ratio of geogrid layers ($h/B=0.50$) and length of geogrid ($L/B=14$). Furthermore, a series of three dimensional finite element analyses have been carried out and confirmed to be effective in capturing the behaviour of group anchor plates by comparing 3D-finite element methods predictions with experimental results.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Experimental Study

The experimental program was carried out by using the facility in the Geotechnical Laboratory of the Civil Engineering Department of the Cukurova University. The facility and a typical model are shown in Figures 1 and 2.

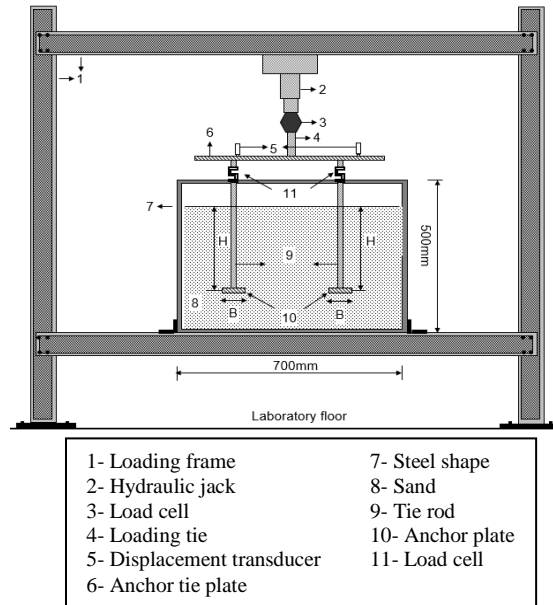


Figure 1. Test apparatus



Figure 2. Test setup

Tests were conducted in a test box made of a steel frame having inside dimensions of 700 mm×700 mm in top view and 500 mm in

depth as shown in Figures 1 and 2. Uplift tests were performed on square anchor plate which was fabricated from mild steel with 10 mm thickness. In the tests, 50 mm×50 mm square plate was used. The model soil used throughout the model tests was uniform, clean and fine sand obtained from Seyhan River bed. Laboratory tests were conducted on representative sand samples for gradation, specific gravity, maximum and minimum densities and strength parameters. Using the Unified Soil Classification System, the material was determined to be poorly graded sand (SP). Table 1 summarizes the general physical characteristics of the sand. The experimental test was conducted on sample prepared with average unit weights of 15.7 kN/m³. Corresponding relative density (D_r) of the sample was 35%. The estimated internal friction angle of the sand determined from triaxial test using specimens at the same relative density was 38°.

Table 1. Properties of sand [1]

	Value
Coarse sand fraction (%)	0.0
Medium sand fraction (%)	46.9
Fine sand fraction (%)	53.1
D ₁₀ (mm)	0.20
D ₃₀ (mm)	0.30
D ₆₀ (mm)	0.50
Uniformity coefficient, C _u	2.50
Coefficient of curvature, C _c	0.50
Specific gravity, γ (kN/m ³)	26.8
Dry unit weight, γ_d (kN/m ³)	15.7
Classification (USCS)	SP

A white colored, SG Q1 type geogrid with maximum tensile strength of 60 kN/m was used as reinforcing material in the tests. SG Q1 type geogrid is made of stretched, monolithic polypropylene (PP) flat bars with welded junctions. The physical and mechanical properties of the geogrid as listed by the manufacturer are given in Table 2.

Table 2. Properties of geogrid [20]

Properties	SG Q1
Raw material	PP
Color	White
Max. tensile strength, md*/cmd**	60/60
Roll dimensions (m×m)	4.75×100

*md=machine direction, **cmd=cross machine direction

The unreinforced soil beneath the anchor plate was compacted in layers of 50 mm in thickness. Then the anchor plate was placed into position in the center of the tank on soil surface. The anchor was checked to be in a good position and a completely horizontal arrangement. The model anchor plate was connected to a tie rod to apply the uplift load. The sand was then again deposited in layers into the test tank over the anchor plate and layers were continued to be applied until the required surface level was reached. The uplift load was applied to the model anchor by a motor-controlled hydraulic jack system. The system attached to the loading frame located above the test box has a loading rate of approximately 4.705 mm/min for each uplift test. The uplift load was measured using a calibrated electronic load cell attached to the tie rod during the uplift test. The vertical displacements of the anchor plate were measured using two linear variable displacement transducers. For each test, the uplift load-displacement measurements were recorded by a data logger unit. The tests were continued until the applied uplift load clearly reduced or a considerable displacement occurred from a relatively small increase of uplift load.

In this study, four series of tests were conducted to investigate the effects of the embedment ratio and geogrid layers on the anchor plate behaviour. Each series of test was conducted to study the effect of one parameter while the other variables were kept constant. Figure 3 and Table 3 summarize all test programs with constant and variable parameters used.

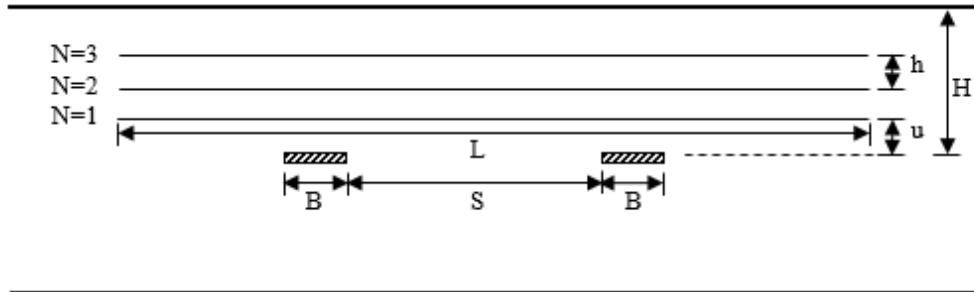


Figure 3. Geometric parameters of model tests

Table 3. Test program

	Constant parameters	Variable parameters
I	Single anchor, unreinforced, $D_r=35\%$	$H/B=2, 4, 6$
II	Single anchor, $D_r=35\%$, $H/B=4$, $u/B=0$, $h/B=0.50$, $L/B=20$	$N=1, 2, 3$
III	2x2 group anchor, unreinforced, $D_r=35\%$, $S/B=4$	$H/B=2, 4, 6$
IV	2x2 group anchor, $D_r=35\%$, $H/B=4$, $S/B=4$, $u/B=0$, $h/B=0.50$, $L/B=20$	$N=1, 2, 3$

2.2. Numerical Modeling

A series of three-dimensional finite element analyses on group anchor plate-soil system were carried out in order to validate the results of the laboratory model tests and to provide insights into the uplift behaviour within the soil mass. The finite element analysis was performed by using the commercial program "PLAXIS 3D Tunnel" (version 2.0). The geometry of the model anchor plate-soil system was assumed to be the same as the laboratory model. The same material of steel plate for anchor, geogrid, and sand were used in the numerical study. Only a quarter of the anchor plates were modeled using symmetry conditions at the anchor plate centerline, to reduce the calculation time. In the numerical study, the Hardening Soil Model (HSM) was used to describe the non-linear sand behaviour in this study. The anchor plates were modeled as elastic beam elements and the geogrid reinforcement was modeled by using elastic geogrid elements. The only property in a geogrid dataset is the elastic axial stiffness, $EA = 1100$ kN/m, entered in units of force per unit width. In order to obtain the most suitable mesh for the reported study, preliminary computations using the five available levels of global mesh coarseness for an anchor plate in

reinforced sand were conducted in the analyses. As a result of mesh analysis, it was decided to use medium mesh density. A prescribed uplift load was then applied in increments accompanied by iterative analysis up to failure. The values of parameters used in the numerical investigation are shown in Tables 4 and 5. The 3D finite element mesh used in the analyses is shown in Figure 4.

Table 4. Properties of sand used in the analyses [1]

Properties	Value
Unit weight, γ (kN/m ³)	15.7
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	21600
E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	21600
E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	64800
c (kN/m ²)	0.5
ϕ (°)	38

Table 5. Properties of anchor plate in the analyses [1]

Properties	Value
EI (kNm ² /m)	1.667
EA (kN/m)	2.0×10^5

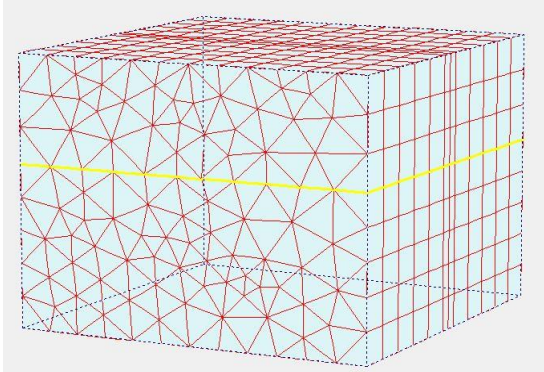


Figure 4. Finite element mesh (Plaxis 3D Tunnel)

3. RESULTS OF EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES

The uplift capacities are often expressed in dimensionless form as breakout factor N_{qu} [14]. The breakout factor is determined by the following formula:

$$N_{qu} = \frac{T_u}{\gamma BLH} \quad (1)$$

in which N_{qu} is breakout factor, T_u is the uplift capacity, γ is soil unit weight, B is anchor width, L is anchor length and H is embedment depth.

In this study, the term “uplift capacity ratio” (UCR) has been used to express and compare the tests data of the reinforced and unreinforced soils. The following definition is used for UCR.

$$UCR = \frac{T_{ur}}{T_u} \quad (2)$$

in which T_{ur} and T_u are the uplift capacities for the reinforced and the unreinforced soils, respectively.

For group anchor plates, the uplift capacities are expressed as group breakout factor $N_{qu(group)}$. The factor is determined by the following formula:

$$N_{qu(group)} = \frac{T_{u(group)} \times 100}{N \times T_u} \quad (3)$$

in which $T_{u(group)}$ is total uplift capacity, N is number of anchor plate, T_u is the uplift capacity for a single anchor.

For group anchor plates, the uplift capacities are expressed as group uplift capacity ratio $UCR_{(group)}$. The ratio is determined by the following formula:

$$UCR_{group} = \frac{T_{ur(group)}}{T_{u(group)}} \quad (4)$$

in which $T_{ur(group)}$ and $T_{u(group)}$ are the uplift capacities of group anchor plates for the reinforced and the unreinforced soils, respectively.

3.1. The Effect of Embedment Ratio for a Single Anchor

The tests in this series have been conducted to determine the relation of the uplift capacity, T_u and breakout factor, N_{qu} to embedment ratio, H/B . In the tests, 50mm square anchor plate has been used and the relative density of sand was $D_r=35\%$. The H/B ratios were 2, 4 and 6. The variations of T_u-H/B and $N_{qu}-H/B$ are presented in Figures 5 and 6, respectively. The figures show that the general trends of finite element analyses agree well with those of the model tests. From Figure 5, it can be concluded that the uplift capacity, T_u increases significantly with an increase in embedment ratio, H/B . This increase can be explained as thickness of homogenous zone between anchor plate and soil surface is efficient and the uplift capacity increases with the increase of thickness of this zone. As seen from Figure 5, anchor plate with a maximum embedment ratio of $H/B=6$ has a higher uplift capacity than anchor plate with a in minimum embedment ratio of $H/B=2$. Also, from Figure 6, it is clear that; a significant, almost linear, increase in

breakout factor with the embedment ratio has been obtained from both experimental and numerical studies.

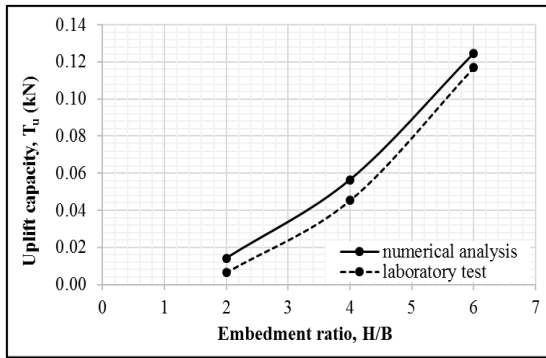


Figure 5. Variations of T_u with H/B

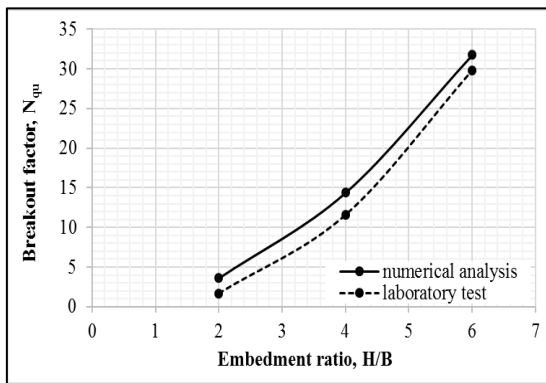


Figure 6. Variations of N_{qu} with H/B

Plaxis 3D Tunnel has been used to investigate the effect of embedment ratio of anchor plate on the displacement. The displacement contours are presented in Figure 7. The contours intensify around the plate with the increase of embedment ratio and diminish towards the soil surface. The displacement value is almost the same between the plate and soil surface for $H/B=2$. On the other hand, it is different between the soil surface and around the plate for $H/B=4$ and 6. The values of displacements around the plate when comparing the soil surface are 2 and 3 times for $H/B=4$ and 6, respectively.

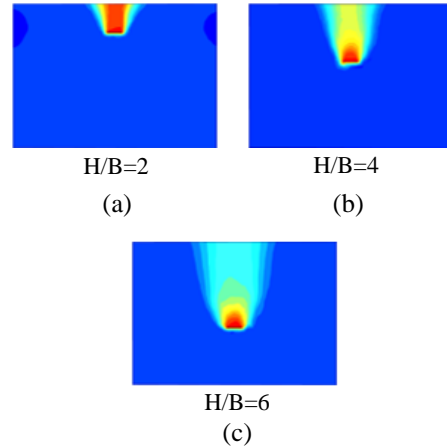


Figure 7. Displacement contours for an anchor plate

3.2. The Effect of the Number of Geogrid Layers for a Single Anchor

A series of laboratory model tests and finite element analyses were conducted in sand reinforced with multiple layers of SG Q1 geogrid. For the tests, the values of u/B , h/B , and L are kept constant as 0.00, 0.50 and $14B$, respectively. Figure 8 shows the variation of UCR obtained from model tests and numerical analyses with number of geogrid layers, N (0, 1, 2 and 3). A sharp increase in uplift capacity has been observed initially with the increase of the number of geogrid layers up to two. This is indicating that the geogrid layers had significant effect on the UCR up to two geogrid layers. However, the addition of more layers of geogrid after the second one has not contributed much to the uplift capacity improvement.

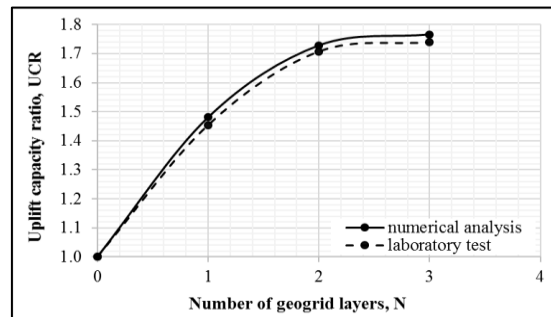


Figure 8. Variations of UCR with N

Plaxis 3D Tunnel has also been used to investigate the effect of number of geogrid layers on the displacement. The displacement contours are presented in Figure 9. As shown, the geogrid placed on the anchor plate has significantly absorbed the displacement and the displacements have been prevented to reach the soil surface because of the geogrid. The displacement contours obtained from numerical analysis has also shown that the addition of more layers of geogrid after the second one has not contributed much to the uplift capacity improvement. Hence, the optimum geogrid layer has been suggested as two for this study.

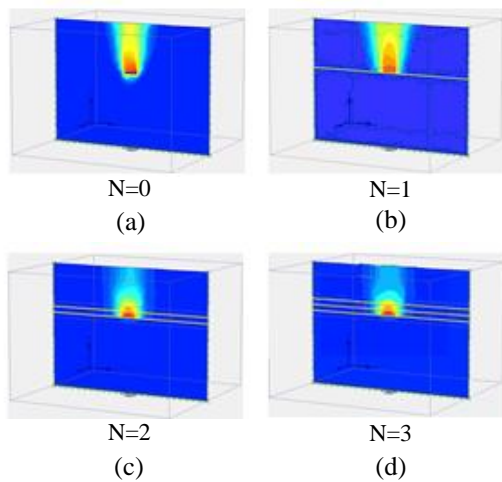


Figure 9. Displacement contours for an anchor plate with geogrid-reinforcement (H/B=4)

3.3. The Effect of Embedment Ratio for 2x2 Anchor Configuration

The tests in this series have been conducted to determine the relation of group uplift capacity, $T_{u(\text{group})}$ and group breakout factor, $N_{qu(\text{group})}$ on the embedment ratio, H/B for 2x2 anchor configuration. In the tests, 50mm square anchor plate has been used and the relative density of sand was $D_r=35\%$. The H/B ratios were 2, 4 and 6. The variations of $T_{u(\text{group})}$ -H/B and $N_{qu(\text{group})}$ -H/B are shown in Figures 10 and 11, respectively. The figures show that the general trends of finite element analyses agree well with those of the

model tests. As seen from Figure 10, the group uplift capacity, $T_{u(\text{group})}$ increases significantly with an increase in embedment ratio, H/B. Anchor plate with maximum embedment ratio of H/B=6 has a higher uplift capacity than anchor plate with minimum embedment ratio of H/B=2. In case of the embedment ratio of H/B=6, the uplift capacity of anchor plate is approximately 8 times more than the uplift capacity of anchor plate embedded in H/B=2. Also, from Figure 11, it is clear that; a significant, almost linear, decrease in group breakout factor with the embedment ratio has been obtained from both experimental and numerical studies.

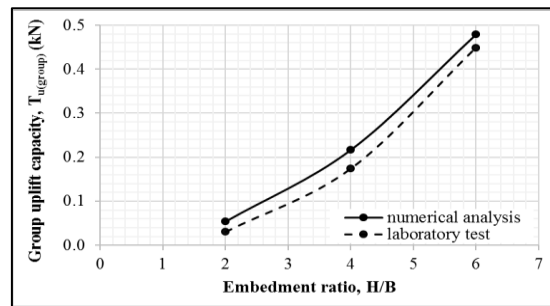


Figure 10. Variations of $T_{u(\text{group})}$ with H/B

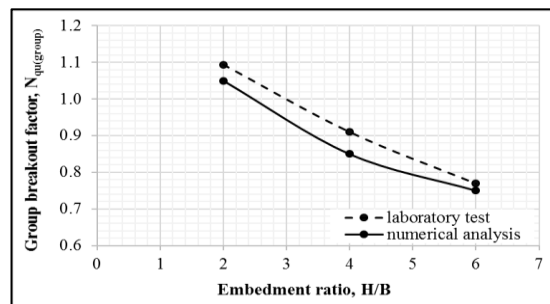


Figure 11. Variations of $N_{qu(\text{group})}$ with H/B

The displacement contours are presented in Figure 12. The contours intensify around the plate with the increase of embedment ratio and diminish towards the soil surface. The displacement values around the plate when comparing the soil surface are different and these values are 2, 5 and 7 times for H/B=2, 4 and 6, respectively. Also, failure zones of the anchor plates have been affected more by each other with the increase of embedment ratio.

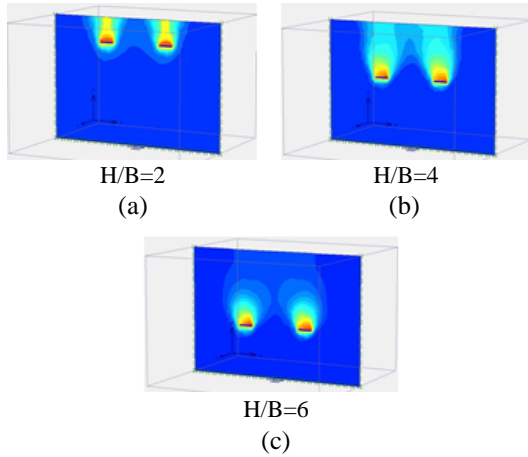


Figure 12. Displacement contours for 2x2 anchor configuration

3.4. The Effect of Number of Geogrid Layers for 2x2 Anchor Configuration

The tests in this series have been conducted to determine the relation of uplift capacity ratio, UCR_{group} and number of geogrid layers, N . In the tests, 50mm square anchor plate has been used and the relative density of sand was $D_r=35\%$. Figure 13 shows the variation of UCR_{group} obtained from model tests and numerical analyses with number of geogrid layers, N (0, 1, 2 and 3). The curves of UCR_{group} are nonlinear with the increase of N . A sharp increase in uplift capacity has been observed with the increase of the number of geogrid layers increasing up to two. However, the addition of more layers of geogrid after the second one has not contributed much to the uplift capacity improvement.

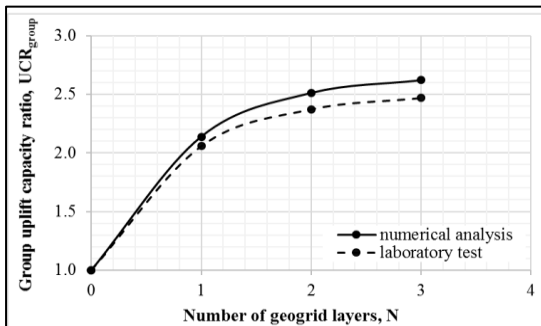


Figure 13. Variations of UCR_{group} with N

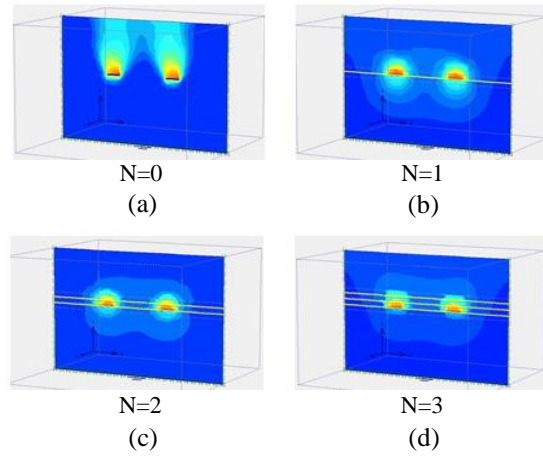


Figure 14. Displacement contours for 2x2 anchor configuration with geogrid-reinforcement ($H/B=4$)

Plaxis 3D Tunnel has also been used to investigate the effect of number of geogrid layers on the displacement for 2x2 anchor configuration. The displacement contours are presented in Figure 14. As shown the geogrid placed on the anchor plates has significantly absorbed the displacement and the displacements have been prevented to reach the soil surface because of the geogrid. The displacement contours obtained from numerical analysis has also shown that the addition of more layers of geogrid after the second one has not contributed much to the uplift capacity improvement.

4. CONCLUSIONS

In this paper, the uplift capacity of anchor plate systems has been investigated in sand through experimental and numerical studies. Based on the results, the following main conclusions can be drawn:

- Both experimental and numerical studies show that the uplift capacity for a single anchor plate and 2x2 anchor configuration in sand conditions increases with the increase of embedment ratio.
- The uplift capacity ratio increases with the increase of the number of geogrid layers.

However, the addition of more than two layers of geogrid has not contributed much to the uplift capacity improvement.

- The displacement contours intensify around the plate with the increase of embedment ratio and diminish towards the soil surface for a single anchor and 2x2 anchor configuration.
- For a single anchor plate and 2x2 anchor configuration, it has been understood that the geogrid placed on the anchor plates has significantly absorbed the displacement and the displacements have been prevented to reach the soil surface because of the geogrid.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The first author of this study has been supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) with post graduate scholarship. The first author would like to express her thanks to TUBITAK for this support.

6. REFERENCES

1. Emirler, B., 2013. Grup Ankrajların Çekme Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
2. Balla, A., 1961. The Resistance of Breaking-Out of Mushroom Foundations for Pylons, 5th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 569-576.
3. Meyerhof, G.G., Adams, J.I., 1968. The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, *Can. Geotech. J.*, Vol. 5, No. 4, 225-244.
4. Rowe, R.K., Davis, E.H., 1982. The Behaviour of Anchor Plates in Sand, *Geotechnique*, Vol. 32, No. 1, 25-41.
5. Murray, E.J., Geddes, J.D., 1987. Uplift of Anchor Plates in Sand, *J. Geotech. Eng.*, Vol. 113, No. 3, 202-215.
6. Rao, K., Kumar, J., 1994. Vertical uplift Capacity of Horizontal Anchors, *J. Geotech. Eng.*, Vol. 120, No. 7, 1134-1147.
7. Smith, C.C., 1998. Limit Loads for an Anchor/Trapdoor Embedded in an Associated Coulomb Soil, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, Vol. 22, No. 11, 855-865.
8. Merifield, R., Sloan, S.W., 2006. The Ultimate Pullout Capacity of Anchors in Frictional Soils, *Can. Geotech. J.*, Vol. 43, No. 8, 852-868.
9. Samui, P., Sitharam, T.G., 2009. Pullout Capacity of Small Ground Anchors: A Relevance Vector Machine Approach, *Geomech. Eng., Int. J.*, Vol. 1, No. 3, 259-262.
10. Kame, G.S., Dewaikar, D.M., Cohudhurry, D., 2006. Pull Out Capacity of Vertical Plate Anchors in Cohesionless Soil, *Geomech. Eng., Int. J.*, Vol. 4, No. 2, 105-120.
11. Das, B.M., Seeley, G.R., 1975. Breakout Resistance of Shallow Horizontal Anchors, *J. Geotech. Eng.*, Vol. 101, No. 9, 999-1003.
12. Rowe, R.K., 1978. Soil Structure Interaction Analysis and Its Application to the Prediction of Anchor Behavior. Ph.D. Thesis; University of Sydney, Australia.
13. Ovesen, N.K., 1981. Centrifuge Tests of the Uplift Capacity of Anchors, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 717-722.
14. Dickin, E.A., 1988. Uplift behavior of Horizontal Anchor Plates in Sand, *J. Geotech. Eng.*, Vol. 114, No. 11, 1300-1317.
15. Murray, E.J., Geddes, J.D., 1989. Resistance of Passive Inclined Anchors in Cohesionless Medium, *Geotechnique*, Vol. 39, No. 3, 417-431.
16. Dickin, E.A., Laman, M., 2007. Uplift Response of Strip Anchors in Cohesionless Soil, *J. Adv. Eng. Softwares*, Vol. 38, 618-625.
17. Bildik, S. and Laman, M., 2011. Experimental Investigations on Uplift Behaviour of Plate Anchors in Cohesionless Soil, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Uni.*, Vol. 26, No. 2, 486-496.
18. Bera, A.K., 2014. Parametric Study on Uplift Capacity of Anchor with Tie in Sand, *KSCE J. Civ. Eng.*, Vol. 18, No. 4, 1028-1035.
19. Zhu, H.H., Mei, G.X., Xu, M., Yin, J.H., 2014. Experimental and Numerical Investigation of Uplift Behavior of Umbrella-Shaped Ground Anchor. *Geomech. Eng., Int. J.*, Vol. 7, No. 2, 165-181.
20. Keskin, M.S., 2015. Model Studies of Uplift Capacity Behavior of Square Plate Anchors in Geogrid-Reinforced Sand. *Geomechanics and Engineering*, Vol. 8, No. 4, 595-513.

- 21.** Ilamparuthi, K., Ravichandran, P.T., Mohammed Toufeeq, M., 2008. Study on Uplift Behaviour of Plate Anchor in Geogrid Reinforced Sand Bed, Geotechnical Earthquake and Engineering and Soil Dynamics IV Congress, pp. 1-10.
- 22.** Niroumand, H., Kassim, K.A., Nazir, R., 2013. The Influence of Soil Reinforcement on the Uplift Response of Symmetrical Anchor Plate Embedded in Sand, Measurement, Vol. 46, No. 10, 2608-2629.
- 23.** Niroumand, H., Kassim, K.A., 2014. Uplift Response of Symmetrical Anchor Plates in Reinforced Cohesionless Soil, Arab. J. Geosci., Vol. 7, No. 9, 3755-3766.
- 24.** PLAXIS 3D Tunnel. Geotechnical Finite Element Software. Delft, The Netherlands.

Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi

Duygu ERTÜRKMEN*¹, İsmail Hakkı ÇAĞATAY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 07.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan yapı düzensizliklerinden olan, yumuşak kat ve zayıf kat düzensizlikleri incelenmiştir. Bu amaçla, farklı geometriye sahip 10 katlı, 5 farklı dolgu duvarlı yapı, her iki deprem yönü doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu modeli ile modellenmiş ve yapılan analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır. Sırasıyla C, D, E, F ve G olarak isimlendirilen yapılar, önce tamamen duvarlı olacak şekilde modellenmiş sonra ise, sırayla her katta mevcut olan duvarlar kaldırılarak duvarların olmadığı durumda yapıların periyot ve maksimum deplasman değerlerindeki değişim ile yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliği durumlarının oluşumu incelenmiştir. Aynı yapılar 5 katlı olarak da analiz edilmiş ve yapılan tüm analizlerden elde edilen sonuçlara göre, dolgu duvarlı olarak modellenen N katlı tüm yapı tipleri için yumuşak kat oluşumunun, yapıların 2. ve N-1. katlarında duvarların olmadığı durumlarda meydana geldiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2007 Deprem yönetmeliği, Dolgu duvar, Yumuşak kat, Zayıf kat, Deprem düzensizlikleri

Investigation of Soft Story and Weak Story Irregularities on the Structures with Infill Walls

Abstract

In this study, soft story and weak story irregularities defined in the Earthquake Code 2007 were investigated. For this purpose, five different 10-story structures with different geometries and infill walls were analyzed using the Equivalent Seismic Load Method in line with both earthquake directions. The infill walls were modeled by the equivalent diagonal compression strut model and the SAP2000 program was used for all the analysis. First of all, structures that were identified by the letter of C, D, E, F and G

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Duygu ERTÜRKMEN, dbasli@cu.edu.tr

were completely modeled with using the infill walls. Then the walls that exist in each story of the structures were removed sequentially. For each situation the changes of the period, the maximum displacement values and the formation of the soft story and weak story irregularities of the structures were investigated. Within the scope of this study, the same structure models which have five stories were also analyzed. Finally, according to the results obtained from the analysis, it was observed that for all the N-Story types of structures modeled with using infill walls, the soft story irregularities have occurred in second and (N-1)th stories of the structures due to the absence of the walls in these stories.

Keywords: Earthquake code 2007, Infill wall, Soft story, Weak story, Earthquake irregularities

1. GİRİŞ

DBYBHY-2007’de düşey düzensizlikler arasında yer alan ve yapıların büyük oranda hasar görmesine neden olan en önemli etkenlerden biri yumuşak kat düzensizliğidir. Yumuşak kat, matematiksel olarak, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin, bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki})’nin 2,00’den büyük olma durumu şeklinde tanımlanmaktadır.

Ülkemizde birçok konut ve işyeri binası özellikle giriş katlarında yumuşak kat yanlışı yapılarak inşa edilmiştir. Bu şekilde tasarlanmış binalarda karşılaşılan tipik deprem hasarları, genellikle binanın üst katlarının alt kattaki yumuşak kat üzerine çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu tip bir hasar sonrası binanın kullanılabilmesi mümkün olamayacağından binanın tamamen yıkılarak yeniden inşa edilmesi gerekecektir.

Zemin katı, dükkân ve asma katlı dükkân olan binalarda, zemin kat bölme duvarları genellikle bulunmamaktadır. Üstte konut olarak kullanılan katlar ise bölme duvarlar nedeni ile daha rijit davranmakta ve tüm enerji tüketimi zemin katta yoğunlaştığından, bu tür yapılarda yumuşak kat oluşarak hasar meydana gelmektedir. Yumuşak katın deplasmanı yaklaşık olarak binanın tüm deplasmanına eşittir. Bir kat üzerinde yoğunlaşan bu aşırı deplasman, ötelenme nedeni ile o katın kolonlarını beklenmedik şekilde aşırı hasara uğratabilir ve çoğu zaman binanın göçmesine neden olabilir. Özellikle deprem enerjisinin bu katta karşılanacağı göz önüne alınarak burada yer alan kolon ve perdelerin rijitlikleri, kat arasında

oluşacak deplasmanı karşılayabilecek şekilde artırılmalıdır.

Şekil 1’de görülen zemin katları dükkân, üst katları konut olarak kullanılan bu yapıda zemin kat, deprem sonrası oluşan yumuşak kat etkisi nedeniyle ötelenerek yıkılmıştır. Yapının yıkılmasında zemin ve asma katta bölme duvarların olmaması, kat yüksekliğinin fazlalığı ve duvarların olmadığı bu kattaki kolon kesitlerinin yetersizliği gibi sebepler etken olmuştur [1].



Şekil 1. Yumuşak kat etkisi [1]

Benzer şekilde yığma dolgu duvarları olmayan zemin katın, deprem etkisi altında meydana gelecek yatay deplasmanlara karşı dayanımı, yığma dolgu duvarlarının bulunduğu üst katlara göre oldukça azdır. Bu da katlar arasında rijitlik farklılığını oluşturmaktadır. Düşey yönde rijitlik süreksizliği bulunan bu katlara zayıf kat denilmektedir. Zemin kat yüksekliğinin üst katlara nazaran daha fazla olması da, zayıf kat düzensizliğini yaratan ayrı bir durumdur.

Şekil 2’de gösterilen zemin katı işyeri olarak kullanılan asma katlı yapıda, zemin kat zayıf kat

oluşumu nedeniyle bu kat hizasından geçerek yıkılmıştır [2]. Normal katlar ise bölme duvarların varlığı nedeni ile daha rijit davranmaktadır.



Şekil 2. Zayıf kat hasarı [2]

Mevcut analiz ve tasarım tekniklerinde çerçeve sistemli betonarme binaların sadece kolon, kiriş ve döşemelerinin sistemde taşıyıcı oldukları, dolgu duvarların yatay yükler altında taşıyıcı etkilerinin ihmal edildiği analizler yapılmaktadır. Dolgu duvarların yapı rijitliğine katkısının ihmal edilmesinin nedenleri aşağıda sıralanmaktadır [3].

1. Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap modelleri oluşturmak nispeten güç ve karmaşık olabilmektedir.
2. Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap metodları, en azından proje tasarımı seviyesinde yoktur.
3. Yapının enerji yutma kapasitesine ve rijitliğine katkısı genel olarak bilinmesine rağmen güvenli tarafta kalınması için hesaplarda dolgu duvarların etkisi ihmal edilmektedir.

Oysa dolgu duvarlar betonarme yapıların iç bölümlerinde ve dış kısımlarında kullanılmakta ve yapıyı dış ortamdaki ayıran, yapıda mimari açıdan farklı mekânların oluşturulmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Ayrıca yapısal olmayan elemanlar olarak düşünülmesine karşın, deprem yüklerine maruz kaldıklarında çerçeveye birlikte çalışmaktadırlar.

Bugüne kadar meydana gelen birçok deprem sırasında binalarda oluşan hasarlar üzerinde yapılan gözlem ve araştırmalarda dolgu duvarlarda

büyük kalıcı şekil değiştirmelerin oluştuğu saptanmıştır.

Dolgu duvar deprem anında ilk çatlayan eleman olmasına rağmen, depremin ilk anında büyük oranda depreme karşı koymakta ve çatlayarak enerjinin bir kısmını sönmülemektedir. Yapılan araştırmalar dolgu duvarların yapının deprem davranışını büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Periyod, rijitlik, süneklik ve yük taşıma kapasitesi gibi taşıyıcı sistem davranış özelliklerine önemli derecede etkileri saptanmıştır. Bununla birlikte planda dolgu duvarların düzensiz yerleştirilmesi ve binayı kullananlar tarafından keyfi olarak kaldırılması burulmaya ve yumuşak kat oluşumuna neden olmaktadır.

Bahsedilen tüm bu sebeplerden dolayı, dolgu duvarların olumlu etkilerinden yararlanmak ve olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla dolgu duvarlı çerçevenin modellenerek deprem analizinin yapılması gerekmektedir.

Dolgu duvarların yapı davranışı üzerinde oluşturduğu etkilerin belirlenmesi için bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak ifade etmek gerekirse; oluşan bu etkiler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir [4].

- Yapının rijitliği artar, doğal periyodu azalır.
- Deprem etkisinden dolayı meydana gelen yanal kuvvetler artar.
- Plan ve kesitteki yük dağılımı değişir.
- Deprem kuvvetlerinin bir kısmı duvarlar yük taşıma kapasitelerine ulaşana kadar duvar tarafından taşınır, yapı taşıyıcı sistemine gelen yük düzeyi azalır.
- Yapının enerji yutma kapasitesi artar.
- Yumuşak kat oluşumuna sebep olabilir.
- Kısa kolon oluşumuna sebep olabilir.
- Planda dolgu duvarların simetrik dağılmaması durumu ise, burulmaya sebep olabilir.

Yapılan bu çalışmada, yapılarda yumuşak kat (rijitlik) ve zayıf kat düzensizliklerinin oluşma nedenlerinin belirlenmesi ve oluşmalarını engelleyecek tasarım ilkelerinin açıklanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, C, D, E, F ve G isimleri ile adlandırılan 10 katlı 5 farklı yapı için eşdeğer

deprem yükü yöntemi kullanılarak deprem hesabı yapılmış; yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliklerinin oluşumu ve yapıların davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gerek kısmen gerekse tamamen dolgu duvarlı olarak tasarlanan betonarme çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışlarının belirlenmesi üzerine bugüne kadar çok sayıda teorik ve deneysel araştırma yapılmıştır:

Smith [5], dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının duvar boyutları ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra duvar ile kolon arasındaki temas uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir.

Mainstone [6], dolgu duvarlı çerçevelerin analizini kolaylaştırmak amacıyla eşdeğer basınç çubuklarını önermiştir. Bu çubukların genişliklerinin hesabı için de çeşitli formülasyonlar geliştirmiştir.

Livaoğlu ve Doğançün [7], çalışmalarında rijitlik ya da yumuşak kat düzensizliği olarak adlandırılan düzensizliğin oluşmasını engelleyecek olan tasarım ilkelerini açıklamayı amaçlamışlardır. Sonuç olarak, perde çerçeve sistemlerde doğru yerleştirilen perdenin yumuşak kat düzensizliğinin ortaya çıkmasını engellediğini, ayrıca zemin kat yüksekliğinin diğer katların yüksekliğinden fazla olması halinde yumuşak kat davranışının oluşacağını gözlemlemişlerdir.

Sivri [8], dolgu duvarların yapı rijitliğini arttırdığı için yapı periyodu ve yanal yer değiştirmelerin rijitliğe bağlı olarak azaldığı sonucuna varmıştır.

Tetik [9], dolgu duvarların yapının rijitliğini önemli ölçüde arttırdığını, böylece yapı periyodunda azalmaya neden olduklarını saptamıştır. Dolgu duvarlardaki boşlukların rijitlikte neden olduğu azalmayı incelemiş ve boşluksuz durumunda %56 mertebelerinde olan

periyot azalma oranının %37'ye düştüğünü hesaplamıştır. İncelenen binalarda, dolgu duvarların, yapı periyotlarında ortalama %50 - %70 oranında azalmaya neden olduklarını görmüştür.

Tezcan ve arkadaşları [2], yönetmelikte yer alan yetersiz ve yanıltıcı olan kriterlerin düzeltilebilmesi ve zayıf/yumuşak kat düzensizliğinin giderilebilmesi için çeşitli önerilerde bulunmuşlardır.

Beklen [10], dolgu duvarların rijitlik, periyot, yatay deplasman, taban kesme kuvveti gibi değerleri ve bina davranışını önemli ölçüde etkilediğini görmüştür.

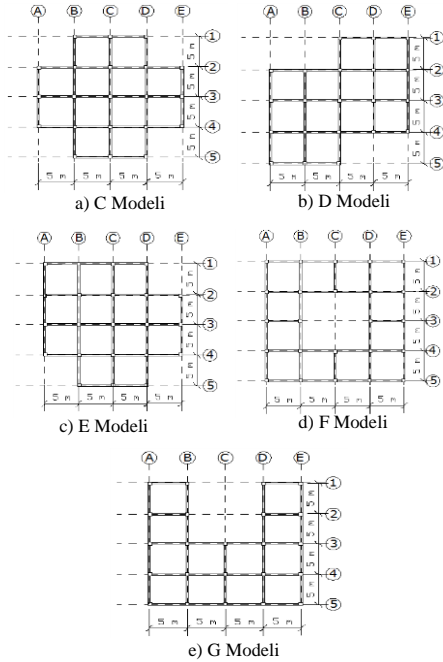
3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Yapılan çalışma kapsamında, farklı geometriye sahip dolgu duvarlı 10 katlı 5 farklı bina modeli üzerinde, X ve Y deprem yönlerinde deprem analizleri gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu şeklinde modellenmiş ve hesap için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılmıştır. Önce yapı tamamen dolgu duvarlı olarak modellenmiş; sonra ise birer kat artımlarla ara katlarda duvarlar kaldırılarak duvarların var olmamasının yapı güvenliğini ne şekilde etkilediği araştırılmıştır. Burada amaç; yapıda hangi katta dolgu duvarların modellenmemesi halinde, yumuşak kat düzensizliği değerinin maksimum değere erişeceğinin tespiti ile özellikle zemin katta duvarın modellenmemesi durumunda zayıf kat oluşumunun yapıyı ne şekilde etkileyeceğinin belirlenmesidir.

Analizlerde göz önüne alınan yapıların geometrik şekilleri Şekil 3 (a-e)'de şematik olarak verilmektedir:



Şekil 3 (a-e). Farklı geometrideki yapı modelleri

Tasarım ve modellemede, kesit planları Şekil 3 (a-e)'de verilen yapıların, 1.derece deprem bölgesinde buldukları varsayılmış ve tüm kat yükseklikleri 3,00 m değerinde alınmıştır. Döşeme kalınlığı 12 cm, kiriş boyutları (50x30) cm² ve kolon boyutları (50x50) cm² olarak seçilmiştir. Kullanılan dolgu duvar kalınlıkları ise iç cephe duvarlarında 10, dış cephe duvarlarında ise 20 cm değerinde alınarak duvarlara ait genişlikler, Mainstone ve Weeks [11]'in çalışmalarında verilen ifadeler kullanılarak belirlenmiştir. Dolgu duvarlara ait elastisite modülü ise; 2850 MPa değerinde seçilmiştir. Yapılara etkiyen ağırlıkların hesabında kaplama+sıva ağırlığı 100 kg/m², tuğla duvar ağırlığı 240 kg/m², hareketli yük ise 350 kg/m² değerinde alınmıştır. Taşıyıcı sistem türü yerinde dökme betonarme çerçeve olup yapılara ait zemin sınıfı Z3 olarak verilmiştir. Hesaplarda kullanılan etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0,4$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ 'dir.

3.2. Metot

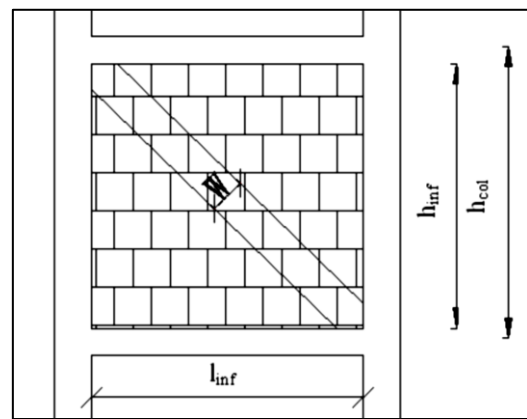
Şekil 3 (a-e)'de kesit planları verilmiş olan 10 katlı 5 farklı yapı modeli, içte ve dışta tamamen duvarlı

olacak şekilde, eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılarak modellenmiş ve her iki deprem yönü göz önüne alınarak Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile analiz edilmiştir.

Bu yöntemde taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve perdelerden oluşan yapıya etkiyen deprem yükleri, yapının kat hizaları seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Bu yatay yüklerin, binanın birbirine dik iki asal doğrultularında ayrı ayrı etkiği varsayılarak, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kesit tesirleri bulunmaktadır.

Yapılan analizlerde ele alınan yapı modellerinde perde elemanı kullanılmamış, kolon ve kirişlerden oluşan taşıyıcı betonarme çerçeve sistemi, hem içte hem de dışta tamamen dolgu duvarlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Sonra modellenen dolgu duvarlar her katta sırasıyla kaldırılarak oluşturulan süreksizliğin, yapıların davranışında meydana getireceği değişiklikler incelenmiştir. Özellikle yapıların periyot ve maksimum deplasman değerlerinde ki değişim ile yapılarda oluşabilecek olan yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliği değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Eşdeğer basınç çubuğu modeli (Şekil 4) ile tanımlanan dolgu duvarların genişliklerinin hesabı için; Mainstone ve Weeks [11]'in önerdiği (1), (2) ve (3) eşitliklerinde verilen formülasyonlardan yararlanılmıştır.



Şekil 4. Eşdeğer sanal basınç çubuğunun oluşumu

$$W = 0,175(\lambda_1 \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot L_{inf} \quad (1)$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} \cdot t_{inf} \cdot \sin 2\varphi}{4 \cdot E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{inf}} \right]^{1/4} \quad (2)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right) \quad (3)$$

Burada; (W) Sanal basınç çubuğunun genişliği, (h_{col}) kolonun yüksekliği, (L_{inf}) dolgu duvar boyu, (h_{inf}) dolgu duvar yüksekliği, (t_{inf}) dolgu duvar kalınlığı, (E_{me}) dolgu duvarın elastisite modülü, (E_{fe}) kolonun elastisite modülü, (I_{col}) kolonun atalet momenti, (φ) sanal basınç çubuğunun yataydaki açısı ve (α) relatif rijitlik katsayısıdır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar yapılarda yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliklerinin oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Yapıların periyot, maksimum deplasman, yumuşak kat düzensizliği değerlerindeki değişim grafiksel ortamda elde edilmiştir.

2007 Deprem Yönetmeliği'nde bulunan en önemli yapı düzensizliklerinden biri olan yumuşak kat düzensizliği; birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, %5'lik yatay kuvvet dış merkezliği altında oluşan, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca yönetmelikte η_{ki} ifadesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği katsayısının, 2.00'den fazla olması durumu, ilgili yapıda yumuşak kat düzensizliğinin varlığını temsil etmekte olup bir yapıda yumuşak kat düzensizliğinin var olup olmadığı (4) ve (5) denklemleri kullanılarak kontrol edilmektedir.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (4)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (5)$$

Komşu katlar arası dayanım düzensizliği olarak da bilinen zayıf kat düzensizliği durumu ise; betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının (kolon + perde + 0,15 × kagir duvar alanı), bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olan, η_{ci} Dayanım Düzensizliği katsayısının, 0.80'den küçük olması halidir.

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (6)$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ifadesi;

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (7)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Bu bağıntılarda;

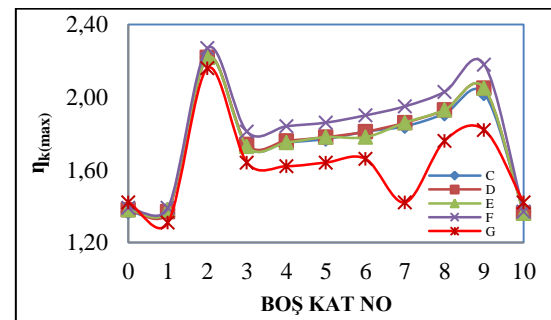
$\sum A_w$: Herhangi bir kattaki kolon en kesiti etkin gövde alanları toplamını,

$\sum A_g$: Binada herhangi bir katta, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak (planda boyu eninin 7 katından büyük eleman) çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamını,

$\sum A_k$: Binada herhangi bir katta, kapı ve pencere boşlukları çıkartıldıktan sonra, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamını göstermektedir.

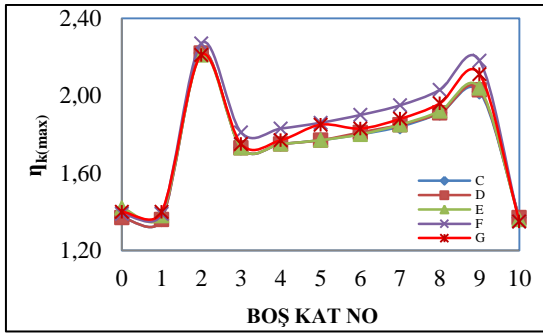
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Farklı geometriye sahip C, D, E, F ve G modeli olarak isimlendirilen 10 katlı 5 farklı yapı modeli için dolgu duvarların modellenmediği, boş kat olarak alınan katın değişimine bağlı olarak, elde edilen yumuşak kat düzensizliği değerleri ile periyot ve deplasman değerleri değişimleri Şekil 5 (a-b), Şekil 6 (a-b) ve Şekil 7 (a-b)'de verilen grafiklerde yer almaktadır.



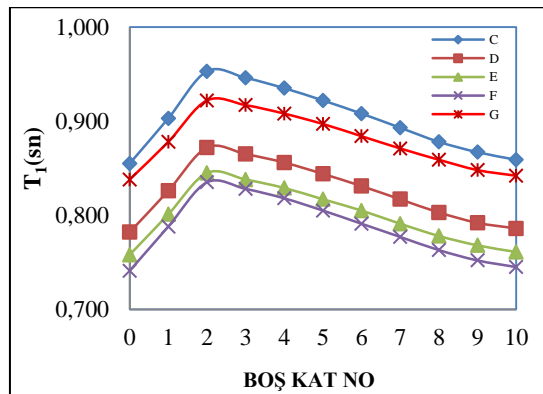
Şekil 5 (a). X yönü maksimum yumuşak kat düzensizliği değerleri değişimi

Şekil 5 (a)'da görüldüğü gibi, X deprem yönünde yapılan analizler sonucunda elde edilen maksimum yumuşak kat düzensizliği değerleri, G modeli hariç diğer tüm modeller için 2. ve 9. katlarda duvarların modellenmediği durumlarda sınır değer olan 2,00 değerini aşmaktadır. G modeli için ise, sadece 2. katta duvar yokken yumuşak kat oluşumu gözlenmiştir. Yumuşak kat sorununu simgeleyen maksimum değerler ise F modeli için oluşmuş olup 2,27 değerine kadar ulaşmıştır.

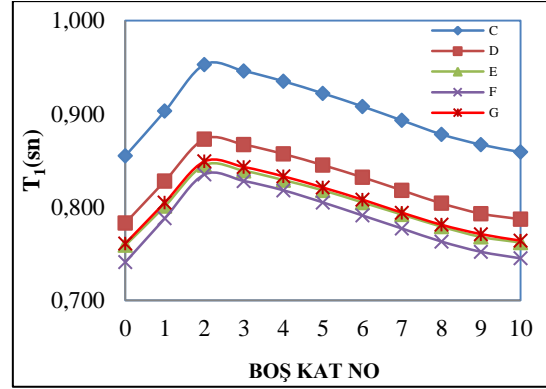


Şekil 5 (b). Y yönü maksimum yumuşak kat düzensizliği değerleri değişimi

Şekil 5 (b)'de verilen grafikte de görüldüğü gibi, Y yönünde yapılan analizler sonucunda elde edilen maksimum yumuşak kat düzensizliği değerleri, tüm modeller için yine 2. ve 9. katlarda duvarların modellenmediği durumlarda sınır değer olan 2,00 değerini aşmaktadır. Maksimum değerler yine F modeli için oluşmuş olup 2,27 değerine kadar ulaşmıştır.



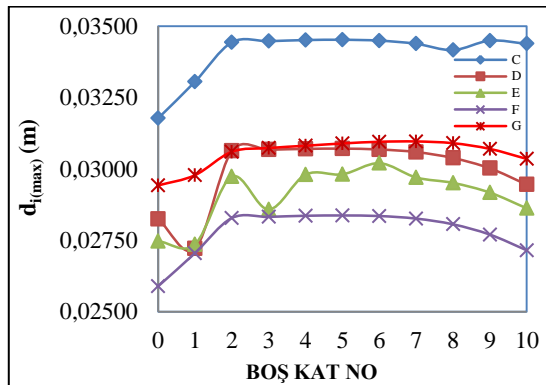
Şekil 6 (a). Farklı geometrideki modeller için X yönündeki periyot değerleri değişimi



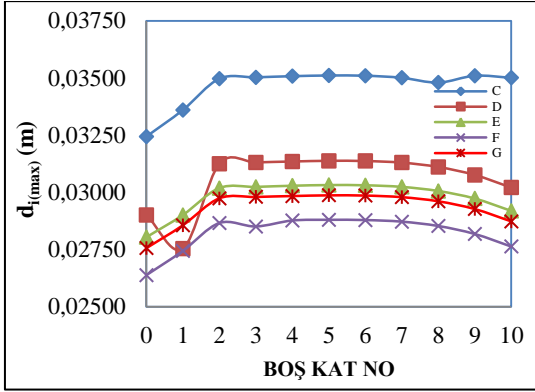
Şekil 6 (b). Farklı geometrideki modeller için Y yönündeki periyot değerleri değişimi

Şekil 6 (a-b)'de verilen grafiklerde görüldüğü gibi, her iki deprem yönünde yapılan analizler sonucunda elde edilen periyot değerleri, tüm modeller için 2. katta duvarlar modellenmediğinde oluşmaktadır. Bunun nedeni, ilgili katta duvarlar var olmadığında, yapının rijitliğinin bu katta diğer katlara oranla daha fazla azalmış olmasıdır.

Şekil 7 (a-b)'de verilen grafiklerde görüldüğü gibi, her iki deprem yönünde yapılan analizler sonucunda elde edilen maksimum deplasman değerleri, tüm modeller için 2. katta duvarlar modellenmediğinde oluşmaktadır. Bunun nedeni, yine bu katta duvarların var olmamasından kaynaklanan dayanım azalması ve dolayısıyla yapının bu katta diğer katlara oranla daha fazla deplasman yapmış olmasıdır.



Şekil 7 (a). Farklı geometrideki modeller için X yönündeki maksimum deplasman değerleri değişimi



Şekil 7 (b). Farklı geometrideki modeller için Y yönündeki maksimum deplasman değerleri değişimi

Yapılan analiz sonuçlarına göre zayıf kat düzensizliğinin, incelenen tüm yapı modelleri için dolgu duvarların modellenmediği katlarda ortaya çıktığı saptanmıştır. Değerleri ise ilgili kat için hesaplanan etkili kesme alanı ile ilgili kata göre bir üst kat için hesaplanan etkili kesme alanının oranı alınarak belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler, seçtiğimiz 10 katlı 5 farklı yapı modeli için yapının 1. katından 9. katına kadar aynı değeri almaktadır. Çünkü tüm katlarda ki kolonların sayısı ve kullanılan dolgu duvar miktarları aynıdır. Sadece 10. katta duvarların modellenmediği durumda zayıf kat oluşmamaktadır.

Göz önüne alınan tüm yapı modelleri için her iki deprem yönünde elde edilen zayıf kat düzensizliği değerleri ise Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Tüm yapı modelleri için elde edilen zayıf kat düzensizliği değerleri

Yapı Modeli	$\eta_{ci}(X)$	$\eta_{ci}(Y)$
C	0,798	0,767
D	0,798	0,767
E	0,768	0,768
F	0,750	0,776
G	0,783	0,742

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Günümüzde mevcut bulunan betonarme binaların çoğunluğunda zemin katlarda mağaza, restoran ve banka gibi ticari mekânların yer almasını sağlamak ve bu kısımlarda daha geniş alanlar oluşturmak amacıyla üst katlarda fazlaca bulunan dolgu duvarlar yapıların bu bölümlerinde kaldırılmaktadır. Bina, sağlam gibi görünse de bu katlarda yapıya gelen yatay kuvvetler üst katlardaki kadar rijit bir şekilde karşılanamamakta ve önlem alınmaması halinde, herhangi bir deprem etkisinde bu tarz yapılar meydana gelen yumuşak kat ve/veya zayıf kat durumundan dolayı ağır derecede hasarlanarak yıkılmaktadır.

Deprem etkisi altında binalarda oluşabilecek bu olumsuzlukların nedenlerini daha iyi kavramak; yumuşak kat ve zayıf kat varlığının yapı davranışı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara ait yorumlar genel olarak aşağıda verilmektedir.

- Yumuşak kat düzensizliği değerleri, tüm modeller için 10 katlı yapıda 2. ve 9. katlarda duvarlar modellenmediğinde sınır değer olan 2.00 değerini aşmaktadır. Kontrol amaçlı olarak aynı yapı modelleri 5 katlı olarak da analiz edilmiş ve 5 katlı yapıda da 2. ve 4. katlarda dolgu duvarların olmadığı durumda yumuşak kat düzensizliğinin oluştuğu saptanmıştır. Buna göre genel bir yorumla; N katlı herhangi bir yapıda yumuşak kat düzensizliği oluşum riskinin yapının 2. ve N-1. katlarında dolgu duvarların var olmaması nedeni ile ortaya çıkabileceği söylenebilmektedir.

- Yapı modellerine ait hesaplanan maksimum serbest titreşim periyodu değerleri, 10 katlı yapıda 2. katta dolgu duvar bulunmadığı durumda oluşmaktadır. Bunun nedenini açıklamak gerekirse; yapıda bu katta dolgu duvar olmadığına, bir alt veya bir üst katlar arasında oluşan deplasman değerlerinde büyük farklılıklar oluşmaktadır. Dolayısıyla; yapının rijitliği düşmekte ve yapı daha fazla deplasman yapmaktadır. Bu durum da, yapının periyot değerini arttırmaktadır. Periyot değerinin artması ise rijitliğin azalması anlamına geldiğinden, yapıya yanal kuvvetlerin etkimesine sebep olan deprem

gibi etkilerin var olması durumunda, dolgu duvarların hesaplarda mutlaka dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

• Zayıf kat davranışı, birçok yapıda olduğu gibi yapılan analizlerde çalışma kapsamında göz önüne alınan tüm modellerimizde de içinde bulunan katta duvarların olmayıp bir üst katta veya bir alt katta var olması nedeniyle ortaya çıkan ani rijitlik değişiminden kaynaklanmaktadır. Seçtiğimiz modellerde her katta bulunan kolon ve duvarların sayısı aynı olduğundan hesaplanan etkili kesme alanları da her kat için aynı değerdedir. Bu nedenle elde edilen zayıf kat (dayanım) düzensizliği değerleri de her kat için aynı oranda çıkmıştır. Sadece en üst katta dolgu duvarların olmaması, yapının dayanımı için herhangi bir sorun yaratmamaktadır.

• Bugüne kadar yaşanan depremlerde de görüldüğü gibi gerek yumuşak kat gerekse zayıf kat yanlışlığı yapılarak inşa edilmiş olan binalarda yıkıcı etkiler meydana gelmekte ve maalesef can kayıpları yaşanmaktadır. Mevcutta bulunan binalarda bu yanlışlığın yapıлып yapılmadığı ise, ancak detaylı yapısal bilgiler ve analizler sonrasında kesinlik kazanabilmektedir. Bu sebeple yapılarda herhangi bir nedenle duvarların kullanılmadığı katlarda, mutlaka dayanımı artırıcı bir takım önlemler alınmalı; ya bu katlardaki kolon boyutları artırılmalı ya da oluşabilecek yatay deplasmanları karşılayacak ilave perde elemanlar kullanılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Topçu, A., 2007. Taşıyıcı Sistem Seçiminde İstenmeyen Düzensizlikler: Doğrular, Yanlışlar, Hasarlar, İMO Eskişehir Şubesi, Meslek İçi Eğitim Kursu, Eskişehir.
2. Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z., Erkal, A., 2007. Zayıf Kat-Yumuşak Kat Düzensizliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
3. Sayın, B., 2003. Mevcut Betonarme Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Projelendirilmesi ve Güçlendirilmesi Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Dowrick, D.J., 1987. Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects, John Wiley & Sons, New York.
5. Smith, B.S., 1962. Lateral Stiffness of Infilled Frames, ASCE Structural Division Journal, pp. 183- 199.
6. Mainstone, R.J., 1974. Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames, Building Research Station, UK, Current Paper 13/74.
7. Livaoglu R.,ve Doğangün A., 2003. Burulma Düzensizliği Olan Çok Katlı Yapılarda Rijit ve Esnek Taraflarda Bulunan Elemanların Davranışlarının İrdelenmesi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
8. Sivri, M., 2003. Dolgulu Çerçevelerin Deprem Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
9. Tetik, D., 2007. Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Serbest Titreşimine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Beklen, C., 2009. Binalarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. Mainstone R.J., Weeks G.A., 1970. The Influence of Bounding Frame on the Racking Stiffness and Strength of Brick Walls, 2nd International Brick Masonry Conference, Watford, England, 12-15 April, 165-171.

Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Hat Kalitesine Etki Eden Parametreler Üzerine Bir Çalışma

Murat Vergi TACİROĞLU^{*1}, Mustafa KARASHAHİN², Mesut TIĞDEMİR³

¹Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO. Ulaştırma ve Trafik Hiz. Bölümü, Mersin

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş tarihi: 07.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Demiryolu hat bakım ve yenileme çalışmaları hat kalitesinde görülen değişimlere bağlı olarak yapılmaktadır. Hat kalitesi, hattın içinde bulunduğu işletme durumunu belirtir ve genellikle bir indeks yardımıyla sayısal olarak ifade edilir. Hat geometrisi indeksi olarak bilinen bu gösterge değerler, hat geometrisi kontrol ölçümlerinden elde edilen veriler temel alınarak hesaplanır. Bu çalışmada Ankara-Eskişehir Yüksek Hızlı Tren (YHT) hattından elde edilen verilerden yararlanılarak YHT hattında hat kalitesine etki eden etkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için ilk olarak incelenen hat güzergâh geometrisi dikkate alınarak inceleme kesimlerine ayrılmıştır. Daha sonra hat kontrol trenleri ile yapılan ölçümlerin verileri analiz edilerek hangi kesimde ne kadar bozulma olduğu belirlenmiş ve bozulma oluşan kesimlerde hat kalitesinin değişimi incelenmiştir. Çalışmanın sonunda ise hat kalitesine etki eden parametreleri belirlemek için çok değişkenli regresyon modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere göre, hat kalitesine etki eden faktörler trafiğe bağlı parametreler, hat kesimi tipi ve hat kalitesinin bir önceki ölçümdeki değeri olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek hızlı tren hattı, Hat kalitesi, Çok değişkenli regresyon analizi, Hat geometrisi

A Study on Parameters Affecting the Track Quality of High Speed Rail Tracks

Abstract

Railway track maintenance and renewal activities are performed depending on the changes in track quality. Track quality indicates the operating condition of the track and the quality is usually expressed with a numerical index. Known as track geometry indexes, these indicator values are calculated based on data obtained from the track geometry control measurements. In this study, using the data obtained from the Ankara-Eskişehir High-Speed Rail (HSR) track, the factors affecting the track quality of HSR track were determined. For this purpose, firstly the track under investigation was divided into analysis segments considering the rail alignment geometry. Then, by analyzing the data of the track record car measurements, the degree of deterioration occurred in the analysis segments and the change of track

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Murat Vergi TACİROĞLU, mtacioglu@mersin.edu.tr

quality were examined in the segments where deteriorations occurred. At the end of the study, multivariate regression models were constructed in order to determine the factors affecting the track quality. According to these models, it was determined that the factors affecting the track quality are traffic-related parameters, type of analysis segment and previous value of track quality.

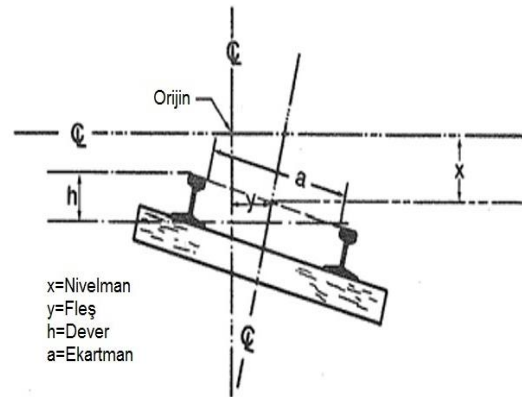
Keywords: High speed rail, Track quality, Multivariate regression analysis, Track geometry

1. GİRİŞ

Demiryolunun bakımı ve onarımı için yapılması gereken işlemlerin mali giderlerinin yüksek olması, bu çalışmaların planlı ve etkin bir şekilde yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu faaliyetlerin etkinliği de yapılan çalışmaların zamanlaması ile doğrudan alakalıdır. Zamanından önce yapılan bakım ve onarım çalışmaları bütçenin boşa harcanmasına neden olurken, zamanında yapılmayan çalışmalar ise var olan kusurların üstel formlarda büyümesine yol açarak, bu kusurların giderilmesi için büyük miktarlarda maddi harcamalar gerektiren onarım çalışmaları yapılmasına neden olurlar. Bakım ve onarım çalışmalarının zamanlaması hattın içinde bulunduğu durum ile alakalıdır. Hattın durumu ise demiryolu hattını oluşturan bileşenlerin yapısal kalitesi ve hat geometrisinin izin verilen sınır değerler içinde olup olmaması ile ifade edilmektedir. Demiryolu hattının durumunun belirlenmesi hat bakım ve onarım çalışmalarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve genellikle iki kısma ayrılmaktadır. Bunlardan ilki hat bileşenlerinin yapısal kalitesini belirlemek için yapılan görsel kontroller, diğeri ise genellikle kayıt cihazları ile donatılmış demiryolu araçlarından oluşan otomatik hat kontrol araçları ile yapılan demiryolu hat geometrisi ölçümleridir. Hat geometrisinin ölçümü ile hat geometrisinin kalitesini gösteren hat geometrisi indeksi değerleri elde edilmektedir.

Rayların uzaysal düzlemlerdeki konumunu ifade eden demiryolu hat geometrisi, demiryolu araçlarının raydan çıkma riski ile sürüş ve yolcu konforu üzerinde etkilidir. Bundan dolayı hat geometrisi belirli sınır değerler içinde kalmalıdır. Hat geometrisi, birden fazla parametreden oluşur. Bu parametreler yatay düzlemde fleş ve ekartman, düşey düzlemde ise nivelman, burulma ve dever parametreleri olarak sıralanmaktadır.

Ekartman parametresi, hattın herhangi bir yerinden ray yüzeyinden 16 mm aşağısında ölçülen, rayların birbirlerine bakan iç yüzleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Standart genişlikli hatlar için ekartman değeri 1435 mm olarak kabul edilmektedir. Fleş parametresi, her bir rayın hattın ortasında geçtiği kabul edilen hat eksenine göre yatay konumunu ifade etmektedir. Nivelman parametresi, rayların üst yüzeyinin düşey eksenindeki konumunu göstermektedir. Dever parametresi, yatay kurplarda merkez kaç kuvvetinin demiryolu araçları üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak amacıyla dış ray dizisi ile iç ray dizisi arasında oluşturulan yükseklik farkı olarak tanımlanmaktadır. Burulma ise belirli aralıklarla ölçülen iki dever miktarı arasındaki cebrik fark olarak ifade edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Hat geometrisi parametreleri [1-2]

Hat geometrisi indeksleri, demiryolu hattının geometrisinin durumunu sayısal olarak ifade eden, hattın bakım ve onarım planlamasının yapımında kullanılan kalite göstergeleridir. Bu gösterge değerler hat kayıt araçlarının yaptığı ölçümlerden elde edilen hat geometrisi verilerinin çeşitli yöntemlerle analiziyle elde edilmektedir. Hattın o anki durumu hakkında fikir veren kalite

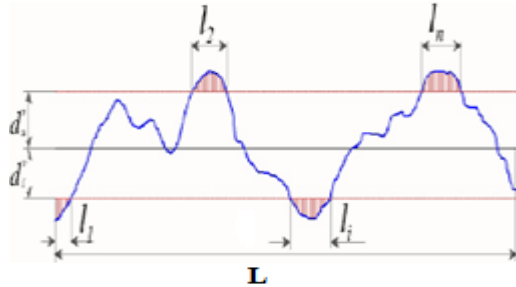
indekslerinin geliştirilmesinde değişik ülkelerdeki demiryolu organizasyonları farklı yaklaşımlar geliştirmişlerdir.

Avrupa Demiryolu Araştırma Merkezinin (ORE) Fransa da geliştirdiği metot nivelman, fleş, dever ve hat açıklığı parametrelerinin standart sapmalarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde hesaplamalar için hat kayıt araçları tarafından yapılan ölçümler 1000 m uzunluğundaki hat kesimleri üzerinde 18,9 m uzunluğunda orta-kiriş dengelemesi yapılarak elde edilmektedir. Bu yöntemde yol şartlarının standart sapma değerine göre değişimi Çizelge 1’de gösterildiği gibidir [3].

Çizelge 1. Yol şartlarına göre SD değerinin değişimi [4]

Yol Koşulları	Standart Sapma Değeri (SD)
Çok iyi	SD<1
İyi	1< SD <2
Ortalama	2< SD <4
Kötü	4< SD

Avusturya demiryolları yol geometrisi kayıt araçlarından elde edilen veriler için 5 parametrelili yol kusuru değeri (W5) hesabını kullanmaktadır. Bu metot da temel ölçüm kesimi boyunca her bir geometri parametresi için kusur hesabı yapılmaktadır. Herhangi bir ölçüm kesimindeki, herhangi bir geometri parametresi için kusur değerinin hesabı, ölçüm kesimi içinde kabul edilebilir sınır değerlerin aşıldığı yerlerin toplam uzunluğunun ölçüm kesiminin uzunluğuna bölünmesiyle yapılır (Şekil 2).



Şekil 2. W5 hesabında kullanılan uzunluklar [5]

Bu modele göre ölçülen her bir geometri parametresi için kusur (w_i) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır [5]:

$$w_i = \frac{\sum l_i}{L} \quad (1)$$

Burada, l_i , kabul edilebilir sapma miktarının aşıldığı alt kesim uzunluğu, L toplam ölçüm kesimi uzunluğudur. Her geometrik parametrenin birbiri üzerindeki etkisini önemsiz kabul ederek, her parametre birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Böylece olasılık teorisinden yararlanarak 5 parametrelili kusur değeri eşitlik 2’deki gibi elde edilmiştir:

$$w_5 = 1 - (1 - w_e)(1 - w_g)(1 - w_w)(1 - w_y)(1 - w_z) \quad (2)$$

Burada, w_z ve w_y sağ ve sol rayın kusurlarından hesaplanan, sırasıyla düşey ve yatay düzensizliklerin aritmetik ortalamasıdır, w_g dever kusuru, w_w , burulma kusuru, w_e , hat açıklığı kusurudur. Sapmaların miktarı 18,9 m uzunluğundaki kiriş üzerinden hesap edilmektedir. Avusturya Demiryolları bu metodu kullanarak aşağıdaki Çizelge 2’yi geliştirmiştir.

Çizelge 2. w_5 değerine göre yol koşullarının değişimi [5]

Yol Koşulları	w_5 değeri
Yeni Hat	$w_5 < 0,1$
İyi Durumdaki Hat	$0,1 < w_5 < 0,2$
Yeterli Durumdaki Hat	$0,2 < w_5 < 0,6$
Kötü Durumdaki Hat	$w_5 > 0,6$

Polonyalı araştırmacılar tarafından geliştirilen J indeksi yol şartlarını belirlemek için kullanılmıştır. Bu indeks aşağıdaki formülle hesap edilmektedir [4-5].

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,55S_e}{3,5} \quad (3)$$

Burada, S_e , nivelman değerinin standart sapması, S_y , fleş değerinin standart sapması, S_w , burulma değerinin standart sapması, S_z , hat açıklığı değerinin standart sapması olarak isimlendirilmiştir. Bu yöntemde standart sapma

ölçümleri için 10 m uzunluğunda kiriş kullanılmaktadır. Çizelge 3 J indeksinin farklı hızlarda izin verilen değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3. Farklı hızlar için J indeksinin izin verilen değerleri [4]

Hız (km/s)	30	40	90	120	160	200
J İndeksi	12,0	11,0	6,2	4,0	2,0	1,4

İsveç Ulusal Demiryolları yol geometrik koşullarını değerlendirmek için Q indeksi değerini kullanmaktadır. Bu indeks istatistiksel analizlere dayanmaktadır ve aşağıdaki şekilde hesap edilmektedir [6].

$$Q=150-100 \left[\frac{\sigma_H}{\sigma_{Hlim}} + 2x \frac{\sigma_S}{\sigma_{Slim}} \right] /3 \quad (4)$$

Burada, σ_H , sağ ve sol nivelman değerlerinin standart sapmalarının ortalaması, σ_S , fleş, dever ve hat genişliği değerlerinin standart sapmalarının ortalaması, σ_{Hlim} , yol kategorisine göre σ_H 'nin izin verilen limit değeri, σ_{Slim} ise yol kategorisine göre σ_S 'nin izin verilen limit değeridir. İsveç Demiryolları sapma ölçümlerinde 12 m uzunluğunda kiriş kullanılmaktadır. Q indeksinin minimum değeri 50 ve maksimum değeri ise 150 dir. İzin verilen limit değerler ise 70 ve 90 arasındadır.

Hindistan demiryolları standart sapmaları dikkate alan TGI (Hat Geometri İndeksi) değerini geliştirmiştir. TGI değerinin hesabı için farklı geometrik parametreler dikkate alınır. Bu indeks, yol bozulmasının göstergesi olan dört geometrik parametrenin fleş, burulma, nivelman, hat açıklığı fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu değer, geometrik parametrelerin önem derecelerine göre yol kalitesine olan etkileri dikkate alınarak elde edilmiştir [7].

$$TGI = \frac{2UI+TI+GI+6AI}{10} \quad (5)$$

Burada, TGI, yol geometri indeksi, UI, nivelman, GI, hat açıklığı, TI, burulma, AI ise fleş indeksi değerleridir.

Geometrik parametre değerleri, yol geometrisi ölçüm araçlarının her bir parametre için yol yüzeyinde yaptığı ölçüm sonuçlarının standart sapmalarının aşağıdaki formülde hesaba katılmasıyla elde edilir.

$$GI,UI,TI,AI=100e^{\frac{SDm-SDn}{SDu-SDn}} \quad (6)$$

Burada, SDm, ölçülen parametre değerinin standart sapması, SDn, Ölçülen parametrenin yeni döşenmiş hat için standart sapma değeri, SDu, ölçülen parametre için gereken acil bakım değerinin standart sapmasıdır. Geometri parametreleri için standart sapma değerleri Çizelge 4'de gösterilmektedir. Çizelge 5'de ise TGI değerlerinin yol koşullarına göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 4. Geometrik parametreler için standart sapma değerleri [7]

Parametre	Kiriş uzunluğu (m)	SDn (mm)	Sdu (mm)	
			V> 105 km/st	V< 105 km/st
Nivelman	9,6	2,5	6,2	7,2
Burulma	3,6	1,75	3,8	4,2
Hat açıklığı	-	1	3,6	3,6
Fleş	7,2	1,5	3	3

Çizelge 5. TGI değerine göre yol koşullarının değişimi [7]

TGI Sınıfları	TGI değeri	Bakım Gereksinimi
1	TGI>80	Bakıma gerek yok
2	50<TGI<80	Basit bakım
3	36<TGI<50	Planlı bakım
4	TGI<36	Acil bakım

Amerika'da demiryolu şirketi Amtrak tarafından yol düzgünlük indeksi, R^2 (Running Roughness) geliştirilmiştir. Amtrak, hat geometrisi verilerini sürekli güncellendiği bir veri tabanına sahiptir. Amtrak veri tabanı aynı zamanda yol kayıt aracının topladığı verileri analiz ederek yol düzgünlüğünü hesaplamaktadır. Bu indeks,

ölçülen standart sapmaların toplamının ölçüm noktası sayısının toplamına bölünmesiyle hesaplanmaktadır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [8].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} \quad (7)$$

Burada n= ölçüm sayısı ve d_i ölçülen sapma miktarıdır (20 m'lik orta-kiriş dengelemesinden elde edilen). Bu indeks nivelman, fleş, dever ve hat açıklığı parametreleri için kullanılmaktadır. Çizelge 6 arazi ölçümlerinden elde edilen verilere göre hat koşulları ile düzgünlük indeksi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 6. Düzgünlük indeksinin değerine göre hat koşullarının değişimi [8]

Yol Koşulları	R^2 (Running Roughness) Değeri
Çok iyi	$R^2 < 1$
İyi	$1 < R^2 < 4$
Ortalama	$4 < R^2 < 16$
Kötü	$16 < R^2$

Bir başka Amerikan demiryolu organizasyonu olan Federal Demiryolu İdaresi (FRA) de federal yol güvenliği standartlarının (FTSS) bir ekinde yol geometri verilerinden elde edilmiş objektif yol kalite indeksleri (TQI) veri grubunu geliştirmiştir. Bu indeks yol kalitesini göstermek için uzay eğrisi uzunluğunu kullanmaktadır. Uzay eğrisinin uzunluğu, ardışık veri noktaları arasında ölçülen düz uzunlukların toplanmasıyla hesaplanır ve TQI 161 m uzunluğundaki yol kesimleri dikkate alınarak hesaplanır. Bu metoda göre, TQI veri grubu, her fleş, nivelman, dever ve hat açıklığı için aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır [9].

$$TQI = \left[\frac{L_s}{L_0} - 1 \right] \times 10^6 \quad (8)$$

Burada, L_s izlenen uzay eğrisi uzunluğu, L_0 , yol kesiminin teorik uzunluğudur. TQI değeri farklı özellikteki yol kesimleri (kurplar, köprüler, tüneller, makaslar gibi) ayrı ayrı değerlendirilmeli ve buna göre gruplanmalıdır.

İranlı araştırmacı Sadeghi tarafından geliştirilen bir başka indekste hat geometrisi verisinin istatistiksel dağılımından faydalanılmıştır. Bu indeksin hesabı için, ölçüm aracının her 25 cm de bir okuma yaparak elde ettiği verilerin istatistik olarak normal dağılıma uyduğu kabul edilmiş ve göz önüne alınan geometri parametreleri olan ekartman, nivelman, fleş ve burulmanın her biri için aşağıdaki formüller kullanılarak ayrı ayrı indeks değerleri hesaplanmıştır [4].

$$GI^+ = |\bar{X}_{Ekartman} + 3 * SD_{Ekartman}| \quad (9)$$

$$GI^- = |\bar{X}_{Ekartman} - 3 * SD_{Ekartman}| \quad (9a)$$

$$AI = \frac{(|\bar{X}_{Flaş_{sol}}| + 3 * SD_{Flaş_{sol}} + |\bar{X}_{Flaş_{sağ}}| + 3 * SD_{Flaş_{sağ}})}{2} \quad (9b)$$

$$PI = \frac{(|\bar{X}_{Nivelman_{sol}}| + 3 * SD_{Nivelman_{sol}} + |\bar{X}_{Nivelman_{sağ}}| + 3 * SD_{Nivelman_{sağ}})}{2} \quad (9c)$$

$$TI = |\bar{X}_{Burulma}| + 3 * SD_{Burulma} \quad (9d)$$

Verilen formüllerde, GI^+ , pozitif ekartman indeksi, GI^- , negatif ekartman indeksi, AI, fleş indeksi, PI, nivelman indeksi ve TI, burulma indeksidir. Formüllerdeki \bar{X} her bir parametre için aritmetik ortalamayı ve SD ise standart sapmayı temsil etmektedir.

Her geometri parametresi için ayrı ayrı indekslerin oluşturulmasından sonra bu indekslerin kombinasyonundan oluşan ve hattın genel geometrik şartları hakkında bilgi veren tüm hattın geometri indeksi (OTGI) türetilmiştir. Bu işlem yapılırken geometri parametrelerinin indekslerine

önem derecelerine göre ağırlıklar atanmış ve Eşitlik 10’da elde edilmiştir.

$$OTGI = \frac{\frac{a}{2} * GI^+ + \frac{a'}{2} * GI^- + b * AI + c * PI + d * TI}{\frac{a+a'}{2} + b + c + d} \quad (10)$$

OTGI göz önüne alınan tüm hat kesimi için geometri indeksidir. Burada a, a', b, c ve d geometri parametrelerinin indekslerinin önem

katsayılarıdır. Bu katsayılar geometri parametrelerinin tolerans değerlerinin birbirlerine oranlanması ile elde edilmiştir. Önem katsayıları, geçen trafik yoğunluğu ve izin verilen tren hızı değerine göre belirlenen, demiryolu hattının sınıfına göre (Çizelge 7) farklı değerler almaktadır. Önem katsayılarının farklı değerler almasıyla OTGI değeri de demiryolu hattının sınıfına göre değişim göstermektedir (Çizelge 8)

Çizelge 7. Demiryolu hat sınıflarının tanımı [4]

Trafik Yoğunluğu (MGT/yıl)	Hızlar(km/s)			
	>160	120-160	80-120	<80
>15	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
10-15	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
5-10	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
<5	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄

Çizelge 8. Demiryolu hat sınıfları için izin verilen OTGI değerleri [4]

Hat Sınıfı	1	2	3	4
A	0 < OTGI < 2,19	2,19 < OTGI < 4,91	4,91 < OTGI < 9,27	9,27 < OTGI < 14,63
B	0 < OTGI < 3,02	3,02 < OTGI < 6,26	6,26 < OTGI < 11,81	11,81 < OTGI < 18,03
C	0 < OTGI < 3,62	3,62 < OTGI < 7,23	7,23 < OTGI < 13,68	13,68 < OTGI < 19,35
D	0 < OTGI < 7,06	7,06 < OTGI < 8,70	8,70 < OTGI < 15,37	15,37 < OTGI < 22,55

Bu çalışmada Ankara-Eskişehir Yüksek Hızlı Tren (YHT) hattından elde edilen hat geometrisi ölçümleri analiz edilerek hattın farklı kesimlerine ait kalite indeksleri hesaplanmıştır. Kalite indekslerinin hesaplandıktan sonra hat kalitesine etki eden parametreleri belirlemek için regresyon modelleri oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma için TCDD YHT dairesi tarafından Ankara-Eskişehir YHT hattında yapılan yol kontrol çalışmalarından elde edilen hat geometrisi verileri kullanılmıştır. Ankara-Eskişehir hattı 2009 yılında işletmeye açılmıştır ve sadece yolcu treni trafiğine hizmet etmektedir. Yük trenlerinin oluşturduğu trafiğin görülmediği bu hatta konvansiyonel hatlara nazaran daha düşük trafik yükleri oluşmaktadır. Bu hatta yapılan yol kontrol çalışmalarında, 250 km/s hızla giderken her 0,25 m de bir hat geometrisi parametrelerini ölçebilme

kapasitesine sahip Piri Reis hat kontrol treni kullanılmıştır. Piri Reis yol kontrol treni hat geometrisi ölçümlerini EN-138548-5 standardında belirtilen eşik değerlere göre yapmaktadır. Yapılan hat kontrol çalışmalarında çift hatlı olarak tasarlanmış YHT hattındaki her bir ray dizisi için ekartman, nivelman, fleş ve burulma değerleri ölçülmektedir. EN-138548-5 standardına göre hat geometrisinin kalite göstergesi olarak, her bir ray dizisi için ayrı ayrı belirlenmek üzere, geometri parametrelerinin noktasal ölçümleri ve 200 metre uzunluğundaki hat kesimleri için geometri değerlerinin standart sapması göz önüne alınmaktadır. Geometri parametrelerinin noktasal ölçümü ile hat üzerinde geometrik kusur oluşan yerler belirlenirken, belirli uzunluktaki hat kesimleri için standart sapma değerlerinin hesaplanması ile dikkate alınan kesim için geometrik kalite değeri belirlenmektedir. Ayrıca EN 13848-5’de standart sapma analizi fleş ve nivelman parametreleri için yapılmaktadır.

Bu çalışmada dikkate alınan hızlı tren hattının geometrik kalitesinin değişimini incelemek üzere hat boyunca farklı zamanlarda yapılan fleş ve nivelman parametrelerine ait ölçümlerden yararlanılmıştır. EN-138548-5'e göre nivelman ve fleş parametreleri için eşik değerlerin hıza bağlı olarak değişimi Çizelge 9 ve Çizelge 10'da görülmektedir. Bu çizelgelerde geometri parametrelerinin noktasal ölçümleri için 3 düzey gösterilmiştir. Bunlar: Aşılması halinde yol geometrisi koşullarının düzenli ve planlı bakım çalışmaları kapsamında analiz edilmesini ve dikkate alınmasını ifade eden "Uyarı eşik değerleri

(AL)", aşılması halinde bir sonraki ölçüme kadar emniyet eşiğine varmadan bakım ve tamirat çalışmalarını gerektiren değerleri ifade eden "Müdahale eşik değerleri (IL)" ve aşılması halinde bozulmalar düzeltilinceye kadar maksimum tren hızını düşürmek veya hattı işletmeye kapatmak şeklinde acil önlem alınması gerektiğini ifade eden "Emniyet eşik değerleri (IAL)" olarak sıralanmaktadır. Ayrıca bu eşik değerler geometri kusurlarının dalga boyları (λ) olan D1 ($3\text{ m} < \lambda \leq 25\text{ m}$) ve D2 ($25\text{ m} < \lambda \leq 70\text{ m}$) değerlerine göre değişmektedir.

Çizelge 9. Nivelman parametresi için eşik değerler [10]

Hızlar (Km/s)	AL(mm)		IL (mm)		IAL (mm)		Standart Sapma
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1
$V \leq 80$	12-18	N / A	17-21	N / A	28	N / A	2,3-3
$80 < V \leq 120$	10-16	N / A	13-19	N / A	26	N / A	1,8-2,7
$120 < V \leq 160$	8-15	N / A	10-17	N / A	23	N / A	1,4-2,4
$160 < V \leq 220$	7-12	14-20	9-14	18-23	20	33	1,2-1,9
$220 < V \leq 300$	6-10	12-18	8-12	16-20	17	28	1,0-1,5

Çizelge 10. Fleş parametresi için eşik değerler [10]

Hızlar (Km/s)	AL(mm)		IL (mm)		IAL (mm)		Standart Sapma
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1
$V \leq 80$	12-15	N / A	15-17	N / A	22	N / A	1,5-1,8
$80 < V \leq 120$	8-11	N / A	11-13	N / A	17	N / A	1,2-1,5
$120 < V \leq 160$	6-9	N / A	8-10	N / A	14	N / A	1,0-1,3
$160 < V \leq 220$	5-8	10-15	7-9	14-17	12	24	0,8-1,1
$220 < V \leq 300$	4-7	8-13	6-8	12-14	10	20	0,7-1,0

Çizelge 9 ve Çizelge 10'un son sütularında ise standart sapma değerlerine yer verilmiştir. Standart sapma değerleri her bir ray dizisi için ayrı ayrı belirlenir ve böylece incelenen herhangi bir demiryolu kesimi için 2 adet standart sapma değeri elde edilmiş olunur. Bu değerlerden büyük olanı dikkate alınan kesim için kalite göstergesi olan standart sapma değeri olarak kabul edilir.

Demiryolu bakım ve onarım çalışmaları belirli bir plan çerçevesinde yapıldığı zaman eldeki maddi olanakların etkin bir şekilde kullanımı sağlanmış olur. Bu planlar yürütülürken demiryolu hattı genellikle 200 metre uzunluğunda kontrol kesimlerine ayrılır. Bu çalışmada TCDD YHT dairesinden elde edilen veriler doğrultusunda hat

analiz kesimlerine ayrılmıştır. Analiz kesimleri hattın güzergah geometrisi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Dikkate alınan YHT hattının 518+880 ile 322+211 kilometreleri arasında kalan yaklaşık 197 km'lik kesimi, güzergah geometrisine göre 46 alinyman ve 70 yatay kurptan oluşmaktadır. Bu yatay kurp ve alinyman kesimleri ana kesimleri oluşturmaktadır. Bu ana kesimler ise kendi içinde uzunlukları 200 metre olan alt kesimlere bölünmüştür. Fakat ana kesim uzunluklarının aldığı farklı değerlerden dolayı 200 metrelik kesimlerden farklı olarak en küçüğü 100 m en büyüğü 400 m olan farklı uzunluklarda alt kesimler de oluşturulmuştur. Kurplu kesimler alt kesimlere ayrılırken kurpların birleştirme eğrileri bulunduğu kesimler kendi içinde alt

kesimlere ayrılmış ve bu kesimlere parabol alt kesimi adı verilmiştir. Geometri ve uzunluk kriterleri göz önüne alındığı zaman hat ana kesimlerin altında 350 alinyman, 507 yatay kurp, 112 parabol ve toplam uzunlukları 400 metreden kısa olduğu için bir arada değerlendirilmiş 20 adet parabol+yatay kurp+parabol'dan oluşan 989 alt kesime ayrılmıştır. Daha sonra her bir alt kesim için EN-138548-5 standardında belirtilen eşik değerlere göre hat kalitesinin göstergesi olarak fleş ve nivelman parametreleri için standart sapma değerleri hesap edilmiştir.

Çalışmaya konu olan YHT hattının kesimlerine ait kalite göstergeleri olan standart sapma değerleri hesaplandıktan sonra hat kalitesine etki eden parametreleri belirlemek için birden fazla bağımsız değişken ve bir adet bağımlı değişken kullanılarak uygulanan çok değişkenli regresyon analizi tekniğinden yararlanılmıştır.

Çok değişkenli regresyon tekniğinin uygulandığı problemler birden fazla bağımsız değişkenin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemlerde birden fazla sayıda bağımsız değişken bir araya gelerek probleme konu olan bağımlı değişkeni etkileyebilmektedirler. Bu bağımsız değişkenler aynı zamanda kendi aralarında da birbirlerini etkileyebilmektedir. Bu teknik ile bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkeni arasındaki matematiksel ilişki belirlenebilmektedir [11]

3. BULGULAR

İncelenen YHT hattı çift hattan oluşmaktadır. Yapılan ilk incelemede komşu hatlarda meydana bozulmaların birbirlerine benzer büyüklüklerde ve yaklaşık olarak aynı kesimlerde meydana geldiği gözlenmiştir. Bundan dolayı sadece bir hatta meydana gelen bozulmalar incelenmiştir. Dikkate alınan 197 km uzunlukta olan ve 989 alt kesime ayrılmış hatta, 2011 ve 2012 yıllarında yapılan 6 farklı ölçümün sonuçlarına göre yalnızca 43 farklı kesimde noktasal kusurların oluştuğu görülmüştür. Bundan dolayı araştırmada kusur meydana gelen kesimler üzerinde odaklanılmıştır.

Noktasal kusur incelemesinden sonra hat kalitesine etki eden parametrelerin belirlenmesi amacıyla çok

değişkenli regresyon modelleri kurulmuştur. Modeller hat kalitesinin göstergesi olan fleş ve nivelman parametrelerinin standart sapma değerlerinin değişimine etki eden etkenleri belirlemek amacıyla her bir parametre için ayrı ayrı üretilmiştir. Buna göre bağımlı değişkenler;

- Sağ ve sol ray dizilerine ait fleş değerlerinin standart sapma değerlerinden büyük olanı; maks_Fleş_std
- Sağ ve sol ray dizilerine ait nivelman değerlerinin standart sapma değerlerinden büyük olanı; maks_Nivelman_std

olarak belirlenmiştir. Bağımlı değişkenleri açıklamak için kullanılan bağımsız değişkenler ise;

- Yatay kurba yarıçapı (R) (m)
- Boyuna eğim (s) (%)
- Dever (d) (mm)
- Toplam geçen trafik (T₁) (tren seti sayısı)
- Makineli tamirattan sonra geçen trafik (T₂) (tren seti sayısı)
- Ölçümler arası geçen trafik (T₃) (tren seti sayısı)
- Ortalama aylık sıcaklık (t) (C°)
- Ortalama aylık yağış (y) (mm)
- Alt kesim tipi (KT) (aliyman, kurp)
- Bağımlı değişkenin bir önceki ölçümdeki değeri (e_maks_Fleş_std, e_maks_Nivelman_std,)

olarak sıralanmıştır.

Regresyon analizinde bağımsız değişkenler sayısal veriler tipinde olduğu gibi nitelik bildiren sözel verilerde olabilir. Bu durumda nitelik bildiren değişkenler kukla değişken olarak hesaba katılırlar. Çalışmada kullanılan alt kesim tipi bağımsız değişkeninde ki aliyman değeri "0", kurp değeri ise "1" kabul edilerek hesaplara dahil edilmiştir. Ortalama aylık sıcaklık ve ortalama aylık yağış verileri ise Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [12].

Trafiği ait veriler ise dikkate alınan hattan ölçümlerin yapıldığı dönemde geçen tren seti sayısı olarak ifade edilmiştir. Çünkü dikkate alınan ölçüm dönemlerinde bu hatta çalışan tren setleri büyüklük olarak aynı özelliklere sahiptir. Ayrıca

ölçümlerin yapıldığı dönemlerde her bir hatta, var olan tren setleri ile günde ortalama 10 sefer yapıldığı tespit edilmiştir. Bu durum YHT hattının düşük trafik hacmine sahip olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada oluşturulan çoklu regresyon modelleri SPSS programı vasıtasıyla oluşturulmuştur. İlk oluşturulan modellerde bütün bağımsız değişkenler hesaba dahil eden “enter” metodu kullanılmıştır. Çizelge 11’de “maks_Fleş_std” bağımlı değişkeni için oluşturulan “enter” metodu kullanılarak oluşturulan regresyon modeline ilişkin bilgiler verilmiştir. Buna göre modelin R değeri 0,852 ve R² değeri ise 0,727 olarak hesaplanmıştır. %95 güven aralığında

p<0,05 anlamlılık düzeyinde, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir model oluşturulduğu görülmüştür.

Çizelge 11’de ki modelin katsayılar tablosuna bakıldığı zaman ise “maks_Fleş_std” parametresi üzerinde etkili olan değişkenlerin, p<0,05 anlamlılık değerine sahip olan “Ölçümler Arası Geçen Trafik” ve “Bağımlı Değişkenin Önceki Değeri” değişkenleri olduğu görülmektedir. p>0,05 olan diğer değişkenler ile bağımlı değişken arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı görülmektedir. Bundan dolayı bağımlı değişkeni açıklamaya katkısı olmayan bağımsız değişkenlerin hesaptan çıkarılması gerekmektedir.

Çizelge 11. “maks_Fleş_std” için enter metodu kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon analizi sonuçları

Model Özeti (maks_Fleş_std)				
R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Anlamlılık (p)	
0,852	0,727	0,709	0,00	
Katsayılar				
Değişken	B	Standart Hata	BETA	Anlamlılık (p)
Sabit	0,325215	0,110817097	-	0,00
R	5,11E-07	1,66618E-06	0,015366	0,76
d	-1,7E-05	0,000162952	-0,00517	0,92
s	0,001019	0,001329883	0,036245	0,44
T ₂	0,000102	6,40052E-05	0,10481	0,11
T ₃	-0,00032	8,18037E-05	-0,28091	0,00
T ₁	6,78E-06	7,94813E-06	0,042323	0,40
KT	-0,04144	0,022584662	-0,10328	0,07
t	2,96E-06	0,001670329	0,000115	1,00
e_maks_Fleş_std	0,772441	0,049071374	0,800098	0,00

Regresyon modeline katkısı olmayan değişkenleri modelden çıkarmak için birden fazla yöntem vardır. Bu çalışmada “stepwise” yöntemi kullanılarak bağımlı değişkene etkisi olmayan değişkenler modelden çıkarılmıştır. Bu yöntemde sırayla her değişken modele eklenir ve değerlendirilir. Modele dahil edilen değişken bağımlı değişkeni açıklamaya katkı sağlıyorsa eklenen değişken model de kalır. Bundan sonra modeldeki diğer değişkenlerin tamamının modele olan katkısı yeniden değerlendirilir. Eğer önemli bir katkıları yoksa modelden çıkarılır.

Çizelge 12’de fleş parametresine bağlı kalite göstergesi olarak kullanılan, fleş parametresinin

standart sapması değerini temsil eden “maks_Fleş_std” bağımlı değişkeni için “stepwise” yöntemi kullanılarak oluşturulan regresyon denklemi ile ilgili sonuçlar verilmiştir. Buna göre bağımlı değişkeni açıklamak için bağımsız değişkenlerin modele eklenip çıkarılması ile 3 model oluşturulmuştur. Bütün modeller de %95 güven aralığında p<0,05 anlamlılık düzeyinde bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Model özeti tablosundaki Durbin-Watson değeri (1,5-2,5 arasında olmalı) modellerdeki bağımsız değişkenler arasında otokorelasyon olmadığını göstermektedir. “maks_Fleş_std” bağımlı değişkeni için oluşturulan modeller içinde R değeri 0,847 ve R²

değeri 0,717 olan üçüncü modelin bağımlı değişkeni en yüksek açıklama oranına sahip olduğu görülmektedir. Katsayılar tablosuna bakıldığı zaman oluşturulan üç modelde de $p < 0,05$ için bütün değişkenlerin anlamlı olduğu görülmektedir. BETA katsayılarına göre modeldeki en önemli bağımsız değişkenin, en büyük değere sahip olan “bağımlı değişkenin önceki değeri” (e_maks_Fleş_std) olduğu görülmektedir. Ayrıca B katsayılarına göre

“ölçümler arası geçen trafik” (T_3) değişkenin 0 değeri ile modele katkısının olmadığı düşünülmektedir. Çizelge 12’ye göre “kesim tipi” (KT) değişkenin fleş parametresinin standart sapması üzerinde negatif etkisi vardır. Bunlardan başka “ortalama aylık sıcaklık” ve “ortalama aylık yağış” parametreleri ile temsil edilen iklim koşullarının “maks_Fleş_std” bağımlı değişkeni üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çizelge 12. “maks_Fleş_std” için stepwise yöntemi kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon analizi sonuçları

Model Özeti (maks_Fleş_std)					
Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminlerin Standart Hatası	Durbin-Watson
1	0,812	0,659	0,657	0,116377	1,743
2	0,842	0,709	0,705	0,1079439	
3	0,847	0,717	0,711	0,1068359	

Katsayılar						
Model No	Bağımsız Değişkenler	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	Anlamlılık
		B	Standart Hata	Beta		
1	(Sabit)	0,113	0,027		4,199	0
	e_maks_Fleş_std	0,784	0,046	0,812	17,043	0
2	(Sabit)	0,383	0,059		6,472	0
	e_maks_Fleş_std	0,824	0,043	0,854	18,988	0
	T_3	0	0	-0,226	-5,035	0
3	(Sabit)	0,423	0,062		6,844	0
	e_maks_Fleş_std	0,782	0,048	0,81	16,408	0
	T_3	0	0	-0,222	-4,983	0
	KT	-0,039	0,019	-0,098	-2,026	0,045

Çizelge 13’de nivelman parametresine bağlı kalite göstergesi olan, nivelman parametresinin standart sapmasını temsil eden “maks_Nivelman_std” bağımlı değişkeni için oluşturulan altı regresyon modeline ilişkin bilgiler verilmiştir. Buna göre bağımlı değişkeni açıklamak için bağımsız değişkenlerin modele eklenip çıkarılması ile 6 model oluşturulmuştur. Bütün modeller de %95 güven aralığında $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde

bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Model özeti tablosundaki Durbin-Watson değeri modellerdeki bağımsız değişkenler arasında otokorelasyon olmadığını göstermektedir. “maks_Nivelman_std” bağımlı değişkeni için oluşturulan modeller içinde en yüksek R değeri 0,784 ve R² değeri 0,615 olan altıncı modelin bağımlı değişkeni en yüksek açıklama oranına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 13. “maks_Nivelman_std” için stepwise yöntemi kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon analizi sonuçları

Model Özeti (maks_Nivelman_std)					
Model No	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminlerin Standart Hatası	Durbin-Watson
1	0,704(a)	0,495	0,491	0,2499511	1,85
2	0,741(b)	0,549	0,541	0,2372956	
3	0,756(c)	0,571	0,561	0,2322045	
4	0,772(d)	0,597	0,584	0,2261239	
5	0,768(e)	0,59	0,581	0,2269642	
6	0,784(f)	0,615	0,603	0,2208904	

Katsayılar (maks_Nivelman_std)						
ModelNo	Bağımsız Değişkenler	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	Anlamlılık
		B	Standart Hata	Beta		
1	(Sabit)	0,262	0,058		4,487	0
	e_maks_Nivelman_std	0,768	0,069	0,704	11,119	0
2	(Sabit)	0,334	0,059		5,703	0
	e_maks_Nivelman_std	0,797	0,066	0,731	12,08	0
	t	-0,012	0,003	-0,233	-3,847	0
3	(Sabit)	0,683	0,148		4,614	0
	e_maks_Nivelman_std	0,791	0,065	0,725	12,233	0
	t	-0,009	0,003	-0,171	-2,678	0,008
	T ₃	0	0	-0,162	-2,558	0,012
4	(Sabit)	0,619	0,146		4,24	0
	e_maks_Nivelman_std	0,809	0,063	0,741	12,781	0
	t	-0,005	0,003	-0,094	-1,387	0,168
	T ₃	-0,001	0	-0,395	-3,801	0
	T ₂	0,001	0	0,27	2,785	0,006
5	(Sabit)	0,649	0,145		4,477	0
	e_maks_Nivelman_std	0,803	0,063	0,736	12,668	0
	T ₃	-0,001	0	-0,472	-5,331	0
	T ₂	0,001	0	0,324	3,647	0
6	(Sabit)	0,593	0,142		4,168	0
	e_maks_Nivelman_std	0,827	0,062	0,758	13,278	0
	T ₃	-0,001	0	-0,53	-5,981	0
	T ₂	0,001	0	0,396	4,391	0
	R	-1,00E-05	0	-0,165	-2,813	0,006

Çizelge 13’de ki altıncı modelin katsayılar tablosuna bakıldığında BETA değerlerine göre “maks_Nivelman_std” parametresi üzerinde etkili olan bağımsız değişkenlerin önem derecesine göre, “bağımlı değişkenin önceki değeri (e_maks_Nivelman_std)”, “ölçümler arası geçen trafik (T₃)”, “tamirattan sonra geçen trafik (T₂)” ve “yatay kurp yarıçapı (R)” olarak sıralanmaktadır. Ayrıca B katsayıları incelendiği zaman “maks_Nivelman_std” parametresi üzerinde etkili

olan en anlamlı değişkenin bu parametrenin bir önceki ölçümdeki değerini temsil eden “e_maks_Nivelman_std” değişkeni olduğu görülmektedir. Her ne kadar trafiği ait değişkenlerin (T₃, T₂) ve kurp yarıçapının (R) modellerde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülse de aldıkları düşük B katsayısı değerleri ile modele çok önemli katkılarının olmadığı görülmektedir. Bunlardan başka “ortalama aylık sıcaklık” ve “ortalama aylık yağış” parametreleri

ile temsil edilen iklim koşullarının “maks_Nivelman_std” bağımlı değişkeni üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Ankara-Eskişehir YHT hattına ait geometri verilerinden yararlanılarak düşük trafik hacmine sahip yüksek hızlı tren hattında hat kalitesine etki eden etkenler araştırılmıştır. Çalışmada ilk olarak dikkate alınan YHT hattı güzergah geometrisi dikkate alınarak alt kesimlere ayrılmış ve EN134848-5’te belirtilen eşik değerlere göre bu alt kesimlerde meydana gelen bozulmalar tespit edilmiştir. Yapılan incelemede 2011 ve 2012 yıllarında yapılan 6 ölçüm sonucunda 989 alt kesimin yalnızca 43’ünde geometrik bozulma tespit edilmiştir. Bozulma olan kesimler tespit edildikten sonra bu kesimlerin her birinde fleş ve nivelman parametrelerine ait standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, hat kalitesine etki eden parametreleri belirlemek üzere fleş ve nivelman ölçümlerinin standart sapmalarını bağımlı değişken olarak dikkate alan çok değişkenli regresyon modelleri oluşturulmuştur. Her bir kalite göstergesi için ayrı ayrı oluşturulan ilk regresyon modellerinde “enter” metodu kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen modellerde bağımlı değişkenlerle birçok bağımsız değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı gözlenmiştir. Bundan dolayı modele katkısı olmayan değişkenlerin modelden çıkartılması için “stepwise” yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, çalışmaya konu olan YHT hattı gibi düşük trafik yoğunluklu bir demiryolu hattında kısa dönemler içinde hat kalitesine etki eden en önemli parametrenin hat kalitesinin bir önceki ölçümdeki değeri olduğu belirlenmiştir. Trafığe ait bağımsız değişkenlerin ve incelenen hat kesiminin tipinin ise hat kalitesi üzerindeki etkilerinin çok küçük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca hattın bulunduğu bölgedeki sıcaklık ve yağış durumunun göz önüne alınan süreler içinde hat kalitesine bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Bing, A.J., Gross, A., 1983. Development of Railway Track Degradation Models, Transportation Research Record, 939, p. 27-3.
2. Berawi, A.R.B., Delgado, R., Calçada, R., Vale, C., 2010. Evaluating Track Geometrical Quality Through Different Methodologies, International Journal of Technology, 1:38-47.
3. Office for Research and Experiments of the International Union of Railways (ORE), 1981. Quantitative Evaluation of Geometry Track Parameters Determining Vehicle Behavior: Introductory Study to the Problem of Assessing Track Geometry on the Basis of Vehicle Response, ORE C152 Report No. 1, 54p.
4. Sadeghi, J., 2010. Development of Railway Track Geometry Indexes Based on Statistical Distribution of Geometry Data. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 136(8), 693-700.
5. Madejski, J., Graczyk, J., 2000. Continuous Geometry Measurement for Diagnostic of Tracks and Switches. Silesian Univ. of Technology, Gliwice, Poland, 8–30.
6. Anderson, M., 2002. Strategic Planning of Track Maintenance. State of Art. KTH Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure TRITA-INFRA 02-035, p59.
7. Mundrey, J.S., 2008. Railway Track Engineering McGraw-Hill, 659, New Delhi.
8. Ebersöhn, W., Conrad, J.R., 2003. Implementing a Railway Infrastructure Maintenance System, Amtrak, Washington, D.C.
9. Zhang, Y.J., El-Sibaie, M., Lee, S., 2004. FRA Track Quality Indices and Distribution Characteristics. AREMA 2004 Annual Conference, September 19-22, Nashville, (CD-ROM).
10. EN-13848-5, 2008. Railway Applications-Track-Track Geometry Quality, Part 5: Geometric Quality Levels-Plain line, Brussels.
11. Beyazıt, M., Yeğen Oğuz, E.B., 2005. Mühendisler İçin İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, s.197.

12. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), İl ve İlçelerimize ait İstatistikî Veriler. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx#sfU>, 03.05.2014

KB Türkiye (Şile-İstanbul) Entomozoacean Ostrakodları

Emine ŞEKER ZOR^{*1}, Atike NAZİK¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada Kuzeybatı Türkiye Şile-İstanbul bölgesinde yüzeleyen Büyükada Formasyonunun Yörükali Üyesi ostrakodları çalışılmıştır. Sözü edilen birimden Yörükali ve Karamandere kesitleri ölçülmüştür. Alınan örneklerde Myodocopid familyasına ait olan Entomozoacean (pelajik parmak izi) ostrakodları çalışılmıştır. Kesitlerde *Entomoprimitia* Kummerow; *Nehdentomis* Matern; *Rabienella* Gründel; *Richterina* Gürich; *Richterina* (*Volkina*) Rabien; *Waldeckella* Rabien; *Kuzminaella* Tschigova; *Franklinella* Stewart and Hendrix; *Nehdentomis* (Matern), ostrakod cinsleri tanımlanmıştır. Saptanan bu türler Frasnien yaşlı *Entomoprimitia sartenaeri* Zonu'nu (= variostrata Zone sensu Rabien) karakterize etmektedir. Yörükali Üyesi içinde bulunan Geç Devoniyen entomozoacean ostrakodları, Polonya/Holy Cross Dağları, Almanya/Rheinische Schiefergebirge, Kuzey Fransa-Belçika/Ardenler, Volga-Ural Bölgesi ve Güney Çin'de bilinmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ostrakod, Entomozoacean, Frasnien, İstanbul/Türkiye

Entomozoacean Ostracodes of NW Turkey (Şile -İstanbul)

Abstract

Yörükali and Karamandere sections were measured in Yörükali member of Büyükada formation surfaced in the Şile-İstanbul region of NW Turkey. 16 paleontologic samples are researched from these sections. Entomozoacean ostracodes (pelagic so-called fingerprint ostracodes) of Myodocopid family were studied. In this study, 8 genera and 13 species of the Entomozoacean type ostracodes were identified in the Late Devonian. These identified species correspond to *Entomoprimitia sartenaeri* zone (= variostrata Zone sensu Rabien). These entomozoacean zone and ostracodes indicate that there were faunal relations with Poland/Holy Cross Mountains, Germany/Rheinische Schiefergebirge, N France-Belgium/Ardennes, Volgo-Ural Region and South China in Late Devonian.

Keywords: Ostracodes, Entomozoacea, Frasnian, İstanbul/Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Emine ŞEKER ZOR, emiseker@gmail.com

1. GİRİŞ

Ostrakodlar ekolojik/paleoekolojik olarak önemli Crustacean'lardır. Dünya'da 1954 yılından bu yana Entomozocean ostrakod topluluğu çalışılmaya başlanmıştır. Stratigrafik olarak önemli olan bu ostrakodların yaşam biçimleri ve ortamları hakkında hala araştırmacılar arasında büyük tartışmalar bulunmaktadır. Türkiye'de Paleozoyik için karakteristik olan Entomozocean grubu ostrakodlar yakın geçmişte çalışılmaya başlanmıştır [1,2].

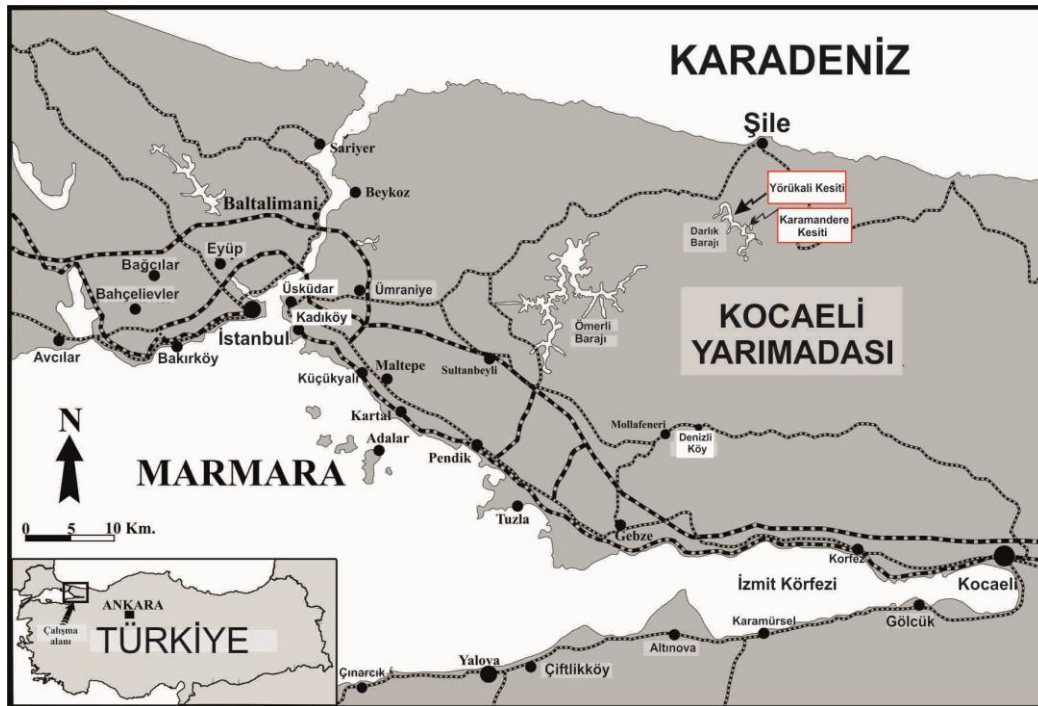
Türkiye'nin Kuzey batısında yer alan İstanbul Paleozoyik istifi birçok konuda ayrıntılı olarak incelenmiştir [3-14]. Farklı fosil grupları olarak paleontolojik amaçlı çok sayıda çalışma da yapılmıştır [1,-3,5,15-39].

Bu çalışmanın amacı, İstanbul Paleozoyik istifindeki Devoniyen yaşlı Büyükada Formasyonu Entomozocean ostrakod topluluğunun biyostratigrafisini ve paleocoğrafyasını ortaya koymaktır.

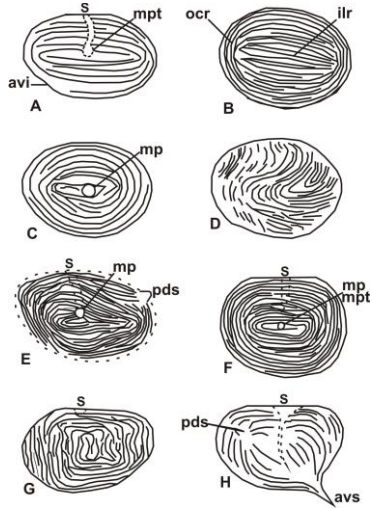
2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın materyalini, İstanbul iline bağlı Şile ilçesinin Darlık bölgesinde mostra veren Büyükada Formasyonu, Yörükali Üyesi birimlerinden ölçülen kesitlerden derlenen fosilli ayrılmış ve sert kayaç numuneleri oluşturmaktadır (Şekil 1). Araştırmada, 2 adet stratigrafik kesit ölçülerek toplam 16 paleontolojik örnek alınmıştır.

Bu çalışmada, araziden alınan paleontolojik örnekler; herhangi bir işlem görmeden, tabakalanma yüzeyine paralel olarak ayrılarak stereomikroskop altında doğrudan incelenmiştir. Entomozocean ostrakodların, kayaçta bulunan fosilleri, iç ve dış kalıpların bazı morfolojik özellikleri incelenerek cins ve tür tayinleri yapılmaktadır. Bu tayinler yapılırken Şekil 2 ve Şekil 3'de verilen tipik özellikleri (dış ve iç kavkı süsleri, dikenler, kas izi vb.) dikkate alınarak tanımlanır. Entomozocean ostrakodların fotoğrafları entegre soğuk ışık kaynağına sahip Leica DFC320 model mikroskop ile çekilerek Levha 1-2 hazırlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



avi: Ön-karın kenar girinti (Antero-ventral indentation of marjin)

mpt: Kas çukuru (Muscle patch)

s: Oluk (Sulcus)

ocr: Dış konsantrik çizgiler (Outer concentric rib)

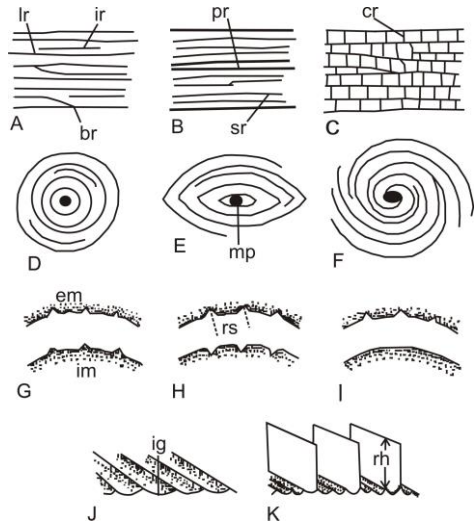
ilir: İç boyuna çizgiler (İnner longitudinal rib)

mp: Kas izi (Muscle pit)

pds: Arka-sırt dikenini (Postero-dorsal spine)

avs: Ön-karın dikenini (Antero-ventral spine)

Şekil 2. Tipik Geç Devonyen-Karbonifer Entomozoacean ostrakod'ların kavkılarındaki dış hat ve çizgileri [40].



A: Kısa iç çizgiler (ir) ve yatay çizgiler (lr)

B: Birincil (pr) ve ikincil (sr) çizgilerin arasında farklılaşmış yatay çizgiler

C: Düşey çizgilerle (cr) bölünmüş yatay çizgiler (lr)

D: Dairesel consantrik çizgiler

E: Merceksi contrik çizgiler

F: Kas izi (mp) çevresinde spiral çizgiler

G: Dış kalıp (em) ve iç kalıp (im)

H: Yer değiştirmiş süslerle iç ve dış kalıplar (rs,

İ: Düz iç kalıpla süslü dış kalıp (rs

J: Çizgiler arası çukurluklu ayrılmış normal çizgiler

K: İki normal çizgiler yükseltiyle yayılmış

Şekil 3. Tipik Geç Devonyen-Karbonifer Entomozoacean ostrakod'ların kavkılarındaki çizgi terminolojisi [40].

3. LİTOSTRATİGRAFİ

Bu araştırma, İstanbul Paleozoyik istifinin Denizliköy grubuna ait Büyükada formasyonu Yörükali Üye'si birimlerinde yapılmıştır. Bu nedenle Büyükada Formasyonu ve Yörükali Üyesi ayrıntılı özellikleri ve diğer birimlerle olan ilişkileri aşağıda verilmiştir [9,10].

3.1. Büyükada Formasyonu

Tanım, ad ve dağılım: Başlıca afanitik (mikrokristalli) kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, kalkerli, şeyl, lidit (radyolarit-opalimsi çört) ve grovacklardan oluşan birim ilk kez [30] tarafından "Büyükada Formasyonu" olarak adlanmıştır. Adını Büyük Ada'dan alan birimin ayrıntılı tanımı [5]'da

yapılmıştır. Bu çalışmada, grovaplardan oluşan en üstteki Küyükyalı üyesi Baltalimanı Formasyonu'na dahil edilerek incelenmiştir. Formasyon, Kocaeli yarımadası'nın batı kesimlerinde yaygın olarak yüzeyler. *Tip kesit ve Tip yer:* Tip yeri ve tip kesiti olmayan birim için [5], üyelere ait referans ve tip kesitler verir. Şile güneyindeki Korucu köyü güneydoğusu (F23d; D: 16600-K: 53100 ile D: 16850-K:53300 arası) ile Gebze kuzeydoğusundaki Denizliköy dolay (G23a D:13100-K:31000 ile D:13500-K:29000 arası) birim için tip kesit yeri olarak önerilir. *Kaya türü özellikleri:* Birim altta kireçtaşı, ortada şeyl-çört araldanması ve üstte de genellikle ince yumrulu kireçtaşından oluşur. Ayrıntılı tanımları üyelere verilen bu kaya türleri Bostancı üyesi, Yörükali üyesi ve Ayineburnu üyesi olarak adlanmıştır [5, 30]. *Dokanak ilişkileri:* Büyükada Formasyonu alta Kartal, üstte Baltalimanı formasyonları ile dereceli geçişlidir. *Kalınlık ve Yanal değişim:* Birimin kalınlığı 200 m dolayında olup, kendisini oluşturan kaya türleri arasında yanal ve dikey yönde değişim sunar. Fosil kapsamı ve yaş: Büyükada Formasyonu'nun yaşı, önceki araştırmacıların yaş bulguları irdelenerek Geç Eyfeliyen-Fameniye (Orta-Geç Devoniyen) olarak benimsenmiştir. *Ortam yorumu:* Formasyonu oluşturan kaya türleri ramp (ramp tipi şelf) ortamının kıta yamacına yakın olan kesimi ile kıta yamacında çökelmiş olmalıdır [13]. *Deneştirme:* Birim çalışma alanında "Fosilli Seri" [15] ve "Böbreksi Kireçtaşı-Çörtüst Seri" [41] içinde; "Bänderschifer-Fazies" ve "Nierenkalk-Horizont" adlarıyla [43]; "Böbreksi kireçtaşı (Nierenkalk) adı altında [42, 43]; Ara fasiyes içinde "yumrulu Kireçtaşı" ve "Kireçtaşı" adlarıyla; [44] "Yumrulu kalkerler [19] ve "Denizli tabakaları" [4] adları altında "Nodüler ve Çörtlü Kireçtaşları [45] ve "Tuzla Formasyonu" [6, 11] adlarıyla incelenmiştir. Formasyonun Batı Pontidler'de deneştirebileceği bir birim bilinmemektedir.

Yörükali Üyesi: Başlıca lititlerden oluşan birim, [5] tarafından Büyükada Formasyonu kapsamında "Yörükali üyesi" olarak adlanmıştır. Adını Büyük Ada batısındaki (Dil Burnu güneydoğusu) Yörükali koyundan alan birim, Tuzla Yarımadağı'nın doğu kıyısı ile Korucu Köyü

(F23d) güneydoğusundaki Kışla Sırtı güneyinde, Gebze kuzeyinde Organize Sanayi kuzeydoğusunda, Denizliköy kuzeydoğusunda tipik yüzlekler sunar. Üyenin tip kesiti Yörükali güneyindedir [5]. Birim gri, pembe ve sarımsı kahverenkli, silisifiye şeyl ile siyah renkli çört-radyolarit araldanmasından oluşur. Laminalanmalı olan şeyl ve çörtler, nadir olarak siyah kireçtaşı aratabakaları içerir. Birim içinde seyrek olarak gözlenen 2-3 cm çapındaki disk şekilli çört yumruları radyolarya fosili içerir. Kayma-oturma ve tektonik etki nedeniyle birim oldukça kıvrımlıdır. Denizliköy kuzeyindeki Yelken Tepe ve civarında olduğu gibi, üyenin yoğun litit-çört içeren seviyeleri Baltalimanı Formasyonu ile büyük benzerlik gösterir. Pembe-mor rengin (yüzeyde bazen 15-20 cm²'lik bir alan büyüklüğünde) varlığı, içerdiği yumruların yassı şekilli oluşu ve silisifiye şeyl içermesi ile Baltalimanı Formasyonu'ndan kolaylıkla ayrılır [10].

Birim altta Bostancı, üstte ise Ayineburnu üyeleri ile dereceli geçişlidir. Üyenin kalınlığı değişken olup, yer yer 100 metreye varan kalınlığa ulaşır.

Birimdeki yassı-yarı yuvarlak silis yumrularından Erken Devoniyen-Geç Permiyen yaş aralığını temsil eden *Stigmophaerostylus* sp. ve *Trilonch* sp. gibi radyolarya fosilleri tanımlanmıştır [26]. Ancak, tanımlayan araştırmacılar, faunada Albeilit'lerin olmaması nedeniyle, birimin yaşı [46] tarafından olası Devoniyen olarak benimsenmiştir. Üyenin yaşı, stratigrafik konumu (altta Bostancı üyesi Geç Eyfeliyen-üstte Ayineburnu üyesi Fameniye) göz önünde bulundurularak Givesiyen-Frasniyen olarak benimsenmiştir. Üyenin çökelme ortamı, rampın (ramp tipi şelfin) önündeki kıta yamacı olmalıdır [6,11].

Birim çalışma alanında "Böbreksi Kireçtaşı-Çörtüst Seri (Die Nierenkalk-Kieselschiefer-Serie)" [3,41] içinde; "Yelkentepi Tabakaları (Yelken Tepe-Schichten)" [4] adıyla; Tuzla formasyonu içinde "Yörükali üyesi" [6,11] adı altında incelenmiştir.

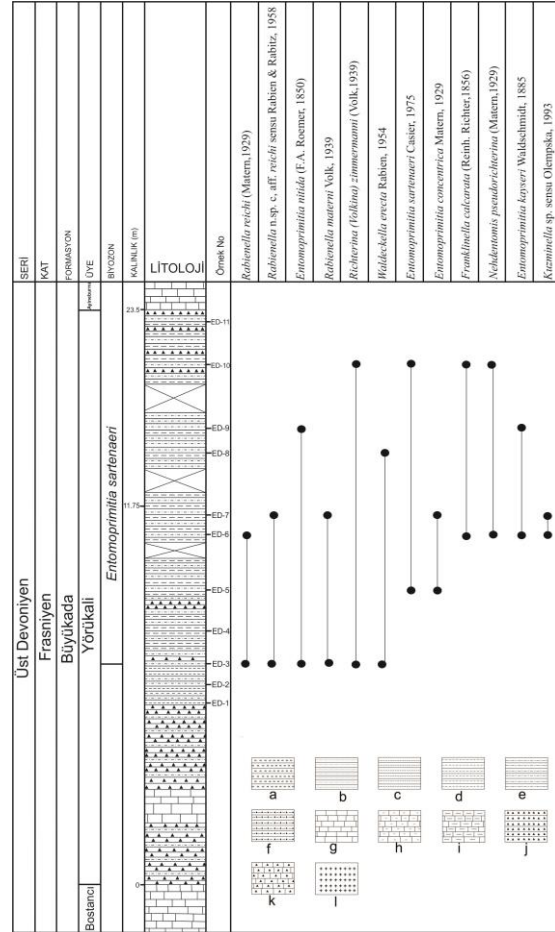
4. ÖLÇÜLÜ KESİTLER VE OSTRAKOD TOPLULUĞU

4.1. Yörükali Kesiti ve Entomozoacean Ostrakodları

İnceleme alanında Yörükali kesiti 1/25.000 ölçekli F22c3 paftasında 0718063E 4552970N koordinatları ile başlar 0716737E, 4553035N koordinatları ile son bulur. Bu kesit 23,5 m kalınlıkta olup toplam 11 paleontolojik örnek derlenmiştir.

Kesit, Büyükada Formasyonunun Yörükali üyesi içerisindeki çökellerden [33]'de belirtilen seviyeleri de içine alacak şekilde detaylı olarak tekrar ölçülmüştür. Yörükali ölçülü kesiti, koyu gri-siyah, ince-orta tabakalı, yer yer laminalı sparit damarlı mikritik kireçtaşı içerikli Büyükada Formasyonunun Bostancı üyesi ile başlamakta, siyah, bozuşma rengi sarı, sarımsı kahverengi, ince orta tabakalı, laminalı çört-lidit ile devam etmektedir. Bu seviyenin üzerine koyu gri siyah, ince-orta tabakalı, yer yer laminalı sparit damarlı mikritik kireçtaşı ve üzerine siyah, sarımsı kahverengi ince tabakalı çört gelmektedir. Bu serinin üzerine yine gri kil rengi, bozunma rengi sarı-sarımsı kahverengi çok ince tabakalı ve laminalı (pijama benzeri) silttaşı, silisifiye şeyl araldanması, gözenekli ve gevşek katmanlanmalar gelmektedir (Şekil 4).

Bunların üzerine bozuşma rengi sarı, sarımsı kahverengi, laminalı çört üzerine yeşil, yeşilimsi gri, gri mavi, bozulma rengi sarı, sarımsı kahverengi ince tabakalı laminalı silttaşı, silisifiye şeyl araldanması gelmektedir. Yeşilimsi gri bozunma rengi kahverengi çok ince taneli mikali çok ince silttaşı üzerine sarımsı gri ve sarımsı kahverengi, yassı çört nodüllü çok bozuşmuş çört tabakası gelmektedir. Birim üstte doğru bantlı yapı kazanmakta ve yumru kireçtaşı ile kesit son bulmaktadır.



Şekil 4. Yörükali kesiti ve ostrakod dağılımı, Litolojik açıklamalar: a. Çakıltaşı, b. Kumtaşı, c. Kilttaşı, d. Silttaşı, e. Yumru silttaşı, f. Silisleşmiş şeyl, g. Kireçtaşı, h. Yumru kireçtaşı, i. Killikireçtaşı, j. Çört, k. Çörtlü kireçtaşı, l. Granit

Yörükali kesitinde Cladocopina alttakıma ait Entomozoacea Süperfamilya'sından 8 cins ve 13 tür tayin edilmiştir. Geç Frasnien'de Entomoprimitia sartenaeri Zonunda (=variostrata Zone sensu Rabien); Entomoprimitia Kummerow; Nehdentomis Matern; Rabienella Gründel; Richterina Gürich; Richterina (Volkina) Rabien; Waldeckella Rabien; Kuzminaella Tschigova; Franklinella Stewart and Hendrix ostrakod cinsleri tanımlanmıştır.

4.2. Karamandere Kesiti ve Entomozocean Ostrakodları

Karamandere ölçülü stratigrafik kesiti 1/25.000 ölçekli İstanbul F22c3 paftası 071865E ve 4554268N koordinatlarıyla başlar ve 0718196E 4554120N koordinatı ile ölçülü stratigrafik kesit son bulur.

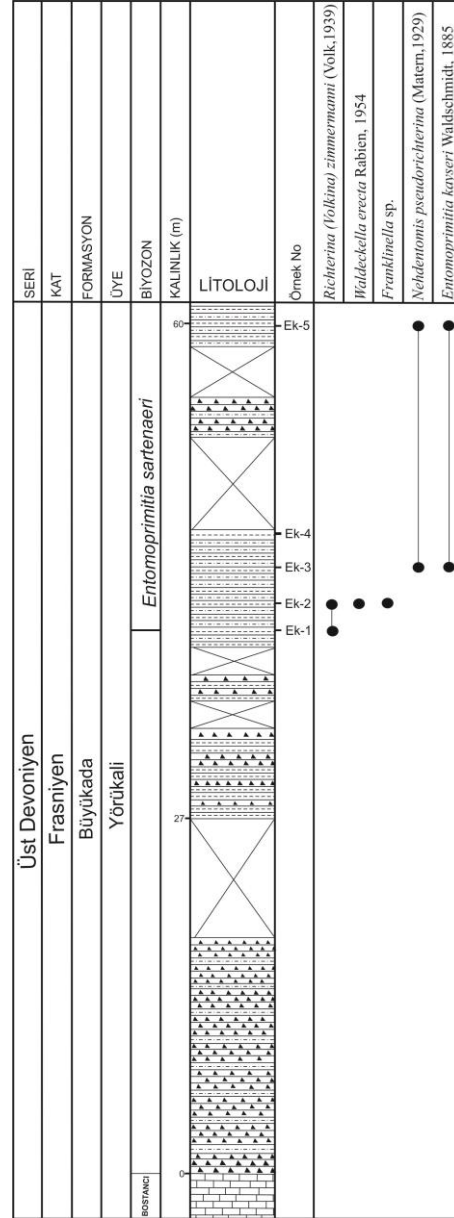
Karamandere kesitinin 0-3 m arası koyu gri-siyah, ince-orta tabakalı, sparit damarlı mikritik kireçtaşı ile başlamaktadır (Şekil 5). 3-18 m arası siyah, ince tabakalı, laminalı çört-lidit üzerine 3 m koyu gri-siyah, mikritik kireçtaşı gelmektedir. Yaklaşık 9m örtü tabakasından sonra 7 m kalınlıkta siyah, bozuşma rengi sarımsı kahverengi, ince tabakalı, laminalı çört ile siyah, çok ince tabakalı silisifiye şeyl bulunmaktadır. Bu tabakaların üzerine 2 m örtü bulunmaktadır. Bunun üzerine yeniden ince tabakalı laminalı çört ile çok ince tabakalı silisifiye şeyl ardalanması ve 2 m örtü tabakası gelmektedir. Bu tabakalardan hemen sonra gri, yeşilimsi gri, grimsi yeşil, mikali silisifiye şeyl ve çok ince taneli silttaşı vardır ve bantlaşma yapısı göstermektedir. Bu seviyeden itibaren örneklemeye bulunmaktadır. Yaklaşık 7 m örtüden sonra 3 m siyah çört ve bantlı yapı üzerine yeniden yaklaşık 4 m kalınlığında örtü tabakası gelmektedir. Kesit grimsi-yeşil ve boz renkli ince tabakalı bantlı silttaşı ve silisifiye şeyl ile son bulmaktadır.

Kesit içerisinde, 5 paleontolojik örnek derlenmiştir. Kalınlığı ise 61 m'dir. Karamandere kesitinde Cladocopina alttakıma ait Entomozoacea Süperfamilya'sından 4 cins ve 5 tür tayin edilmiştir. Karamandere kesitinde yapılan çalışmalarda *Richterina (Volkina) zimmermanni* Volk; *Waldeckella erecta* Rabien; *Franklinella* sp., *Nehdentomis pseudorichterina* Matern; *Entomoprimitia kayseri* Waldschmidt, türleri bulunmuştur Fosil fotoğrafları Levha 1 ve 2'de verilmiştir.

5. BİYOSTRATİGRAFI

Devoniyen, Avrupa'da İspanya, Almanya, Fransa'da; Asya'da ise Çin'de konodont, ammonit ve ostrakod zonlarına bağlı detaylı olarak

incelenmiş; kronostratigrafik ve biyostratigrafik ayrımlar yapılmıştır. Bu zonların karşılaştırılmaları [47]'e göre Şekil 6'de verilmiştir



Şekil 5. Karamandere kesiti ve ostrakod dağılımı

Bu çalışmada Entomozocean ostrakod topluluğuna göre *Entomoprimitia sartenaeri* Zonu (= *variostrata* Zone sensu Rabien) ayrılanmıştır.

Entomoprimitia sartenaeri Zonu (= *variostrata* Zonu sensu Rabien)

Kategori : Topluluk Zonu
Yaş : Geç Frasnien
Yazar : Casier [49]

Tanım : *Rabienella* cinsi'nin *volki*, *schmidti*, ve *reichi* türleri ilk kez ortaya çıkmıştır [17].

Yaygın Cins ve Türler: *Entomoprimitia concentrica* Matern; *Entomoprimitia nitida* (F.A. Roemer); *Entomoprimitia kayseri* Waldschmidt;

Entomoprimitia sartenaeri Casier; *Nehdentomis pseudorichterina* (Matern); *Rabienella reichii* (Matern), *Rabienella* n. sp. c, aff. *reichii* sensu Rabien & Rabit; *Rabienella materni* Volk; *Richterina* (Volkina) *zimmermanni* (Volk); *Waldeckella erecta* Rabien; *Franklinella calcarata* (Reinh. Richter); *Kuzminella* sp. sensu Olempska [50].

Karşılaştırma ve Yorum : Bu zon Casier [49] tarafından Belçika'da Boussu-en-Fagne bölgesinde Matagne Formasyonun'da tanımlanmıştır [39,14].

Alt Karbonifer	Ammonit Zonları	Almanya Katları	Entomozoacean Zonları	Türingiyen ostrakod Zonları	Konodont Zonları			
Üst Devonyen	cd I		<i>latior</i>					
	Fameniyen	doVI	Wocklum	<i>hemisphaerica/latior</i> ara zonu	8	<i>praesulcata</i>		
		doV	Dasberg	Ü <i>hemisphaerica</i> A <i>-dichotoma</i>	7	Ü <i>expansa</i> D A		
		doIV	Hemberg	<i>intercostata</i>	6	Ü <i>postera</i> D A		
		dolIII			5	Ü <i>trachytera</i> D A		
		doll	Nehden	Ü <i>serratostrata</i> A <i>-nehdensis</i>	4	Ü <i>marginifera</i> D A		
		do I			Adorf	<i>sigmoidale</i>	3	Ü <i>rhomboidea</i> D A
							Frasnien	<i>sartenaeri</i>
		<i>splendens</i>						
		<i>reichii/splendens</i> ara zonu						
		<i>reichii</i>						
	<i>schmidti</i>							
	<i>volki</i>							
	<i>materni</i>							
	<i>barrandei</i>							
<i>cicatricosa/ barrandei</i> ara zonu								
			<i>cicatricosa</i>	1	<i>jamieae</i>			

Şekil 6. Üst Devonyen biyostratigrafik korelasyon [47,51,52]

6. PALEOEKOLOJİ VE PALEOCOGRAFYA

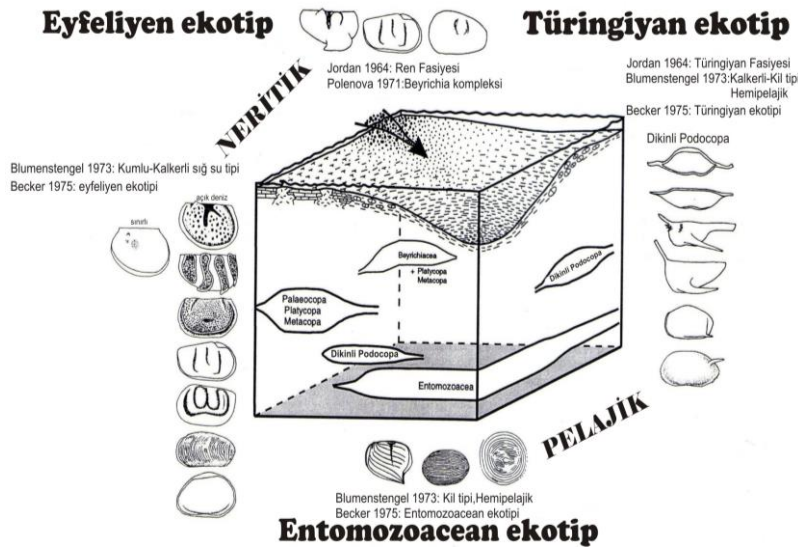
Devonyen ostrakodları marn ve kireçtaşları içerisinde kavki veya kapak olarak; şeyl, kumtaşı ve bozunmuş kireçtaşlarında ise iç ve dış kalıp olarak bulunmaktadır. Devonyen ostrakodları çoğunlukla denizel sedimanlarda bulunur. Üç ana

denizel ekotip veya ekotopluluk öngörülmüştür [14,53-57]. Bu topluluklar Şekil 7'de gösterilmiştir.

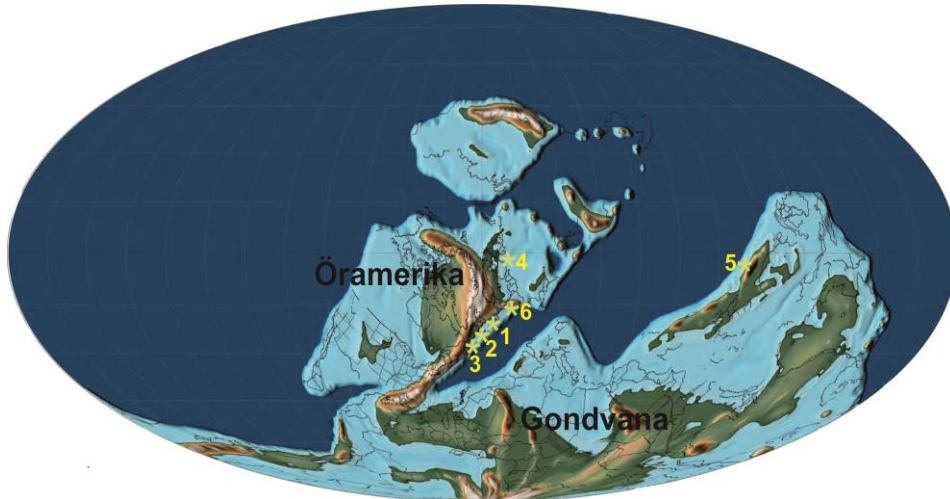
Bu çalışmada entomozoacean ostrakod topluluğu şeyl ve marnların arasından fosilin kendisi, iç ve dış kalıpları olarak bulunmuştur.

Bölgede yapılan daha önceki çalışmalardan [13]'da Büyükada Formasyonuna ait Yörükali üyesinin pelajik ortamda çökelediğinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada Yörükali ve Karamandere kesitlerinden alınan örneklerde *Entomoprimitia* Kummerow; *Nehdentomis* Matern; *Rabienella* Gründel; *Richterina* Gürich; *Richterina* (Volkina) Rabien; *Waldeckella* Rabien; *Kuzminaella* Tschigova; *Franklinella* Stewart and

Hendrix gibi entomozoacean cinslerinin varlığı daha önceki çalışmaların sonucunu destekler niteliktedir. Bu çalışmada saptanan Entomozoacean ostrakodlar önceki çalışmalarla karşılaştırılarak, Polonya/Holy Cross Dağları, Almanya/(Ren masifi, Harz, Tübingiya), Kuzey Fransa-Belçika (Ardenler), Volgo-Ural bölgesi ve Güney Çin'de ve Türkiye'de bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 7. Devonyen ostrakodlarının neritik ve pelajik ortamdaki paleoekolojisi [48]



Şekil 8. Geç Frasnien paleocoğrafya haritası üzerinde entomozoacean faunasının bulunduğu yerler [6]'dan değiştirilerek. 1. Polanya/Holy Cross Dağları, 2. Almanya/Ren Masifi, 3. K Fransa-Belçika/Ardenler, 4. Volgo-Ural Bölgesi, 5. Güney Çin, 6. Türkiye

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Yörükali ve Karamandere ölçülü stratigrafi kesitlerinden alınan örneklerde ostrakodlardan Cladocopina alttakıma ait Entomozoacea süperfamilya'sından 8 cins ve 13 tür tayin edilmiştir (Levha 1, 2).

Entomozocean ostrakod topluluğuna göre ve *Entomoprimitia sartenæri* Zonu (= *variostrata* Zone sensu Rabien) ayrılanmıştır [57, 59].

Paleobiyocoğrafik olarak bulunan entomozocean ostrakodlar, Polonya/Holy Cross Dağları, Almanya/ (Ren masifi, Harz, Thüringiya) Kuzey Fransa-Belçika (Ardenler), Volga-Ural bölgesi ve Güney Çin ile ilişkili olduğu görülmüştür [60].

Entomozocean ostrakod topluluğunun yaşam ortamları araştırmacılar tarafından hala tartışılmalı da pelajik ortamda yaşadıkları büyük oranda kabul görmüştür [6]. Daha önceki çalışmalarda Büyükada Formasyonuna ait Yörükali üyesi'nin açıkdeniz de çökelmiş olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada bulunan ostrakodlarda bu görüşü desteklemektedir.

8. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı sayın Emekli Yüksek Jeoloji Mühendisi İbrahim GEDİK (MTA) ve yapılan tez çalışmasını MMF2009YL56 proje numarası ile destekleyen ÇÜBAP (Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi)'a teşekkür ederiz.

9. KAYNAKLAR

1. Nazik, A., Groos-Uffenorde, H., 2016. Notes on beyrichiacean ostracodes from the Early Devonian of NW Turkey and Their Palaeobiogeographical Relations, Turkish Journal Of Earth Sciences, vol.25, pp.201-226.
2. Nazik, A., Groos-Uffenorde, H., Şeker, E., Yalçın, M.N., Wilde, V., Schindler, E., 2015. Orta-Doğu Toroslar ve KB Anadolu Devoniyen Ostrakodlarının Biyostratigrafisi, Paleokolojisi ve Paleobiyocoğrafyası, İstanbul

- Üniversitesi'nde Jeoloji'nin 100. Yılı Sempozyumu & Mezunlar Günü Bildiri Kitabı, 674-675, İstanbul.
3. Özgül, N., 2012. Stratigraphy and Some Structural Features of the Istanbul Palaeozoic. Turkish Journal of Earth Sciences 21, 817-66.
4. Haas, W., 1968. Das Alt-Paläozoikum von Bithynien (Nordwest Türkei). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen 131, 178-242.
5. Kaya, O., 1973. Paleozoic of İstanbul. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi 40, 143.
6. Olempska, E., 2002. The Late Devonian Upper Kellwasser Event and Entomozocean Ostracods in the Holy Cross Mountains, Poland, Acta Palaeontologica Polonica, 47 (2), 247-266.
7. Göncüoğlu, C., Kozur, H.W., 1998. Facial Development and Thermal Alternation of Silurian Rocks in Turkey. In: GUITERREZ-MARCO J.C. & RABANO I. (eds), Proceedings, 1998 Field-Meeting, IUGS Subcommission on Silurian Stratigraphy, Temas Geologico-Mineros ITGE 23, 87-90.
8. Göncüoğlu, C., Kozur, H.W., 1999. Remarks on the pre-Variscan development in Turkey. In: Linnemann, U., Heuse, T., Fatka, O., Kraft, P., Brocke, R. & Erdtmann, B.T. (eds) Prevariscan Terrane Analyses of "Gondwanean Europa". Proceedings, Schriften des Staatlichen Museums Mineralogie Geologie Dresden 9, 137-138.
9. Gedik, İ., Önal, M., 2001. Çamdağ (Sakarya İli) Paleozoyik Stratigrafisine ait yeni Gözlemler. İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi 14, 61-76.
10. Gedik, İ., Pehlivan, Ş., Timur, E., Duru, M., Altun, İ., Akbaş, B., Özcan, İ., Alan, İ. 2005. Kocaeli Yarımadası'nın Jeolojisi. MTA, Rapor No 1000774, Ankara.
11. Okay, A.C., 1947. Geologische und Petrographische Untersuchung des Gebietes Zwischen Alemdağ, Karlıdağ und Kayışdağ in Kocaeli (Bithynien Türkei). Rev. Fac. Sci. I'Univ. d'Istanbul, ser. B, t. II, fasc. 4, İstanbul.
12. Önal, M., 1982. Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimenter Özellikleri. Doçentlik Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul-Türkiye.

13. Önal, M., 1987/1988. İstanbul Devoniyen Çökellerinin Sedimenter Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi 6, 93-108.
14. Walliser, O.H., 1996. Global Events in the Devonian and Carboniferous, Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic, 225-250.
15. Paeckelmann, W., 1938. Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologie, Palaeontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel. 2. Geologie Thraziens, Bithyniens und der Prinzeninseln. Abhandlungen der Preussisch Geologischen Landesanstalt, N.F. 186, 1 – 202.
16. Paeckelmann, W., 1925. Beitrage zur Kenntnis der Devons am Bosphorus, Insbesondere in Bithynien. Abh. Preussische Geol. Landesanstalt N.F., 98, 150.
17. Rabien, A., 1954. Zur Taxionomie und Chronologie der oberdevonischen Ostracoden. Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 9, 1-268.
18. Baykal, F., Kaya, O., 1963. Allgemeine Stratigraphie des Karbons in der Umgebung von Istanbul. Bull. Min. Res. Exp. 61, 1—10.
19. Abdüsselamoğlu, Ş., 1963. Nouvelles Observations Stratigraphiques et Paléontologiques Sur les Terrains Paléozoïques Affleurant a l'est du Bosphore. MTA Bulletin 60, 1-6.
20. Çapkınoğlu, Ş., 1997. Conodont Fauna and Biostratigraphy of the Famennian of Büyükkada, İstanbul, Northwestern Turkey. Bollettino della Società Paleontologica Italiana 35, 165-185.
21. Çapkınoğlu, Ş., 2000. Late Devonian (Famennian) Conodonts from Denizliköyü, Gebze, Kocaeli, Northwestern Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 9, 91-112.
22. Çapkınoğlu, Ş., 2005a. Famennian Conodonts from the Ayineburnu Formation of the İstanbul Zone, NW Turkey. Geologica Carpathica, 56, 2, 113-122.
23. Çapkınoğlu, Ş., 2005b. Upper Devonian (Upper Frasnian-Lower Famennian) Biostratigraphy of the Ayineburnu Formation, İstanbul Zone, NW Turkey. Geologica Carpathica 56 (3), 223-236.
24. Göncüoğlu M.C, Turhan N., Tekin U.K., 2003. Evidence for the Triassic Rifting and Opening of the Neotethyan Izmir-Ankara Ocean, northern edge of the Tauride-Anatolide Platform, Turkey. Bull. Soc. Geol. It., Spec. Vol., 2: 203-212.
25. Dojen, C., Özgül, N., Göncüoğlu, Y., Göncüoğlu, C., 2004. Early Devonian Ostracodes of Thuringian Ecotype From NW Anatolia (Turkey). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte 12, 733-748.
26. Yalçın, M.N., Yılmaz, İ., 2010. Devonian in Turkey-a Review. Geologica Carpathica, 61, 3, 235-253.
27. Saydam-Demiray, D.G., Çapkınoğlu, Ş., 2012. Conodont Fauna and Biostratigraphy of the Early-Middle Devonian Units in Beykoz, Şile and Kurtdoğmuş areas, İstanbul, Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 145, 1–21.
28. Schindler, E., Nazik, A., Haude, R., Brocke, R., Şeker, E., Bozdoğan, N., Sancay, R.H., Groos-Uffendorde, H., Jansen, U., Weddige, K., Özkan, R., Yalçın, M. N., Wehrmann, A., Wilde, V., 2014. First Record of Loboliths in Turkey: Scyphocrinoids and Other Palaeontological Evidence for the Silurian/Devonian Boundary Interval in the Eastern and Central Taurides. 67th Geological Congress of Turkey, 704-705, Ankara.
29. Jansen, U., Nazik, A., Nalcıoğlu, G., Özkan, R., Groos-Uffendorde, H., Şeker, E., Brocke, R., Sancay, R.H., Bozdoğan, N., Yılmaz, İ., Yalçın, M.N., Schindler, E., 2014. New Paleontological Data from the Devonian of Turkey and their Paleobiogeographical Implications. 67th Geological Congress of Turkey, 674-675, Ankara.
30. Kaya, O., 1971, İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 14, 143-199.
31. Nazik, A., Groos-Uffendorde, H., 2009. KB Türkiye'de Frasnien (Geç Devoniyen) Entomozoacean Ostrakodlarının ilk Bulguları. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Cilt II, 666-667, Ankara.
32. Nazik, A., Çapkınoğlu, Ş., Olempska, E., Özgül, N., Şeker, E., 2015. Ludlow (Silurian) and Givetian (Devonian) Ostrakods and Conodonts from the İstanbul Zone (Kartal and

- Tuzla Peninsula), NW Anatolia. In: Perrier, V. & Meidla, T. (eds). Abstracts, 8th European Ostracodologists' Meeting. Tartu, Estonia, 22-30 July 2015. Tartu, 2015, 55.
33. Nazik, A., Groos-Uffenorde, H., 2011. First Records of Late Devonian Entomozocean Ostracodes in NW Turkey Turkish Journal of Earth Sciences 20, pp.167-178.
34. Nazik, A., Şeker, E., 2011. Devoniyen Ostrakodlarının Stratigrafik, Paleokolojik ve Paleocoğrafik Önemi: İstanbul Zonu ve Toroslardan Örnekler, 12. Paleontoloji-Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Kitapçığı, 34, Muğla.
35. Nazik, A., Şeker, E., 2015. Ostrakod Kavkı Morfolojisi ve Ortamsal Yorum: Devoniyen ve Miyosen Ostrakodları, 16. Paleontoloji-Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Kitapçığı, 101-108, Rize.
36. Nazik, A., Yalçın, M.N., Schindler, E., Wilde, V., Wehrmann, A., Haude, R., Finks, R.M., Wehrmann, A., Yılmaz, I. Brocke, R., Jansen, U., Özkan, R., Şeker, E., Groos-Uffenorde, H., Bozdoğan, N., Sancay, R.H., Nalcioğlu, G., Saydam-Demiray, G., Weddige, K., Kozlu, H., 2014. Doğu Toroslar Devoniyeni'nde Önemli Paleontolojik Bulgular. 15. Paleontoloji-Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, 43-44.
37. Webster, G.D., Yılmaz, I., Kozlu, H., 2008. A New Middle Devonian Gasterocomid Crinoid from Central Turkey and Revision of the Gasterocomidae. Palaeoworld 17, 12—20.
38. Sayar, M., Pamir, H., 1933. Küçükçekmece Fosil Fıkralı Hayvanlar Mecmuası: İst. Daril. Jeol. Enst. Neşr., 8.
39. Şeker, E., Nazik, A., 2015. KB Türkiye (Şile-İstanbul) Entomozocean Ostrakodları, Doğu Anadolu Jeoloji Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, Van, 86-87.
40. Gooday, A.J., 1983. Entomozocean Ostracods from the Lower Carboniferous of South-Western England, Palaeontology 26, 755-588.
41. Önal, M., 1990. İstanbul Devoniyen İstifindeki Yumrulu Kireçtaşlarının Oluşumu, MTA Derg., 111, 37-46.
42. Bozdoğan, N., Sancay, R.H., Nalcioğlu, G., Saydam-Demiray, G., Weddige, K., Kozlu, H., 2014. Doğu Toroslar Devoniyeni'nde Önemli Paleontolojik Bulgular. 15. Paleontoloji-Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, 43-44.
43. Ketin, İ., 1953. Tektonische Untersuchungen auf den Prinzeninseln nahe Istanbul. Geol. Rundschau, Band 41, pp. 161-172.
44. Altınlı, İ.E., 1951. Geology of the Kayışdağı Region, İÜFFM B, 16, 189-205.
45. Abdüsselamoğlu, M.Ş., 1977. The Palaeozoic and Mesozoic in the Gebze Region: Excursion Guidebook. 4th Colloquium on Geology of the Aegean Region. Excursion 4: Western Anatolia and Thrace. ITU Maden Fak. Publication, Istanbul, 1-16.
46. Noble, P.J., Tekin, U.K., Gedik, İ., Pehlivan, Ş., 2008. Middle to Upper Tournasian Radiolaria of the Baltalimani Formation, İstanbul, Turkey. Journal of Paleontology 82, No. 1, 37-56.
47. Bless, M.J.M., Crasquin, S., Groos-Uffenorde, H., Lethiers, F., 1986. Late Devonian to Dinantian Ostracodes (Comments on Taxonomy, Stratigraphy and Paleocology). Annales de la Société Géologique de Belgique 109, 1-8.
48. Groos-Uffenorde, H., Lethiers, F., Blumenstengel, H., 2000. Ostracodes and Devonian Stratigraphy. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 220, 99-111.
49. Casier, J.-G. 1975. Les Ostracodes des Schistes à Aspect «Matagne» de la Partie Supérieure du Frasnien de l'affleurement Protégé de Boussu-en-Fagne, Belgique. Bull. Kon. Belg. Inst. Natuurwet. Aardwet. = Bull. - Inst. r. sci. nat. Belg., Sci. Terre 51(9): 33.
50. Becker, G., 1982. Ostracoda aus Cephalopoden-Führendem Oberdevon im Kantabrischen Gebirge (N-Spanien). 2. Bairdiacea, Cytheracea und Entomozoacea. Palaeontographica A 178, 109-182.
51. Groos-Uffenorde, H., 1994. Late Famennian ostracodes from the Refrath 1 Borehole (Bergisch Gladbach-Paffrath Synclina; Ardennes-Rhenish Massif, Germany). Courier Forschungsinstitut Senckenberg 251, 185-235.
52. Groos-Uffenorde, H., Lethiers, F., Blumenstengel, H., 2000. Ostracodes and Devonian Stratigraphy. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 220, 99-111.

53. Becker, G., Bless, M.J.M., 1990. Biotope Indicative Features in Palaeozoic Ostracods: a Global Phenomenon. In: R. Whatley & C. Maybury (eds) Ostracoda and Global Events. 421-436. British Micropalaeontological Society Publication Series. Chapman & Hall. Cambridge.
54. Becker, G., Blumenstengel, H., 1995. Ostracoden vom Thüringer Ökotyp aus der Postriff-Kappe des Rü- Beländer Riffs (Elbingeröder Komplex, Harz; Obere crepida-Zone, Oberdevon). Abhandlungen und Berichte für Naturkunde 18, 63–101.
55. Bless, M.J.M., 1983. Late Devonian and Carboniferous Ostracode Assemblages and Their Relationship to the Depositional Environment. Bulletin de la Société Belge de Géologie 92, 31-52.
56. Perrier, V., 2007. Biodiversité et Écologie des Ostracodes Myodocopes (Crustacea) du Silurien Supérieur d'Europe. Unpublished PhD thesis, Faculty of Science Lyon 1, UMR 5125 PEPS, 2 Volumes, 534 pp.
57. Perrier V., Vannier, J., Siveter D.J., 2007. The Silurian Pelagic Myodocope Ostracod *Richteria Migrans*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences 98, 1–13.
58. Groos-Uffenorde, H., Lethiers, F., Blumenstengel, H., 2000. Ostracodes and Devonian Stratigraphy. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 220, 99-111.
59. Pribyl, A., 1950. On the Bohemian Ostracoda of the Families Entomozoidae and Entomoconchidae. Bulletin Scientifique International de l'Académie Tschèque 42, 101-128.
60. Gozalo, R., 1994. Geología y Paleontología (Ostrácodos) del Devónica Superior de Tabuena (NE de la Cadena Ibérica Oriental). Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza 6, 1-291.
5. Ed-7, 6. Ed-7
7, 8. *Franklinella calcarata* (Reinh. Richter,1856)
7. Ed-6, 8. Ed-6
9, 10. *Richteria (Volkina) zimmermanni* (Volk,1939)
9. Ed-7, 10. Ek-1
11, 12. *Nehdentomis pseudorichteria* (Matern,1929)
11. Ed-7, 12. Ed-6
13. *Entomoprimitia concentrica* Matern 1929
Ed-6
14. *Rabienella n.sp. c, aff. reichi* sensu Rabien & Rabitz, 1958
Ed-3
15. *Kuzminella sp. sensu Olempska* 1993
Ed-7

Levha 2

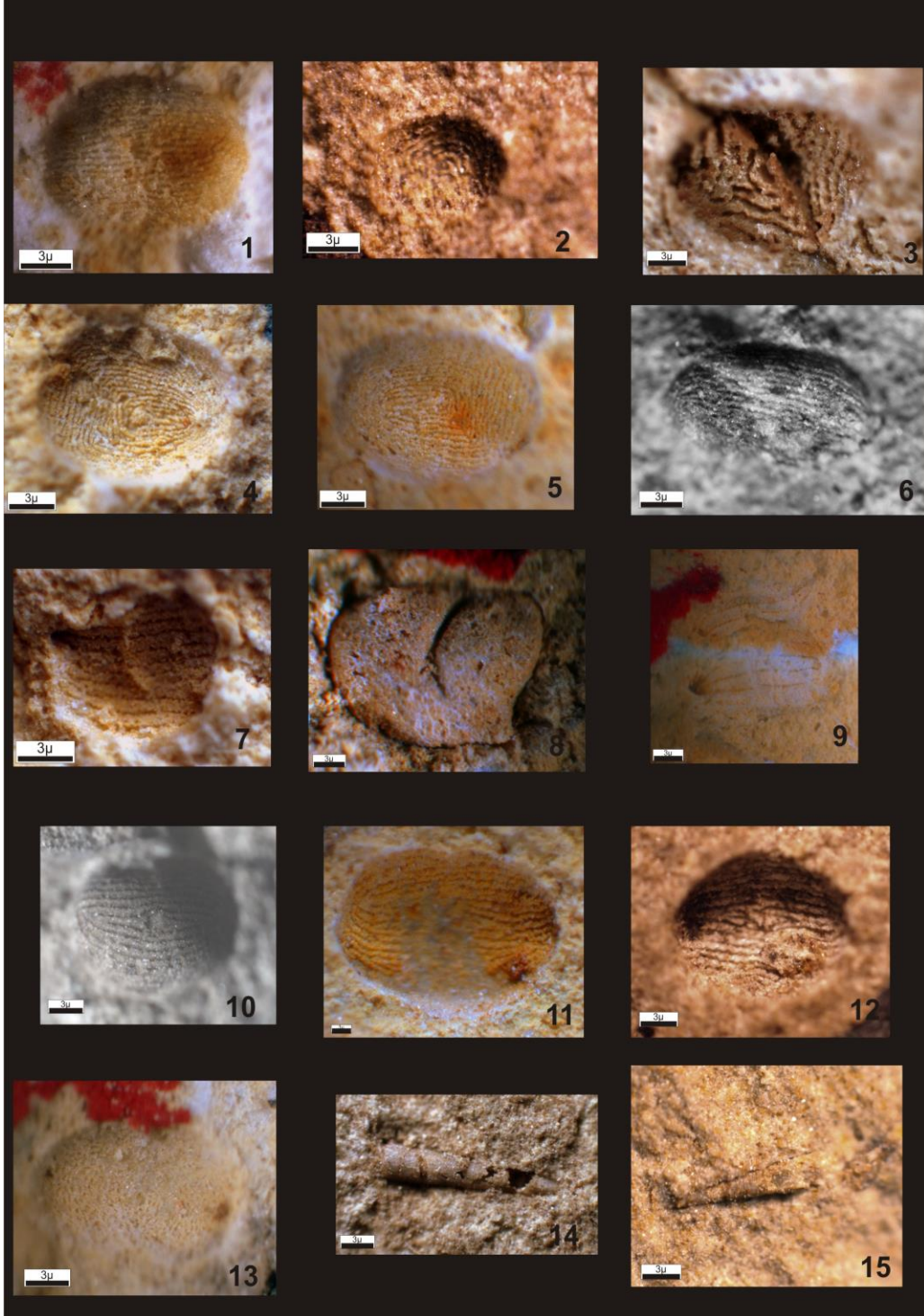
1. *Entomoprimitia kayseri* Waldschmidt 1885
Ed-9
2. *Waldeckella erecta* Rabien, 1954
Ek-2
3. *Rabienella reichi* (Matern,1929)
Ed-3
4, 5. *Entomoprimitia sartenaeri* Casier, 1975
4. Ed-7, 5. Ed-7
6. *Richteria (Volkina) zimmermanni* (Volk,1939)
Ek-1
7, 8, 9. *Franklinella calcarata* (Reinh. Richter,1856)
7. Ed-7, 8. Ed-6, 9. Ed-7
10, 11, 12. *Nehdentomis pseudorichteria* (Matern,1929)
10. Ek-3, 11. Ed-6, 12. Ek-2
13. *Entomoprimitia concentrica* Matern 1929
13. Ed-7,
14, 15. Tentakülit
14. Ek-2, 15. Ek-1

Levha 1

- 1, 2. *Entomoprimitia nitida* (F.A. Roemer, 1850)
1. Ed-7, 2. Ed-6
3, 4. *Entomoprimitia sartenaeri* Casier, 1975
3. Ed-7, 4. Ed-8
5, 6. *Entomoprimitia kayseri* Waldschmidt 1885



Levha 1



Levha 2

Kaplamalı Denim Kumaşlarda Performans Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Fusun DOBA KADEM^{*1}, Şehpal TÖLEK¹

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada kaplamalı denim kumaşların performans özellikleri incelenmiştir. Referans numuneye kaplama işlemi uygulanmamıştır. Diğer numunelere kaplama yapılmıştır. Numunelerde atkı ipliği olarak Ne 13/ 1 pamuk (%92,48) +78 dtex elastan (%7,52) içerikli iplikler kullanılmıştır. Çözüde ise Ne 9,75/1 pamuk iplikleri kullanılmıştır. Kaplama metodu olarak tek yüze bıçakla kaplama metodu uygulanmıştır. Kaplamanın etkisini tespit edebilmek için kumaşlara kalınlık, kopma mukavemeti, hava geçirgenliği, su buharı direnci, boncuklanma, yumuşaklık gibi testler uygulanmıştır. Tek yüz kaplama işlemi performans özelliklerini kayda değer olumsuz bir şekilde etkilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Su buharı direnci, Hava geçirgenliği, Kaplama, Denim

An Experimental Study on Performance Properties of Coated Denim Fabrics

Abstract

In this study, it is subjected to investigate performance properties of coated denim fabrics. Reference fabric was uncoated denim fabric and the other samples were coated fabrics. The warp thread of the fabrics was Ne 9,75/1 cotton thread, and the weft thread was Ne 13/1 cotton (92,48%) and 78 dtex elastane (7,52%). The roll on knife coating was chosen as the application method. In order to determine the effect of coating on performance properties, fabric thickness, tensile strength, air permeability, water vapor resistance, pilling, fabric stiffness etc. were achieved respectively for all denim fabrics. Evaluating the performance, single face coating process did not reveal significantly negative outcomes performance properties of fabrics.

Keywords: Water vapor resistance, Air permeability, Coating, Denim

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Fusun DOBA KADEM, efsun72@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kaplamalı kumaş, en az biri tekstil yüzeyi ve en az biri polimerik tabaka olan 2 ya da daha fazla tabakanın birleşmesiyle oluşan yüzeydir. Ticari kapsamı incelendiğinde, kaplamalı kumaşların teknik tekstil ürünlerinde sıkça kullanıldığı görülmektedir [1].

Kaplama ve laminasyon, kumaşların fiziksel ve estetik özelliklerini geliştirmek ve değiştirmek, kumaşların, polimer, köpük ve filmlerin avantajlarını kombine ederek, kullanım alanını genişletmek amacıyla uygulanmaktadır [2].

Kaplamada amaç; polimer bir tabakanın bir tekstil dış yüzeyine nüfuz ederek fiziksel ve karakteristik özelliklerinin önemli bir şekilde değiştirilmesidir. Tekstil kaplamacılığı sayesinde kumaşı oluşturan lifler ile kazandırılmayacak özellikler, düzgün bir polimer maddenin mamule aktarılmasıyla kazandırılır [3]. İstenilen efektte göre sıvı, hamur veya toz halde bulunan kimyasallar toz, pasta veya köpük formunda kumaşa aktarılarak kumaş üzerinde bir film tabakası oluşturulmaktadır [4].

Orijinal kaplama metotlarının esasını, büyük çoğunlukla, alınan flotte miktarını ayarlayacak bir çift sıkma silindirin bulunduğu emdirme teknelerinde emdirme, ardından kuru sıcak hava ortamında ve genellikle ramözde (germeli kurutucuda) sabit ende kurutma oluşturmaktadır. Ancak kaplamanın kumaşın tek bir yüzüne yapılması gerektiğinde, kumaşın tamamen kaplama flottesine içerisine daldırılması mümkün olmayıp bunun için başka teknikler de geliştirilmiştir. Kaplama direkt (direkt kaplama) ve dolaylı (transfer kaplama) olarak tekstil yüzeyine uygulanabilir [3].

Bir tekstil yüzeyini polimerik bir maddeyle kaplamak, zemin kumaşa yeni bir nitelik katar. Elde edilen kaplanmış kumaş ya su iticilik, hava geçirgenliği vb. fonksiyonel özellikler kazanır ya da uygulama öncesinden bütünüyle farklı ve estetik bir görünüme kavuşur. Bu görünüm farklılığına örnek olarak deri görümlü kaplamalı kumaşlar verilebilir. Polimer malzemeyi tekstil

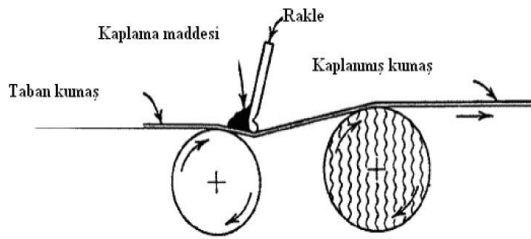
yüzeyine tatbik etmenin çok çeşitli metotları vardır. Bu metotlar sınıflandırılırken kaplama malzemesi formu, uygulama şekli ve kullanılan aparatlar baz alınabilir [5]. En sık karşılaşılan metotlardan bazıları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kaplama yöntemleri [2]

Kaplama Maddesinin Sıvı Olduğu Kaplama Metotları	Kaplama Maddesinin Sonradan Dozajlandığı Metotlar	Bıçaklı-Rakleli-Kaplama
		Tel Sarılı Rulo ile Kaplama
Kaplama Maddesinin Katı Olduğu Kaplama Metotları	Kaplama Maddesinin Önceden Dozajlandığı Metotlar	Silindir ile Kaplama
		Döner Şablon ile Kaplama
		Püskürtme ile Kaplama
Modern Kaplama Yöntemleri	Sıcak Eriyik ile Kaplama	Ekstrüzyon ile Kaplama
		Pudralı Kaplama
		Kalandır ile Kaplama
	Transfer Kaplama	
	Sol-jel ile Kaplama	
	Plazma ile Kaplama	

Silindir üstü bıçak kaplama yöntemi, hassas çalışma imkanı sağlaması ve basit bir uygulama olması sebebiyle en önemli ve geniş uygulama alanı bulmuş teknolojidir.

Şekil 1'de bıçaklı (rakleli) kaplama metodu gösterilmiştir. Bu metotta ayarlı şekilde konumlanmış sıyırıcı bıçak, silindir üzerine yerleştirilmiştir. Kaplama miktarı, bu bıçak ve silindir arası mesafe ile ayarlanmaktadır. Silindir, kauçuk veya çelik olabilmektedir. Kullanılan zemin kumaşa bağlı olarak 60-90 shore sertlikteki silindirler daha çok tercih edilmektedir. Kauçuk silindirler genellikle kumaş üzerinde düğüm, şantuk gibi düzensüzlükleri göstermediği, absorbe edebildiği için avantajlı sayılmaktadır [5].



Şekil 1. Bıçaklı (rakleli) kaplama metodu [2]

Kaplama kumaşların kullanım yerine ve amacına uygun olan fonksiyonel özellikleri; kaplama maddesinin yapısına, tekstil yüzeyinin yapısı ile özelliklerine ve uygulanan kaplama tekniğine göre değişkenlik gösterebilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kaplama; geçmişten günümüze kadar kullanımı olan, ve hızla gelişen bir sektördür. Son yıllarda; tekstil terbiye sınıflandırılmasında, ön terbiye, boya- baskı ve bitim işlemlerinin yanında kaplama da ayrıca bir sınıf altında incelenmektedir. Kaplama işlemi özellikle, teknik tekstil sektöründe oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Yeni gelişmeler ve araştırmalar ışığında kaplama ürünlerin performans özellikleri de gelişmekte ve sonuç olarak da bu ürünlerin kullanım alanları genişlemektedir. Kaplama gerek kullanılan yapıştırıcı maddelerin alternatiflerinin çokluğu, gerekse aplikasyonda kullanılan makineleriyle

geniş bir sektör oluşturmakta ve tekstilde yeni alternatif ürünlerin doğmasına katkıda bulunmaktadır [5].

Kut ve Güneşoğlu [4], bezayağı örgü %100 PES dokuma kumaşa poliüretan ve poliakrilat kaplama işlemi uygulanmış, kopma mukavemeti, aşınma direnci, su geçirmezlik vb. çeşitli performans özelliklerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Ayrıca kaplama sonrası renk değişimleri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, kaplamanın kopma mukavemetini artırdığı, en yüksek artışın poliüretan kaplama kumaşlarda olduğu belirlenmiştir. Poliüretan ve poliakrilat kaplama kumaşlarda aşınma direnci açısından pek fark olmadığı ve ayrıca poliakrilat kaplama kumaşın su geçirmezlik performansının en yüksek olduğu görülmüştür. Poliüretan kaplamanın kumaşta yüksek renk farkına neden olduğu gözlenmiştir.

Kaplama kumaşların kullanım alanları ve özelliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada Kaplan ve Koç [6], kaplama kumaşların dünyadaki durumu ile ilgili istatistiksel veriler sunmuşlardır. Bu çalışma ile kaplama kumaş özelliklerini önemli derecede etkileyen parametrelerden biri olan kumaş kaplama metodları, söz konusu metodlara uygun kaplama maddesi özellikleri ve bu metodlarla elde edilen mamullerin kullanım alanları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yeşilalan ve arkadaşları [7], yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada bazı kaplama parametrelerini değişken olarak kabul edip bir modelleme geliştirmişlerdir. Uygulamada kullanılan kaplama malzemesi poliüretandır. Hazırlanan patın penetrasyonunun tahminlenmesi hedeflenen çalışma sonucunda, kaplama kalınlığı ve bazı fiziksel performans değerleri de parametre olarak belirlenmiştir.

Padleckiene ve Petrusis [8], yaptıkları çalışmada poliüretan nefes alabilir kaplama malzemesi kullanarak kaplanmış kumaşın tekrarlı esnetme işlemleri sonucunda hava geçirgenlik değerlerindeki değişimleri incelemiş, bir korelasyon analizi yapılmıştır.

Şahin [9], farklı kumaşlara (mikro PES, PA, PES, PES/PA) farklı yüzdelerde poliüretan kaplama uygulamış ve bu kumaşların su geçirmezlik ve mukavemet performans özelliklerini tespit etmiştir. Metot olarak silindir üzeri kaplama metodu uygulanmıştır. Su geçirmezlik test sonuçları karşılaştırıldığında mikro PES kumaşın işlem görmemiş haliyle 70 g PU kaplanmış hali arasında 70 katlık bir artış gözlenmiştir. PU ile kaplanmış kumaşların % uzama değerlerine bakıldığında kumaşlarda mikro PES kumaş dışında genel olarak daha çok çözümlü yönünde olmak üzere her iki yönde de düşme gözlenmiştir. Mukavemet değerleri incelendiğinde PA kumaşta, PU yüzdesinin miktarındaki artışa bağlı olarak atkı ve çözümlü yönünde azalma gözlenmiştir. Mikro PES ve PES kumaşta ise PU miktarı arttıkça, hem atkı hem de çözümlü yönünde artış görülmüştür.

Yang ve Wei-dong [10], poliüretan kaplama malzemesiyle 4 farklı materyalden üretilmiş dokuma kumaşların üretim parametrelerinin performans özelliklerine etkilerini incelemiştir.

Bu deneysel çalışmada, işletme şartlarında tek yüz silindir üstü bıçak kaplama tekniği kullanılarak bir referans zemin kumaş üzerine 3 farklı renk ve içerikte kaplama uygulaması yapılarak 4 adet numune elde edilmiştir. Bu numunelerin kaplama reçetelerindeki boyarmaddeler ve kimyasallar detaylı olarak açıklanmıştır. Zemin kumaşı aynı olan 4 numune, kaplama işlemi sonrası aynı terbiye işleminden geçerek üretimi tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen numunelere bazı performans testleri uygulanmış, kaplamanın ve kaplama reçetesindeki kimyasal ve boyarmadde farklılıklarının performans özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada %100 pamuklu denim kumaşa kaplama yapmak üzere ön terbiye işlemleri işletme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kumaş atkıda Ne 13/1, çözümlü ise Ne 9,75/1 ring ipliği kullanılarak dokunmuştur. Denim kumaş, klasik denim üretim prosesine tabi tutulmuştur. Ön terbiyesinde

sırasıyla yakma, pişirme, merserizasyon ve ağartma prosesleri uygulanmıştır. Çizelge 2 ve Çizelge 3 deneysel çalışmada kullanılan denim kumaşın fiziksel özellikleri ve denime uygulanan terbiye-kaplama işlemlerini göstermektedir.

Çizelge 2. Denim kumaşın fiziksel özellikleri

Parametreler	Kumaş Özellikleri
Çözgü İpliği (Ne)	9,75/1 CO
Atkı İpliği (Ne)	13/1 CO(%92,48)+EA(%7,52)
Örgü Tipi	3/1 Z Dimi
Dokuma parametreleri	Tarak no:56/4 Tarak eni:195 cm Çözgü sıklığı:32 tel/cm Atkı sıklığı:16 atkı/cm
Kumaş Kompozisyonu	97% CO+3%EA

Çizelge 3. Denim kumaşta terbiye ve kaplama işlemleri

	Kumaşlara Uygulanan Proses Parametreleri
Terbiye İşlemleri	Çift yüz yakma+ Merserizasyon (NAOH-28° Bè+60°C)+ Kaplama (20 m/dk+110°C kamara sıcaklığı)+ Apre (Islatıcı:15 g/Lt, Yumuşatıcı:2 g/Lt, Nötralizatör:3 g/Lt)+ Kurutma (130°C)+ Fikse (150°C)+ Sanforizasyon.
Kaplama Reçeteleri	İnceltici(*) Egalizatör:2g/100 g Köpük Kesici:2g/100 g Alkalizatör:1,5 g/100 g Yüzey Aktif Madde:1,1 g/100 g Üre İndirgen Madde:0,5 g/100 g Antioksidan:3,05 g/100 g Boyarmadde(*)
(*) Çizelge 4'te miktarları verilmiştir.	

3.2. Metot

Çalışmada kullanılan %97 pamuk %3 elastan içeren bir zemin kumaş üzerine 3 farklı reçete ile tek yüz üzerine silindir üzeri bıçak kaplama tekniğiyle kaplama işlemi uygulanmıştır.

Toplamda kaplamasız kumaş ile birlikte 4 farklı numune, seçilmiş bir işletmede üretilmiştir. Kumaşların fiziksel ve performans özellikleri standartlara göre test edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Kaplama işlemi yapılırken hazırlanan reçeteler arasında, kullanılan kimyasallardan sadece boyarmadde ve inceltici maddenin farklılıkları vardır. İşletme şartlarında, müşteri talepleri doğrultusunda elde edilmek istenen renk tonuna göre hazırlanan bu reçetelerdeki inceltici maddeler, boyarmadde miktarı ve istenen renk tonuna göre ayarlanmaktadır. Diğer tüm kimyasallar tür ve miktar olarak aynıdır. Çizelge 4'te miktarlar ve boyarmaddeler belirtilmiştir.

Çizelge 4. Kaplama reçetelerindeki kimyasallar

Numune Adı	İnceltici (G)	Boyarmadde	
		Adı	Miktarı(G)
K1	87,47	Diresul Olive	2
		Diresul Brown	0,38
K2	83,85	Diresul Blue	6
K3	88,5	Diresul Black	1,2
		Diresul Blue	0,15

Kaplama uygulamasında genellikle belirlenen bir zemin kumaş referans alınır ve kaplama prosesi bu zemin kumaş üzerine gerçekleştirilir. Dolayısıyla bu zemin kumaşın metrekare ağırlığı, kalınlık,

sıklık gibi temel yapısal özellikler önem taşıdığı için numunelerin proses sonrası fiziksel özelliklerinden kumaşların gramaj tayini [11], kumaş kalınlığı tayini [12] ve kaplanmış kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki sıklık tayini [13] testleri yapılmıştır. Bunların yanında kaplamanın etkilerini tespit edebilmek için performans özellikleri test edilmektedir. Bu çalışmada kaplama kumaşlara uygulanan testlere ilişkin bilgiler ve ilgili standartlar Çizelge 5'te verilmiştir. Aşınma dayanımı tayininde 50.000 devire kadar deney yapılmıştır (Ağırlık: 595±7, Anma basıncı: 9 kPa).

Çizelge 5. Çalışmada esas alınan standartlar

Uygulanan Test	Standart No	Kullanılan Cihaz
Su Buharı Direnci	TS EN ISO 11092: 2014 [14]	SDL Atlas, M259B-3
Dairesel eğme test metodu ile kumaş yumuşaklığı tayini	D 4032-94 [15]	Dijital Pnömatik Sertlik Ölçüm Cihazı
Aşınma Dayanımı	TS EN ISO 12947-2: 2001 [16]	SDL ATLAS, M235
Boncuklanma Tayini	TS EN ISO 12945-2: 2002 [17]	SDL ATLAS, M235
Kopma Mukavemeti	TS EN ISO 13934-1:2013 [18]	Titan

Su buharı direnci testinde temas yüzeyi arka yüz olacak şekilde hazırlanan numuneler standartta belirlenen şekilde teste tabi tutulmuş ve test sonuçları m²Pa/W cinsinden hesaplanmıştır. Kumaşlarda yüzey tüylenmesi ve boncuklanma

yatkınlığının tayininde standarda uygun numuneler hazırlanmış ve 7000 devirde değerlendirilmiştir. Kumaş kalınlığı ölçümünde numunelere 5'er g ağırlık yüklenmiş olup baskı alanı 20 cm²'dir. Kopma mukavemeti tespit edilirken atkı ve çözgü yönünde 5'er numune hazırlanmış, bu değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Kumaşların yumuşaklığı Stiffness cihazında ölçülerek bulunmuştur.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Deneysel çalışmada kullanılan kaplama malzemesi poliüretandır. Poliüretan (PU) her ne kadar güneş ışığına karşı çok dayanıklı olmasa da, hava şartlarına, aşınmaya, yırtılmaya dayanıklı bir malzeme olması nedeniyle özellikle fonksiyonel ürünlerde kaplama ya da laminasyon malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. PU kaplamaların yaygın olarak kullanıldığı yerlere su geçirmez ve nefes alabilir kumaşlar, üniformalar, denim gibi moda ile sürekli değişen ve gelişen giysilik ürünler örnek verilebilir.

Bu çalışmada kullanılan kumaşlara yapılan testler sonucu elde edilen bulgular Çizelge 6, Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 6. Denim kumaşların fiziksel özellikleri

	Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Sıklık (tel/cm)	
			Atkı	Çözgü
Zemin	340	0,61	19	34
K1	351	0,55	19	33
K2	350	0,56	19	34
K3	349	0,56	19	32

K1, K2, K3 aynı zemin kumaş özelliğine sahip olduğu için sıklıkları birbiriyle özdeş çıkmıştır. Kaplama malzemesi kumaş yüzeyine tabaka halinde sürüldüğü için kumaş ağırlığını arttırmıştır. Kaplama işlemi, 3/1 Dimi yapısındaki atkı ve çözgü ipliklerinin birbirleriyle olan örgü bağlantı durumlarından kaynaklanan kalınlık farklarını da gidermiştir.

Çizelge 7. Kaplamalı kumaşlarda su buharı direnci ve yumuşaklık test sonuçları

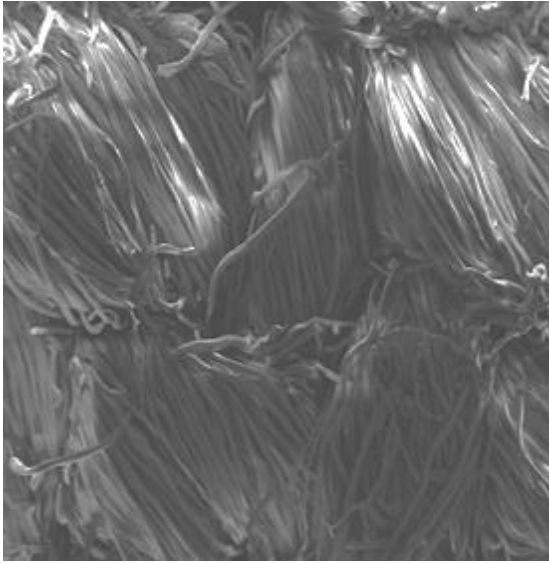
	Su Buharı Direnci m ² Pa/W		Yumuşaklık (kg-f)	
	Ort	St.Sap	Ort	St.Sap
Zemin	3,60	0,100	0,266	0,0251
K1	3,62	0,100	0,336	0,0342
K2	3,64	0,201	0,383	0,0415
K3	3,84	0,346	0,31	0,0125

Çizelge 7'de kaplamalı kumaşların su buharı direnci ve yumuşaklık sonuçları değerlendirildiğinde kaplamasız zemin kumaşın daha yumuşak ve daha iyi su buharı geçirgenliğine sahip olduğu, kaplama işlemiyle denim kumaşların yumuşaklığının azaldığı ve su buharına daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

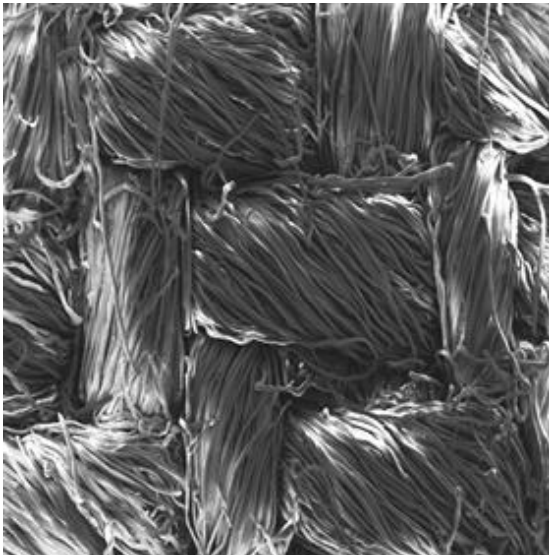
4 kumaşın da boncuklanma değeri kabul edilebilir seviyede olup, kaplama ile boncuklanmaya karşı iyileşme görüldüğü sonuçlardan da söylenebilir

Çizelge 8. Kaplamalı kumaşlarda aşınma ve boncuklanma testi sonuçları

	Boncuklanma	Aşınma Durumu
Zemin	3-4	50.000 devire kadar aşınma gözlemlenmemiştir
K1	4	
K2	5	
K3	4	

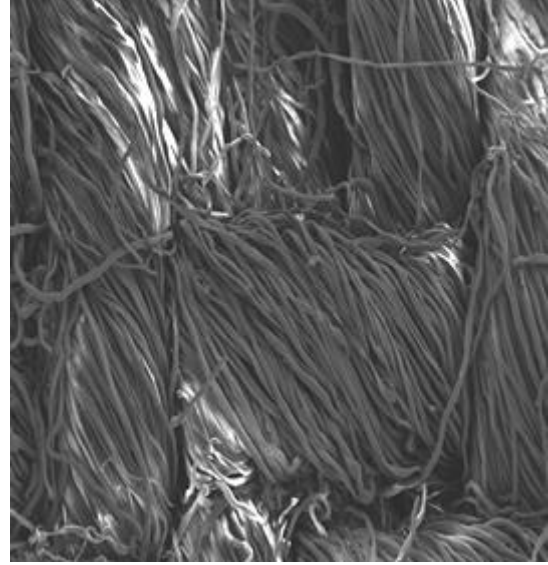


Şekil 3. Zemin kumaş numunesi SEM görüntüsü

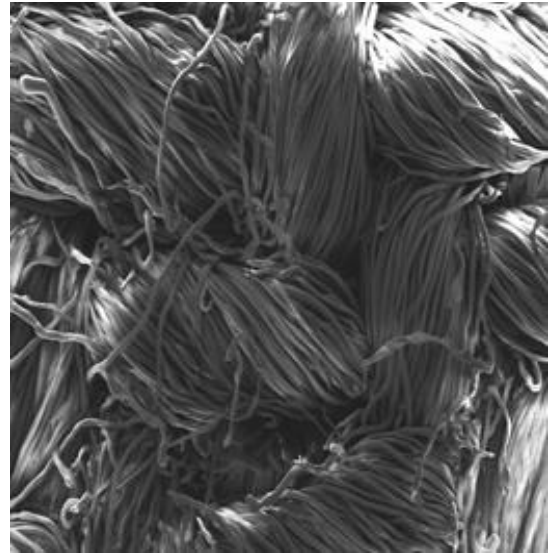


Şekil 4. K1 numunesi SEM görüntüsü

Zemin ve kaplamalı kumaşların yüzey özellikleri SEM cihazında (x200 büyütme oranı) incelenmiş olup Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. K2 numunesi SEM görüntüsü



Şekil 6. K3 numunesi SEM görüntüsü

Şekillerden kaplamalı kumaşların uygulanan kaplama işlemi neticesi yüzey özelliğinin zemin

kumaşla benzer düzgünlükte olduğu, Dimi örgü yapısının korunduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 9. Kaplamalı kumaşlarda kopma mukavemeti testi sonuçları

		Ortalama (N)	Standart Sapma
Zemin	Atkı	349,73	6,77
	Çözü	1246,44	7,93
K1	Atkı	404,67	7,44
	Çözü	1522,46	1,24
K2	Atkı	394,34	3,26
	Çözü	1155,19	13,09
K3	Atkı	413,39	3,97
	Çözü	1580,58	2,32

Çizelge 9'daki kopma mukavemeti sonuçlarına bakıldığında genel olarak tüm kumaşlarda çözü kopma mukavemeti atkı kopma mukavemetinden daha yüksektir. Bu beklenen bir durumdur. Ayrıca kaplamalı kumaşların hem atkı hem çözü kopma dayanımları zemin kumaşın atkı ve çözü kopma dayanımlarına göre genel olarak yüksek çıkmıştır. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar bulunmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, aynı zemin kumaş üzerine, farklı reçete ölçülerinde hazırlanmış 3 renk kaplama reçetesinin kumaşların özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Seçilmiş bir işletmede, biri zemin kumaş olmak üzere toplam 4 numune üretilmiştir. Kaplamalı kumaşlar ile zemin kumaşların bazı özellikleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında literatürde yapılmış çalışmalarla benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

- Kaplamanın zemin kumaşın metrekare ağırlığını arttırdığı görülmüştür. Bu durum beklenen bir neticedir.
- Kaplama işlemi, zemin kumaşın kalınlığını azaltmıştır. Buna kaplama işleminin, kumaş yüzeyinde bulunan ve kumaşın yapısal

özelliklerinden kaynaklanan kalınlık varyasyonlarını azaltması yol açmıştır.

- Kaplama işlemi ile zemin kumaşların kopma mukavemeti artış göstermiştir. Kumaşa nüfuz eden kaplama maddesi, çözü ve atkı ipliklerinin hareketini önleyerek ipliklerin aynı anda kopmasını sağlamış, bunun sonucu olarak kumaşın kopma mukavemetini artırmıştır.
- Su buharı direnci sonuçlarına bakıldığında zemin kumaş göre kaplamalı kumaşların daha az geçirgen olduğu tespit edilmiştir. Kaplama işlemi kumaş gözenekliliğini düşürdüğü için su buharı direnci de bu durumdan olumsuz etkilenmiştir. Hidrofil yapıda olan bir kaplama yüzeyi su buharı geçirgenliğini arttırabiliyorken çalışmada kullanılan kaplama malzemesinin yapısı su buharı geçirgenliğini düşürmüştür.
- Kaplama materyali kumaşa nüfuz ettiği için kaplama işlemi kumaşın yumuşaklığını önemli derecede etkilemektedir. Kaplamalı kumaşların sertliği artmıştır. Bu durum da beklenen bir sonuçtur.
- Aşınma dayanımı 50.000 devir'e kadar etkilenmemiştir.
- Polimer yapıları kaplama malzemesi kullanılması sonucu olarak boncuklanma dayanımı artmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Fung, W., 2002. Coated and Laminated Textiles, The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited, England.
2. Bulut, Y., 2010. Kaplamalı Giysilik Kumaşların Mekanik Özellikleri Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 110.
3. Öner, E., 2006. Tekstilde Kaplama, Tekstil Terbiye Teknolojisi Ders Notları, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul.
4. Kut, D., Güneşoğlu, C., 2005. Poliüretan ve Poliakrilat Kaplanmış Kumaşların Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması, Tekstil-Maraton Dergisi, 5: 62-65.
5. Sen, A.K., Damewood, J., 2001. Coated Textiles: Principles and Applications,

- (Illustrated Edition). USA: Technomic Publishing Company.
6. Kaplan, E., Koç, E., 2007. Kumaş Kaplama Teknikleri ve Kaplanmış Kumaş Özelliklerinin İncelenmesi, II. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Gaziantep, 1-11.
 7. Yesilalan, H.E., Warner, S.B., Laoulache, R., 2010. Penetration of Blade-Applied Viscous Coatings into Yarns in a Woven Fabric, *Textile Research Journal*, 80(18), 1930-1941.
 8. Padleckiene, I., Petrulis, D., 2009. Effect of Abrasion on Theair Permeability & Mass Loss of Breathable-Coated Fabrics, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 17(2-73), 50-54.
 9. Şahin, B., 2005. Yüzey Kaplama Uygulama Tekniklerinin Farklı Materyallere Uygulanması ve Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 126.
 10. Yang, F., YU, W-D., 2006. Study on Mechanical Properties of PU Coated Fabric, *International Forum on Textile Science and Engineering for Doctoral Candidates*.
 11. TS 251, 2002. Dokunmuş Kumaşlar Birim Alan Kütlesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 12. TS 7128 EN ISO 5084, 1998. Tekstil ve Tekstil Mamullerinin Kalınlık Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 13. TS EN 250 ISO 1049-2, 1996. Tekstil Dokunmuş Kumaşlar Yapı Analiz Metodları-Kısım 2-Birim Uzunluktaki İplik Sayısının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 14. TS EN ISO 11092, 2014. Tekstil-Fizyolojik Özelliklerin Tayini-Kararlı Şartlarda Isıl Direncin ve Su Buharına Karşı Direncin Ölçülmesi (buğuya karşı korunmuş kızgın plaka deneyi), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 15. ASTM D4032-94 Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure.
 16. TS EN ISO 12947-2, 2001. Tekstil-Martindale Metoduyla Kumaşların Aşınmaya Karşı Dayanımının Tayini-Bölüm 2: Numune Kopmasının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 17. TS EN ISO 12945-2, 2002. Tekstil-Kumaşlarda Yüzey Tüyenmesi ve Boncuklanma Yatkınlığının Tayini- Bölüm 2: Geliştirilmiş Martindale Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 18. TS EN ISO 13934-1, 2002. Tekstil-Kumaşların Gerilme Özellikleri-Bölüm 1: En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini-Şerit Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Halı Üretiminde İletken Filamentlerin Kullanım Olanaklarının Araştırılması

İlkan ÖZKAN*¹, Pınar DURU BAYKAL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Yapılan çalışmada metal ve metalize iletken filamentlerin halılarda kullanım olanakları ve halılara kazandırması muhtemel özellikler araştırılmıştır. Halılar hav iplikleri, zemin çözgüsü, zemin atkısı ve dolgu iplikleri gibi farklı iplik gruplarından meydana gelirler. Çalışmada öncelikli olarak metal ve metalize filamentlerin halılara en düşük maliyetle yerleştirilecek iplik grubunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda yerleşim yerinin etkisi ve düşük kullanım miktarı nedeniyle zemin çözgüsü tercih edilmiştir. Zemin çözgüsünde kullanılacak tekstüre polyester iplikler ile iletken filamentler puntalama işlemiyle birleştirilmiştir. Bu ipliklerin zemin çözgüsünde kullanılmasıyla üretilen numune halılara seçilen performans testleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın, halılara antibakteriyel, antimantar, antistatik, ve elektromanyetik ekranlama özelliklerini kazandırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Antibakteriyel, Antimantar, Antistatik, Elektromanyetik ekranlama, Halı

Investigation of Usage Possibilities of Conductive Filaments in Carpet Production

Abstract

In this study, usage possibilities of conductive filaments in the carpet production and potential properties provided by them were investigated. Carpet contains different yarn groups such as pile yarns, ground warps, ground wefts, and fill yarns etc. First step of study is determining the yarn groups that provide the lowest cost with conductive filaments usage. Backing warps are suitable for this aim because of their placement and low usage amount. Carpet samples were produced with using commingled backing yarns and selected performance test were performed. It has been identified that the carried application provides antibacterial, antifungal, antistatic and electromagnetic shielding properties to carpet samples.

Keywords: Antibacterial, Antifungal, Antistatic, Electromagnetic shielding, Carpet

* Sorumlu yazar (Corresponding author): İlkan ÖZKAN, iozkan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Halıcılık kökeni milattan önceki yüzyıllara dayanan dokumacılık sanatının bir dalıdır. Kaba dokumalarda çözümlenmiş ipliklerine, uçları dışarı sarkan renkli yün ve tiftiklerin düğümlenmesiyle hayvan postlarının taklit edilerek zamanla asıl halı yapısının geliştiği düşünülmektedir. Halıcılık Anadolu'ya Selçuk Türkleri tarafından girmiş ve gelişmiştir. İstanbul'un fethinden sonra İtalya ve Güney Fransa'ya giden dokumacı ve halı ustaları tarafından 16. Yüzyılda Güney Fransa'da Türk düğüm tekniğiyle üretilmeye başlanmıştır. 1539 yılında Avrupa'da dikey el tezgahında ilk halı dokunmuştur. 1604 yılında Paris'te Pierre du Pont ilk yatay yarı otomatik halı tezgahında dokumayı gerçekleştirmiştir. Türkiye I. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar dünya halı ticaretinde önemli kavşak noktalarından biri olmayı başarmıştır. Fakat 1929 ekonomik buhranı ve makineleşmenin etkisiyle halıcılıkta önemli duraklamalar görülmüştür. 1945 yılından itibaren iç piyasaya yönelik olarak gelişmeler yaşanmıştır. İnsanların yaşam seviyelerinin artmasıyla ihtiyaçlarda artmış ve bu gereksinimi karşılayamayan el halısına makine halısı destek vermiştir. Türkiye' de ilk makine halı fabrikası 1953 yılında İzmir' de kurulmuştur. Başlarda el halıcılığını baltalayacağı için istenmeyen makine halıcılığı 1970 yılından sonra gelişmeye başlamıştır [1].

Bir yer döşemesi olarak halı evler, oteller, restoranlar vb. ticari ve sosyal mekanlarda kendine kullanım alanı bulmaktadır. Halı üretiminde kullanım yerine göre estetik özellikler kadar halının performans özellikleri de dikkate alınmalıdır. Halı diğer yer döşemeleri karşısında avantajlara sahiptir bunlar;

Halı sıcaklık ve konfor sağlar: Halı termal direnç sağlar. Özellikle soğuk bölge ve iklimlerde, halı sıcak havayı daha uzun süre tutarak enerjinin korunmasını ve enerji maliyetlerinin düşmesini sağlar. Halı konforlu bir çalışma ortamı sağlar ve genel bir sıcaklık hissi yaratır.

Kayma ve düşmelere karşı güvenlidir: Halı ayaklar için ideal bir yastık vazifesi görür, kayma ve

düşmeleri azaltır ve düşme durumunda yaralanmaları minimuma indirir. Halı herkes için koruma sağlar fakat okul, hastane ve bakım evleri gibi tesislerde bulunan yaşlı ve çocuklar için özellikle faydalıdır.

Gürültüyü azaltır: Günümüzde birçok işyeri açık ofis sistemiyle çalışmakta böyle bir ortamda yapılan telefon görüşmeleri ve çalışanlar arasındaki iletişim rahatsız edici olabilmektedir. Halı gürültüyü absorbe ederek çalışanların verimliliğini arttırmaya yardımcı olur. Halı zemininde yapılan tamponlama gürültüyü daha da azaltır.

Görüntüsünü korur: Temizliği ve bakımı düzgün yapıldığı takdirde halı uzun yıllar güzel görünümünü koruyacaktır. Fakat halı sahipleri halı üreticilerinin bakım talimatlarına ve tavsiyelerine uymalıdır.

İç hava kalitesini artırır: Halı havadaki alerjen ve diğer partikülleri tutarak kullanıldığı iç alanın hava kalitesini artırır ve bu partiküller vakumla halıdan uzaklaştırılabilir. Ek olarak halının ortak kullanım alanlarında diğer zemin kaplamalarına göre uçucu organik bileşik yayımı en düşük zemin olması daha az temizlik kimyasalı gerektirir.

Zaman ve paradan tasarruf sağlar: Halının başlangıç maliyeti ve kullanım ömrü boyunca ortaya çıkacak bakım maliyetleri genellikle sert zemin döşemelerinden daha düşüktür. Ek olarak halı temizleme daha az çalışma gerektirir. Ticari binaların bakım programları üzerinde yapılan bir araştırma halının sert yüzeylere göre daha az maliyet yarattığını göstermiştir [2].

Halının bir zemin döşemesi olması ve partikül tutma özelliği mikroorganizmaların (bakteri, mantar vb.) gelişmesi için gerekli ortamı sağlamaktadır. Bir tekstil ürünü olan halı da tekstil endüstrisindeki gelişimlerden uzak kalamamaktadır. Tekstilde uygulanan antibakteriyel işlemler ve kullanılan antibakteriyel özelliklerdeki lifler halı üretiminde de kendisine yer bulmakta bu sayede halıların neden olabileceği muhtemel sağlık problemlerinin önüne geçilmiş olmaktadır.

Statik elektrik, dingin haldeki elektriği belirtir ve çevresindeki maddelerle etkileşen malzemenin yüzeyindeki elektriksel dengesizliktir. Bir atom ya da molekül elektron kaybettiğinde veya kazandığında bu dengesizlik oluşmaktadır. Normalde atomda proton ve elektron sayısı birbirine eşittir ama elektronlar kolayca bir atomdan diğerine geçebilmektedir. Statik elektrik, tabiiatta birbirinden farklı veya aynı, iletken veya yalıtkan iki maddenin temas etmesi ve sonra ayrılması veya sürtünme meydana getirmesi sebebiyle kendiliğinden oluşur. İnsanların statik elektrik yüklenmesi yürüme esnasındaki halı, parke vb. zeminler ile sürtünmelerden, araçlara inip binerken meydana gelen sürtünmelerden, masa ile meydana gelen temaslardan, kıyafet giyme-çıkarmadan dolayı oluşabilir [3]. Farklı bağıl nem seviyelerinde insan hareketleri sırasında meydana gelen statik elektrik yükleri ve bunları oluşturan faktörler Çizelge 1’de verilmiştir [4].

Çizelge 1. İnsanların hareketleri sırasında meydana gelen statik elektrik yükleri [4]

Faktör	Bağıl Nem (%)		
	10	40	55
Halı üzerinde yürümek	35000 V	15000V	7500V
Vinil karo üzerinde yürümek	12000V	5000 V	3000V
Tezgah işçisinin hareketleri	6000 V	800 V	400 V
Devre elemanlarını plastik ambalajdan çıkarmak	2000 V	700 V	400 V
Devre kartlarını baloncuklu ambalajdan çıkarmak	26000V	20000V	7000V
Poliüretan köpük sandalyeden kaynaklanan	18000V	8000 V	1500V

Halı, yapısında kullanılan liflerin yalıtkan özellikleri nedeniyle statik elektriklenmeye eğilimli bir tekstil ürünüdür. Bu durum taşıma, depolama ve kullanım ile üretim sırasında çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Halı kullanılan alanlarda

statik elektriklenme önemli bir problemdir. Halıda meydana gelen statik elektrik yükü ortamda bulunan tozun halı tarafından çekilmesine neden olur. Statik yük deşarj edilmez ise bu tozlar halı yüzeyinde tutunur. Statik elektriğin getirdiği bu dezavantajların önüne geçilmesi için halı ile iletken zemin arasında elektrik yükünün transfer edileceği bir köprü oluşturulmalıdır. Antistatik özellikli kimyasallar ile muamele veya iletken özellikli filamentlerin yapıda kullanılması gibi uygulamalar statik elektriklenmeyi önlemeye yardımcı olacaktır.

Elektrikli ve elektronik araçlar tarafından ortama yayılan elektromanyetik dalgaların canlıların sağlığı ve elektronik cihazlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Elektromanyetik yayınının neden olduğu zararların azaltılması, çevre ve insan sağlığı açısından son derece önemli hale gelmiştir. Elektromanyetik enerjinin insan sağlığı ve elektronik cihazlar üzerindeki etkilerinin önlenmesine yardımcı olacak malzemeler üzerindeki çalışmalar artarak devam etmektedir. Elektriksel olarak iletken olan tekstil yüzeyleri istenmeyen elektromanyetik dalgaların kalkanlanması amacı ile kullanılan ürünler arasında yer almaktadır [5]. Elektromanyetik radyasyondan korunmada temel yöntem ekranlamadır. Ekranlamayı basit olarak bir elektronik ürünün tamamının veya bir kısmının metalik bir muhafaza ile tamamen kapatılması şeklinde ifade etmek mümkündür. Malzemelerin ekranlama etkinliği (SE-Shielding Effectiveness) uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Tekstil materyallerinin SE değerleri fiili olarak ölçülmek suretiyle belirlenebilmektedir [6].

Yapılan çalışmada iletken metal ve metalize filamentler halı zemin çözgüsünde kullanılarak antibakteriyel, antimantar özellik, elektromanyetik kalkanlama etkinliği ve antistatik özelliklerin tamamının ürüne kazandırılması hedeflenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür araştırmasında tekstil sektöründe antibakteriyel, antimantar, elektromanyetik

kalkanlama etkinliği ve antistatiklik özellikler üzerine yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Chen ve arkadaşları [7], yaptıkları çalışmada zirkonyum, bakır, alüminyum, gümüş ince cam film tabakalarının antimikrobiyal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada bakır ve gümüş kaplamaların belirgin bir antimikrobiyal etki sağladığı belirtilmiştir. Sharifahmadian ve arkadaşları [8], taramalı elektron mikroskobu ile bakır kaplamaların mikroyapı ve yüzey mikromorfolojisini incelenmiş ve antibakteriyel özelliklerini analiz etmiştir. Çalışmada bakır kaplama yüzeylerin anti bakteriyel özellikleri paslanmaz çelik ve ticari olarak kullanılan bakır plakalar ile kıyaslanmış ve kaplanmış bakır yüzeyin diğerlerine göre çok iyi bir anti bakteriyel davranış sergilediği belirtilmiştir. Özyüzer ve arkadaşları [9], çapları 65 µm olan multifilament sentetik polipropilen liflerin yüzeylerinin yüksek vakum altında nanometre kalınlığında Cr ve Ag gibi elektriksel iletken metal filmler ile kaplanmış, elektriksel iletkenlik ve antibakteriyel özelliklerini incelemiştir. Çalışmada artan kaplama kalınlığı ile antistatik ve antibakteriyel özelliklerin olumlu olarak etkilendiğini, kaplama kalınlığı 120 µm olduğunda antibakteriyel özelliğin %99,9'a çıktığı belirtilmiştir. Jiang ve arkadaşları [10], polyester/pamuk karışımı kumaşa kimyasal gümüş kaplama işlemi uygulamış ve işlem sonrası kumaş özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri değerlendirmiştir. Uygulama sonrası kumaş renginde beyazdan griye doğru bir değişim olduğu, ağırlık, kalınlık ve atkı/çözgü yönündeki eğilme dayanımı değerlerinde artış olduğu, kaplama sonrası ultraviyole radyasyona karşı dayanımın mükemmel seviyelere ulaştığı, Escherichia coli ve Staphylococcus aureus bakterilerine karşı etkin bir koruma sağladığı ve iyi bir anti statik özellik gösterdiği belirtilmiştir. Lee ve arkadaşları, [11], pamuk ve polyester kumaşlar üzerinde nano boyutlu gümüş koloidal solüsyonunun antibakteriyel etkinliğini gram-pozitif ve

gram-negatif bakteriler (S. aureus ve K. pneumoniae) kullanarak incelemişlerdir. Kumaş üzerinde antibakteriyel etkinliğin nano boyutlu gümüş koloidal solüsyonu kullanılarak kolayca elde edilebileceği ve iyi bir yıkama dayanımı sağlayacağı belirtilmiştir. Nakashima ve arkadaşları [12], bakır sülfat ve çinko sülfat metalik tuzları ile muamelenin selülozik kumaşların üç bakteri türü üzerindeki antibakteriyel aktivitesini incelemiştir. Kumaşların antibakteriyel aktivitelerinin metal tuzları ile muamele sonrasında önemli ölçüde arttığı bu artışın azda olsa adsorbe edilen metal iyon miktarına bağlı olduğu buna karşın metal iyon ve kumaş türünden bağımsız olduğu belirtilmiştir. Çalışmada antibakteriyel aktivitenin 10 yıkamaya kadar devam edeceği de vurgulanmıştır. Maclaga ve Fisher [13], yaptıkları çalışmada iletken lifler içeren halıların statik yük dağılım mekanizmasını incelemiştir. Çalışmada statik yük dağılımının iletken lif uçları etrafında serbest iyon oluşumu ile korona deşarjına bağlı olduğunu iletken filamentlerin birbirine bağlı olduğu halılarda statik yayılım ve korona deşarj performansının arttığını ifade etmişlerdir. Männer ve arkadaşları [14], Tencel liflerinin halı üretiminde kullanılmasını araştırmıştır. Çalışmada polyester, polipropilen ve yün liflerinin standart şartlarda elektriksel direncinin Tencel liflerinden 100 kat fazla olduğu belirtilmiştir. Duru Baykal ve Sıgnak [15], Metal ipliği iki adet penye iplik ile birlikte katlayıp bükerek elde ettikleri %3-7 oranında metal içeren iplikleri dokuma kumaş üretiminde atkı olarak kullanmışlardır. Çalışma kapsamında kumaşta kullanılan metal ipliklerin kumaşın boyut değişimi, mukavemet ve boncuklanma gibi performans özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Kullanılan metal ipliğin atkı yönünde mukavemeti düşürdüğü dikiş açılması açısından da benzer sonuçlara neden olduğu, metal iplik içeren kumaşların boncuklanma değerlerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir. Kessler ve Fisher [16], halı üzerinde yürüyen insanlar üzerinde meydana gelen

gerilim hakkında yaptıkları çalışmada triboelektrik şarjın insanlarda oluşan statik yük birikimindeki rolünü araştırmışlardır. Kacprzyk ve Domagala [17], halı hav tabakası içerisine iletken yerleştirmiş ve numunelere yürüme testi uygulamışlardır. Kullanılan metal filamentlerin ölçülen ana potansiyeli azalttığı ve test boyunca periyodik deşarjlara neden olduğu belirtilmiştir. Deşarj frekansı gibi maksimum ana potansiyel değerinin de iletken filamentlerin yoğunluğuna bağlı olduğu ifade edilmiştir. Altafım ve arkadaşları [18], sabit akım korona triod yönetimini kullanarak halı örneklerinin elektrostatik karakterizasyonunu incelemiştir. Yöntemde halı numuneleri üst kısımdan yüklenirken zemin kısmında bulunan kontrol devresi ile halıdaki elektrik yükü ölçülmüştür. Literatür araştırmasında ayrıca metal ve metalize filamentler kullanılarak iletken yüzeyli, antistatik ve elektromanyetik kalkanlama sağlayan kumaşların üretilebildiği tespit edilmiştir. Çalışmalarda genel olarak farklı metaller (bakır, çelik, gümüş vb.) farklı oranlarda kullanılmış, kumaşta yerleşim ve sıklıkları değiştirilerek elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri analiz edilmiştir [19-22].

Yapılan literatür çalışması sonucunda, tekstil ürünlerinde metallerin kullanımı ile antibakteriyel ve elektromanyetik koruma amaçlı uygulamaların olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmaların halılara yönelik olmadığı ve ayrıca antibakteriyel, antistatik uygulamaların çoğunlukla terbiyede kimyasal madde veya metal iyonları kullanımı ile gerçekleştirildiği dikkat çekicidir.

Yapılan çalışma kapsamında, kimyasal veya nanometal partikül içerikli uygulamalar yerine daha çevreci bir uygulama olan doğrudan metal ve metalize filamentlerin kullanılmasıyla antibakteriyel, antimantar ve antistatik özelliğe sahip, üretim ve son kullanım alanında çevreye daha duyarlı halılar üretilmiştir. Bu filamentlerin uygun yerleşim ve yoğunlukta kullanılması tüm bu özelliklere ek olarak halıya elektromanyetik koruma özelliği de kazandırmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

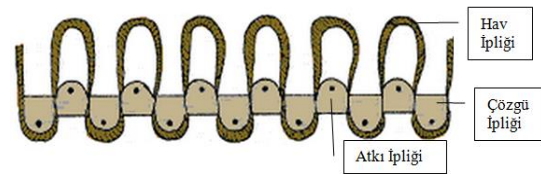
Çalışma kapsamında halı zemin çözgülerinde kullanılan 780 denye tekstüre polyester iplik Çizelge 2’de verilen metal ve metalize filamentler ile puntalanarak birleştirilmiştir.

Çizelge 2. Metal ve metalize filamentler ve özellikleri

İplik Türü	İletkenlik	Lineer Yoğunluk
Metalize Gümüş (Polyamid)	İletken	90 denye (30 filament)
Metalize Gümüş (Polyester)	İletken	82 denye (10 filament)
Mono Filament Bakır	İletken	160 denye (MonoFilament)

3.2. Metot

Handtuft tipi halıların yapısında bulunan ipliklerin %90’a yakın bir kısmını hav iplikleri geri kalan yaklaşık %10’luk kısmı ise zemin çözgü ve atkı iplikleri oluşturmaktadır. Çalışmada metal ve metalize filamentlerin, daha az iplik miktarı içermesi ve bakteri-mantar oluşumuna daha elverişli ortam sağlayan kısmı olması nedeniyle zemin çözgüsünde kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Handtuft halı yapısı [2]

Çalışmada kullanılan 780 denye tekstüre polyester iplik Çizelge 2’de verilen metal ve metalize filamentler ile Hemaks HMX114 puntalama makinesi kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen 3 farklı iplik halı zemin çözgüsü olarak kullanılarak Robot Handtuft halı makinesinde numune halılar üretilmiştir. Üretilen halı numuneleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Halı numunelerinin üst ve alt yüz görüntüleri

Şekil 2’de 1, 2 ve 3 nolu numunelerin zemininde sırasıyla metalize gümüş polyamid, metalize gümüş polyester ve monofilament bakır ile puntalanarak birleştirilen çözgü iplikleri kullanılmıştır. Halı zemininde kullanılan atkı iplikleri ile hav iplikleri tüm numunelerde sabit tutulmuş olup, atkı ipliği %95 polyester -%5 pamuk, hav ipliği ise % 00 akriliktir.

Üretilen zemin çözgülerinin halı numunelerine kazandırdığı özelliklerin tespiti için uygulanan performans testleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Halı performans testleri ve kullanılan standartlar

Test edilen özellik	Kullanılan standartlar
Antibakteriyel aktivite	TS EN ISO 20743: 2013 Tekstil – Antibakteriyel aprelenmiş kumaşlarda antibakteriyel aktivitenin tayini
Antifungal aktivite	AATCC 30, Antifungal activity on Textile material
Antistatik özellik	TS EN 1149-1:2006 Koruyucu giyecekler- elektrostatik özellikler-bölüm 1: yüzey öz direnci
Elektromanyetik ekranlama etkinliği	ASTM D4935-99 Standard test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of planar materials

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen numune halılara akredite bir test laboratuvarında Çizelge 3’de belirtilen standartlar kullanılarak, antibakteriyel ve antifungal aktivite testleri yaptırılmıştır. Test sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Antibakteriyel ve antifungal aktivite test sonuçları

No	Test ve Mikroorganizma Türü		
	Antibakteriyel Aktivite		Antifungal Aktivite
	<i>S. aureus</i>	<i>K. pneumoniae</i>	<i>A. niger</i>
1	%99,9 Etkili	%99,9 Etkili	Ürediği gözlenmedi
2	%99,9 Etkili	%99,9 Etkili	Ürediği gözlenmedi
3	%99,9 Etkili	%99,9 Etkili	Ürediği gözlenmedi

Halı numunelerinin antibakteriyel aktivite testinde *S. aureus* ve *K. pneumoniae* bakterileri, antifungal aktivite testinde ise *A. niger* mantarı kullanılmıştır. Üretilen tüm halı numunelerinde yüksek antibakteriyel ve antifungal etki görülmüştür. Çizelge 4’deki sonuçlar uygulamanın *S. aureus* ve

K. pneumoniae bakterilerinin %99,9'unu öldürecek ve A. niger mantarının üremesine izin vermeyecek seviyede etkili olduğunu göstermektedir.

Halı numunelerine, antistatik özelliklerin tespiti için akredite bir test laboratuvarında Çizelge 3'de bulunan standart esas alınarak yüzey öz direnç testi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Antistatiklik test sonuçları

Numune No	Yüzey öz direnci - r (ohm/cm ²)
1	1.69 x 10 ¹¹
2	2.3 x 10 ¹¹
3	3.4 x 10 ¹¹

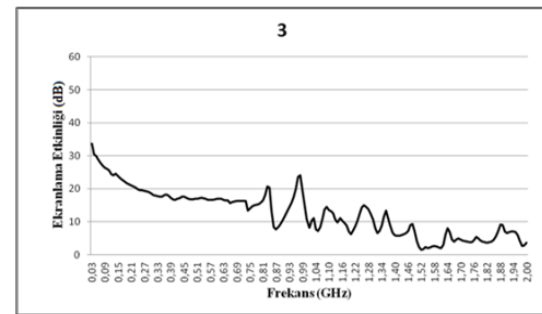
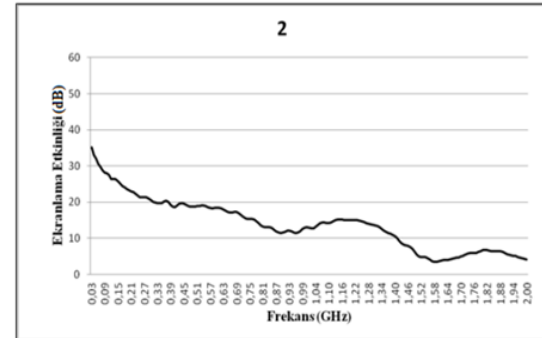
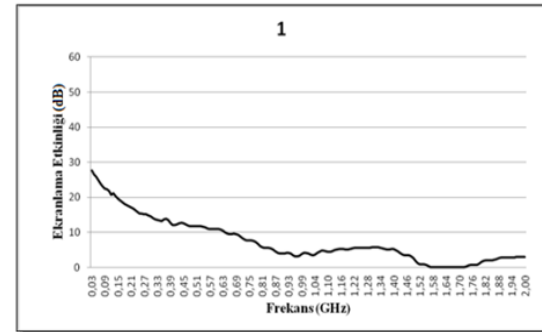
İletken malzemeler yüzey özdirenci 10⁵ ohm/cm²'den daha düşük malzemelerdir. Yüzey özdirenci 10¹² ohm/cm²'den büyük olan malzemeler yalıtkan kabul edilir ve bunlar bir statik yük oluşturma kaynağıdır. Yüzey özdirenci 10⁵-10¹² ohm/cm² arasındaki malzemeler antistatik olarak kabul edilirler [4]. Çizelge 5 incelendiğinde üretilen numune halıların yüzey öz dirençleri 10¹² ohm/cm²'den küçük olup bu numuneler antistatik kabul edilmektedirler.

Üretilen halı numuneleri, elektromanyetik ekranlama etkinliğinin (SE) ölçülmesi amacıyla kontrollü test alanlarında ekranlama etkinliği ölçüm metodlarından biri olan Koaksiyel Tutucu Metodu'na göre test edilmiştir. Bu yöntem ASTM D 4935 standardını esas almakta olup, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin ekranlama etkinliği ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Çizelge 6'da 0,01 GHz'de ekranlama değerleri verilmiştir. Buradan görüleceği üzere üç numunenin ekranlama performansı ortalama değer (30 dB) olarak kabul edilen seviyeyi geçmiştir [23].

Çizelge 6. Ekranlama etkinliği test sonuçları

Numune No	Ekranlama Etkinliği (dB)
1	37.07
2	40.81
3	36.25

Numunelere ait 0,03-1,88 GHz aralığında ekranlama etkinliği değerleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. 0,03-1,88 GHz aralığında ekranlama etkinliği grafikleri

Şekil 3 incelendiğinde tüm numunelerde ekranlama etkinliğinin düşük frekans değerlerinde en yüksek seviyelere ulaştığı buna karşın artan frekans değerleri ile ekranlama etkinliğinde düşüş meydana geldiği görülmektedir.

Tayvan tekstil federasyonu tarafından yayınlanan “Specified requirements of electromagnetic shielding textiles” isimli raporda ekranlama amacıyla kullanılacak tekstil materyalleri profesyonel kullanım ve günlük kullanım olmak üzere ikiye ayrılmakta ve kullanım yerine uygun ekranlama değerleri Çizelge 7’de sınıflandırılmaktadır [23].

Çizelge 7. Ekranlama değerleri sınıflandırması [23]

Kullanım Tipi	Ekranlama etkinliği (SE)	Sınıflandırma
Profesyonel kullanım	$SE > 60\text{dB}$	Mükemmel
	$60\text{dB} \geq SE > 50\text{dB}$	Çok iyi
	$50\text{dB} \geq SE > 40\text{dB}$	İyi
	$40\text{dB} \geq SE > 30\text{dB}$	Orta
Günlük Kullanım	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$	Kabul edilebilir
	$SE > 30\text{dB}$	Mükemmel
	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$	Çok iyi
	$20\text{dB} \geq SE > 10\text{dB}$	İyi
	$10\text{dB} \geq SE > 7\text{dB}$	Orta
	$7\text{dB} \geq SE > 5\text{dB}$	Kabul edilebilir

Şekil 3 ve Çizelge 7 birlikte değerlendirildiğinde üretilen numunelerin genel olarak düşük frekanslarda ortalamanın üzerinde ekranlama sağladığı görülmektedir. Frekans artışıyla ekranlama etkisi azalsa da bu değerlerin günlük kullanımda kabul edilebilir seviyenin üzerinde koruma sağladığı söylenebilir.

5. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- Halı numunelerine yapılan antibakteriyel ve antifungal aktivite test sonuçları, numunelerin *S. aureus* ve *K. pneumoniae* bakterileri ile *A. niger* mantarına karşı yüksek etki sağladığını göstermiştir.
- Halı numunelerinin antistatik özelliklerinin tespiti için gerçekleştirilen yüzey öz direnç ölçüm sonuçlarının 10^{12} ohm/cm²’den küçük olduğu ve numunelerin antistatik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.
- Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları numunelerin genel olarak düşük frekanslarda ortalamanın üzerinde ekranlama sağladığını, frekans artışıyla ekranlama etkisinin azaldığını fakat yine de değerlerin günlük kullanımda kabul edilebilir seviyenin üzerinde koruma sağladığını göstermiştir.

Yapılan çalışma göstermiştir ki, halı zemin çözgüsünde metal ve metalize filamentlerin kullanımı ile halılara antibakteriyel-antimantar özellik, antistatik özellik ve aynı zamanda elektromanyetik ekranlama özelliklerini kazandırmak mümkün olmaktadır. Üretilen numune halılar kullanım alanlarında dikey yönlü elektromanyetik dalga yayınımlarına karşı koruma sağlamakta ve halılara yeni bir kullanım özelliği katmaktadır. Sonraki çalışmalar açısından, metal ve metalize filamentlerin türü ve zeminde yerleşim şekli değiştirilerek araştırma genişletilebilir.

Not: Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçların bir bölümü Romanya’da gerçekleştirilen “15th Autex World Textile Conference” etkinliğinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur [24].

6. TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesi aşamasında destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine (Proje Numarası: MMF2013D16 ve FBA-2014-3122) ve TÜBİTAK BİDEB 2211 Yurtiçi Doktora Burs Programına teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Uyanık, S., 2012. Makine Halısı Üretimi, Öncü Basımevi, Ankara.
2. The Carpet and Rug Institute, 2013. <http://www.carpet-rug.org/Carpet-for-Business/Specifying-the-Right-Carpet/Carpet-and-Rug-Construction.aspx>.
3. Başarır, İ.F., 2013. Elektronik İmalat Aşamasında Güvenlik, Statik Elektriğe Karşı Önlemler, TMMOB Elektrik Mühendisliği Dergisi, 447: 42-44.
4. Messina, J., 2009. AT&T Electrostatic Discharge Control, 2: 1-21, ABD.
5. Palamutçu, S., Dağ, N., 2009. Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1):87-101.
6. Kılıç, G., Örtlek, H.G., Saraçoğlu, Ö.G., 2008. Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillerin Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri. (15) 72: 7-15.
7. Chen, H.W., Hsu, K.C., Chan, Y.C., Duh, J.G., Lee, J.W., Jang, J.S.C. Chen, G.J., 2014. Antimicrobial Properties of Zr–Cu–Al–Ag Thin Film Metallic Glass. Thin Solid Films, 561: 98-101.
8. Sharifahmadian, O., Salimijazi, H.R., Fathi, M.H., Mostaghimi, J., Pershin, L., 2013. Relationship Between Surface Properties and Antibacterial Behavior of Wire Arcspray Copper Coatings. Surface and Coatings Technology, 233: 74-79.
9. Özyüzer L., Meriç Z., Selamet Y., Kutlu B., Cireli A., 2010. Miknatıssal Saçtırma Sistemi ile Metal Kaplanan Polipropilen Liflerin Antistatik ve Antibakteriyel Özellikleri, Tekstil ve Mühendis, 17(78): 1-5.
10. Jiang S., Newton E., Yuen C.M., Kan C., 2007. Application of Chemical Silver Plating on Polyester and Cotton Blended Fabric, Textile Research Journal, 2:77-85.
11. Lee, H.J., Yeo, S.Y., Jeong, S.H., 2003. Antibacterial Effect of Nano Sized Silver Colloidal Solution on Textile Fabrics, Journal of Materials Science, 38: 2199 – 2204.
12. Nakashima, T., Sakagami, Y., Ito, H., Matsuo, M., 2001. Antibacterial Activity of Cellulose Fabrics Modified With Metallic Salts, Textile Research Journal, 71(8): 688-694.
13. Maclaga, B., Fisher, W.K., 2001. Static Dissipation Mechanism in Carpets Containing Conductive Fibers, Textile Research Journal, 71(4): 281-286.
14. Männer J., Ivanoff, D., Mareley, R.J., Jary, S., 2011. Tencel®-New cellulose Fibers for Carpets, Lenzinger Berichte, 89: 60-71.
15. Duru Baykal, P., Sıgnak, N., 2009. Metal İplik İçeren Dokuma Kumaşların Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Tekstil ve Konfeksiyon, 1: 39-44.
16. Kessler L., Fisher, W.K., 1997. A Study of the Electrostatic Behavior of Carpets Containing Conductive Yarns, Journal of Electrostatics, 39: 253-275.
17. Kacprzyk, R., Urbaniak-Domagata, W., 1997. Discharge of the Carpet Type Structure Antistatized by Introduction of Conducting Fibres, Journal of Electrostatics, 40(41): 553-558.
18. Altafim, R.A.C., Fujiwara, J.K., Giacometti, J., 1997. Electrostatic Characterization of Carpets Using a Corona Triode. In Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE 1997 Annual Report., Conference on 2: 591-594.
19. Chen, H.C., Lee, K.C., Lin, J.H., Koch, M., 2007. Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles Via Various Measurement Techniques, Journal of Materials Processing Technology, 192: 549-554.
20. Cheng, K.B., Cheng, T.W., Nadaraj, R.N., Dev, V.G., Neelakandan, R., 2006. Electromagnetic Shielding Effectiveness of the Twill Copper Woven Fabrics, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 25(7): 699-709.
21. Su, C.I., Chern, J.T., 2004. Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness. Textile Research Journal, 74(1): 51-54.
22. Roh, J.S., Chi, Y.S., Kang, T.J., Nam, S.W., 2008. Electromagnetic Shielding Effectiveness

- of Multifunctional Metal Composite Fabrics, Textile Research Journal, 78(9): 825-835.
- 23.** Taiwan Textile Federation, 2005. Specified Requirements of Electromagnetic Shielding Textiles, Document No. FTTS-FA-003.
- 24.** Özkan, İ., Baykal P.D., 2015. Developing the Carpet Having Electromagnetic Shielding and Antimicrobial Properties, 15th Autex World Textile Conference, June10-12, Bükreş/Romanya.

Bebek Bezi Üretimi

Seval UYANIK¹, Pınar DURU BAYKAL^{*2}

¹ Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekstil Bölümü, Gaziantep
² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Tek kullanımlık bir ürün olan bebek bezi, tüm toplumlar için bebek ve çocuk sağlığı açısından çok önemli bir üründür. Günümüzdeki bebek bezleri önekilere göre çok daha ince ve emici olup cilt tahrişlerini ve bulaşıcı hastalıkları önlemede oldukça etkilidirler. İşlevleri farklı materyal ve tabakaların birleşimiyle elde edilen bezlerde dokunmamış (nonwoven) yüzeyler geniş kullanım alanına sahiptirler. Modern bebek bezi makineleri işlem aşamalarının kontinü olarak gerçekleştirildiği 20-45 metre uzunluğunda makinelerdir. Hijyenik ürün pazarında atılabilir bezlerin payı %50'ye yakındır. Pazar hâkimiyeti açısından ise dünyada ABD ve Çin'li firmalar ön plana çıkmıştır. Türkiye'de ise özellikle İstanbul civarı ve Gaziantep'te yoğun bir şekilde bebek bezi üretimi yapılmaktadır. Bebek bezi ihracatının gittikçe arttığı ülkemizde ihracatın çok büyük bir kısmı Irak'a yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bebek bezi, Sürekli bebek bezi makinesi, Dokunmamış yüzeyler, Bebek bezi ihracatı

The Production of Baby Diaper

Abstract

Baby diaper which is disposable is an important product in terms of infant and child health in all societies. Nowadays, baby diapers are much thinner and absorbent than previous diapers and they are very effective in preventing skin irritation and infectious diseases. Nonwovens have wide using area in diapers which are obtained by combination of the materials and layers which have different functions. Modern baby diaper machines which carry out process steps as continuous are from 20 to 45 meters in length. The share of disposable diapers is close to 50% in the market of hygienic products. In terms of market dominance, the US and Chinese firms have come to the fore in the world. In Turkey, especially in Istanbul vicinity and Gaziantep production of baby diapers are made intensively. A large proportion of exports are made to Iraq in our country which has increasingly exporting of the baby diaper.

Keywords: Baby diaper, Continuous baby diaper machine, Nonwoven, Baby diaper export

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Pınar Duru BAYKAL, pduru@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

1930'lerden önce çocuk bezi temel olarak ya pamuk tabanlı nervalürlü havlu ya da pamuk muslin tipi malzemeden üretilmiştir. Kare şeklindeki bu bezler bebeğin etrafına sarılarak ve güvenli tutaçlarla sabitlenerek kullanıldı. Bebek bezi sonra elastik bacak arası olan yeniden kullanılabilir plastik veya kauçuk pantolonla kaplandı. 1930'ların sonlarında bezin aralarında kullanılan dokunun (tissue) ilk şekilleri İsveç'te tanıtıldı. 1936 ve 1942 arasında Paulström Bruk tarafından kauçuk pantolon şeklindeki bu bezlerin selülozik ped içeren değişik dizaynları ortaya çıkarıldı. 1950 yılında şirket kauçuk pantolon şeklindeki bezin içine yerleştirilmiş ve dış katmanı ağ tabanlı olan ağırlanmış selülozik vatka içeren yeni bir sürümünü tanıttı. Aynı yıl Johnson & Johnson, plastik alt tabakalı ve ıslak mukavemeti yüksek dokulu selülozik vatka dayalı dikdörtgen pedini tanıttı. 1957'de Mölnlycke örülmüş ağla kaplı paralanmış odun hamurundan (selülozdan) oluşan ara tabakayı tanıttı. Bebek bezindeki en yeni buluş ise 1950'de duş perdesini keserek bezin etrafına plastik kılıf yapan Marion Donovan isimli kişinin bezin bebeği üzerinden kaymasını önlemek için çit çit kullanması olmuştur. Bezin bu şekli önemli bir başarıydı ve zamanla çalışan annelerin artmasıyla kabul gördü. 1961 yılında Procter & Gamble ABD tarafından plastik alt tabaka (backsheet) ve nonwoven üst tabaka (topsheet) arasına yerleştirilen selüloz vatkalı bez tipleri tanıtılmaya başlandı. Sonraki gelişmeler, yapışkan bant ekleme ve plastik backsheet kullanımıyla devam etti. 1980'lerin ortalarındaki gelişmeler ise odun hamuruna eklenen geliştirilmiş süper emici polimerlerin ilavesi ve bunların yanı sıra ön ve yan bantlar, elastik bel gibi yenilikler oldu. 1989 yılında Kimberly-Clark tarafından pantolon şeklindeki ilk alıştırmaya pantolonunun tanıtılmasıyla 1991 yılında bu ürünler çocuğun tuvalet eğitimi aşamasında pazara girmiştir. Alıştırma pantolonu ve pantolon çocuk bezi arasındaki ayırım emme kapasitesi ile ilgili olup alıştırmaya pantolonu daha sınırlı emme kapasitesine sahiptir. Tek kullanımlık bebek bezleri (Şekil 1) bugün öncelikle göre çok daha ince ve emici olup sonuç olarak daha etkilidir. Bu yeni geliştirilen ürünler, bebek ve anne için daha fazla kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca, bu ürünleri kullanan çocuklarda cilt tahrişi belirgin olarak

azalmış ve bakım ortamlarında çocuklar arasında bulaşıcı hastalıkların yayılmasında bir düşüş gözlenmiştir [1]. Bunun yanı sıra beze uygulanan koku aprotleri de bezin güzel kokmasını ve ürün değerinin artmasını temin etmektedir [2]. Bebek bezi ile ilgili son çalışmalar bebeğin sağlığını koruma ve konforunu artırma açısından kullanılabilir hammaddeler üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan bir çalışmada Chitosan karışımı liflerden spun-lace metoduyla elde edilen dokunmamış (nonwoven) materyallerin iyi geçirgenlik, su iletimi, yalıtım, antibiyotik koruma, koku önleme, antimikrobiyal etki fonksiyonları sağladığı için bebek bezinde iç tabaka olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [3].



Şekil 1. Bebek bezi [1]

Bebek bezinin temel fonksiyonu, bebeğin 2-3 yaşına kadar idrar ve dışkısını emerek kuru bir yüzey sağlamasıdır. Günümüzde Avrupa pazarının %90'ı yapışkanlı bezlerden oluşmaktadır. Alıştırma külotları ve pantolon şeklindeki bezler bebeklere tuvalet alışkanlığının kazandırıldığı zamanlarda kullanılır [1].

Bebek bezi boyutları bebek ve yeni doğan bebeklerin boyutları dikkate alınarak 0-36 ay arasında değişir. Türkiye'de bebek bezleri;

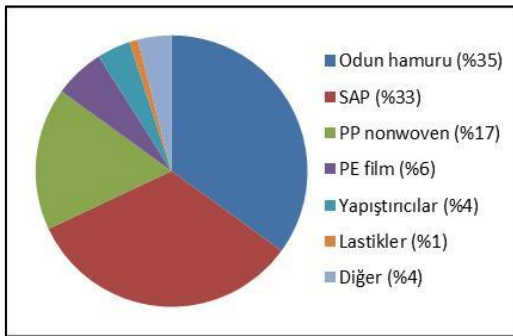
- Yeni doğan (2-5 kg)
- Mini (3-6 kg)
- Midi (5-9 kg)
- Maksi (8-18 kg)
- Junior (11-25 kg)

olarak 5 farklı ebatta üretilip kullanılmaktadır.

Günümüzdeki ürünler her tabakanın farklı fonksiyonları yerine getirdiği değişik katmanlardan oluşur. Bir bebek bezinde alt ve üst dokunmamış kumaş arasında emici bir tabaka bulunur. Bu tabakada bulunan süper emici polimerler, idrar ve

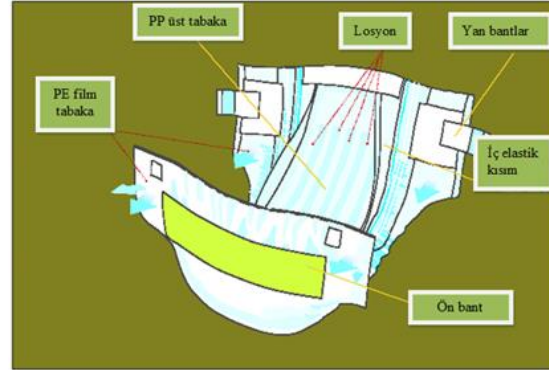
dışkı enzimlerinin bebeğin cildinden uzak tutulmasını sağlarlar [4]. Bez çok adımlı bir işleme üretilir. Birinci adımda emici tabaka istenilen emiciliğe getirilir. 2. adımda bu tabaka geçirgen üst tabaka ve geçirgen olmayan alt tabaka katmanlarının arasına yerleştirilir. Tabakalar ısı veya ultrasonik titreşimle yapıştırılır. Tabakaların kenarları bebeğin kalçasını ve bacağına düzgün bir şekilde sarması için elastik fiberlerle sabitlenir [1].

Bebek bezi üreticileri katma değerli özellikler sunarken çevreye dost düşük maliyetli dizaynlar üretme yolunda dokunmamış yüzey kullanımını önemli ölçüde artırmışlardır. Bebek bezlerindeki dokunmamış yüzey tüketimi esas olarak, genelde termal bağlama veya giderek artan bir biçimde spunbond polipropilen kumaşlar olan, üst yüz (topsheet) ve alt yüzden (backsheet) oluşmaktadır. Fakat bebek bezinde giderek artan biçimde SMS (Spunbond-Meltblown-Spunbond) prosesi ile üretilen kumaştan yapılan bacak kenarı bariyerleri, airlaid (havalı serme) kompozit kumaştan üretilen çeşitli emici katmanları ve kalça bağcığı, streç panelleri gibi bazı küçük alanlar ve diğer kısımlarında da dokunmamış yüzeyler kullanılır. Kullanılan bütün kumaşların fonksiyonlarını yerine getirmek için önemli özellikleri vardır. En önemlisi bu kumaşlar sıvıyı itmek ve kuruluşu sağlamak amacıyla ya hidrofob ya da hidrofildir [1].



Şekil 2. Bebek bezi bileşenlerinin oranları [1]

Tüm bebek bezleri yaklaşık 40–42 gram ağırlığında olup başlıca odun hamuru (fluff pulp), süper emici polimer (SAP), polipropilen (PP), polietilen (PE) ve az miktarda bantlar (tapes), lastikler (elastics), yapıştırıcılardan (adhesives) oluşur (Şekil 2 ve Şekil 3) [1].



Şekil 3. Bebek bezi bileşenleri [1]

Bebek bezi bileşenleri; üst tabaka (topsheet), dağıtıcı tabaka (acquisition/distribution layer-ADL), örtücü kumaş tabaka (tissue/core wrap layer), emici tabaka (absorbent core structure), arka tabaka (backsheet), yapıştırıcılar (adhesives), lastikler (elastics), yan bantlar (lateral tapes) ve ön bant (frontal tape), üst tabakaya eklenen losyonlar ve dekoratif dış tabaka olarak sıralanmaktadır.

1.1. Üst Tabaka (Topsheet)

Üst yüzeyin üzerindeki temas noktasından idrarın alt tabakaya hızlı bir şekilde transferini sağlar (Şekil 4). Polipropilen hammaddeli nonwoven yüzeyden yapılan bu tabaka bebeğin cildinin tahrişini önlemek için çok yumuşaktır. İdrarla ilk temas eden tabaka olduğu için ıslanabilir olup ve yüksek sıvı geçirgenliğine sahiptir. Bebeğin cilt bakımı için bu tabakaya losyon uygulanmaktadır [5].



Şekil 4. Sıvının üstten alt tabakaya transferi [5]

Bezde kullanılan nonwoven yüzeyler genellikle spunbond prosesi ile üretilir. Ayrıca termal bonded ve air bonded nonwoven tabakaların kullanımı da mümkündür. Spunbond nonwoven yüzeyler termal bonded yüzeylere göre daha yumuşak ancak daha düşük direnç ve mukavemete

sahiptir. Air bonded yüzeyler ise spunbonda göre daha olukludur (lofty) [5]. Üst tabaka hidrofil ve hidrofob katmandan oluşur.

Hidrofobik nonwoven katman: Bariyer (leak guard) adıyla bilinen bu tabaka bacak kısımları için sızıntıyı önlemek amacıyla sıvı geçişine izin vermez (Şekil 5). Söz konusu katman yüzey aktif madde uygulanmayan polipropilenden yapılır [5].



Şekil 5. Hidrofobik nonwoven tabaka (bariyer) [5]

Hidrofilik nonwoven katman: Topsheet olarak isimlendirilen bu katman ise bebeğin cildiyle asıl temas eden tabaka olup idrarın bezin iç kısımlarına iletilmesini sağlar (Şekil 6). Hidrofob katmanla aradaki tek fark yüzey aktif maddenin hidrofilleştirme amacıyla uygulanmasıdır [5]. Bu tabakalar bezde yaygın olarak 12-25 g/m² ağırlığında kullanılır.



Şekil 6. Hidrofilik nonwoven tabaka [6]

1.2. Dağıtıcı Tabaka (Acquisition/Distribution Layer-ADL)

Üst tabaka ile emici tabaka arasında bir ara tabakadır. Bu kısım, emilmenin en iyi şekilde gerçekleşmesi için üst tabakadan idrarı alır ve

dağıtıcı tabakada depolanmasını sağlar. Sıvının emici tabakaya hızlı bir şekilde hareket etmesi için emici tabaka ince olduğunda bu ara tabaka gereklidir. ADL tabakası, emici tabakadaki SAP oranı ağırlıkça yaklaşık %15 ve civarı olduğunda kullanılmalıdır. Bezin tam uzunluğu boyunca kullanıldığı gibi bazen de resimdeki gibi hedef bölge yakınında bir yama gibi de kullanılabilir (Şekil 7 ve Şekil 8). Cilde kuruluk hissinin verilmesi için bu tabaka çok önemlidir. Bunun için farklı yapı ve sayılarda materyaller kullanılır. ADL tabakası, ya kıvrıkcık lifli air bonded ya da yüksek loftlu nonwoven yüzeyden yapılır. Bezde genellikle 20-100 g/m² ağırlığında kullanılır [5].



Şekil 7. Bez ortasına uygulanmış ADL [5]



Şekil 8. Farklı ebatlarda ADL tabakaları [5]

1.3. Örtücü Kumaş Tabaka (Tissue/Core Wrap Layer)

Bazı bebek bezlerinde emici tabaka ve dağıtıcı tabaka etrafında kullanılır. Üretim prosesine yardımcı bir işlem olup ped için taşıyıcı olarak kullanılır. Bezin tamamına eklenen bu kılıf süper

emici polimerlerin iç plastik filme zararını azaltmaya yardımcı olur. Bu tabaka kâğıt malzemeli olursa tissue adıyla bilinir ve genellikle 16 g/m² ve üzeri gramajda kullanılır. Malzeme SMS nonwoven olursa bu tabaka core wrap olarak bilinir ve 12 g/m² ve altı gramajda kullanılır [5].

1.4. Emici Tabaka (Absorbent Core Structure)

İdrarın depolandığı katman olup modern bebek bezinde anahtar bileşendir. Üst tabakadan transfer edilen ve dağıtıcı tabaka tarafından dağıtılarak bu tabakaya geçirilen idrar emici tabakada hapsedilir. Bezlerde kullanılan pamuk materyali iyi bir emicidir fakat bazı sentetik polimerler doğal liflerin emme kapasitesini aşmaktadır. Günümüzde bezlerin kendi ağırlığının 15 katı sıvı absorplaması hedeflenmektedir. Bu emme kapasitesi bezin merkezinde bulunan emici pedin özelliklerine bağlıdır. Modern bebek bezlerinde bu tabakada odun hamuru gibi fibrilleştirilmiş materyal ve hidrofil süper emici polimerler (SAP) olmak üzere iki ana bileşen vardır [5].

1.4.1. Selülozik Tabaka (Fluff Pulp)

İlk zamanlarda bebek bezi merkezi %100 odun hamurundan oluşmaktaydı. Bu kısım sünger gibi olup sonuçta çok küçük bir basınçla doymuş olan tabaka emilen sıvının geri bırakılmasına veya sızmasına neden olurdu [5]. Bezin yapısında kullanılan odun hamuru tamamen selülozdur (Şekil 9). Bakımlı ormanlardaki çam ağaçlarından elde edilir. Bezde kullanılan tipik elyaf uzunluğu yaklaşık 2,6 mm'dir [5].



Şekil 9. Selülozik tabakayı oluşturan lifler [7]

Sıvı, lifler arasındaki kılcal boşluklara ve su-elyaf arasındaki yüzey tansiyonuna bağlı olarak emilir. Pulp serbest halde (free swell) iken gram başına 10 cc civarında su emerken 5 kPa basınca maruz kaldığında 2 cc'den daha az su emer. Selüloza alternatif olarak sentetik liflerden yapılmış air laid yüzeyler emici tabaka olarak denlenmektedir. Sentetik liflerden özellikle selüloz asetat ve polipropilen liflerinin emici tabakada kullanımı öne çıkmaktadır [5]. Selülozik tabaka (fluff pulp) bezde 5-15 g/m² ağırlığında kullanılır.

1.4.2. Hidrofil Süper Emici Polimerler (SAP)

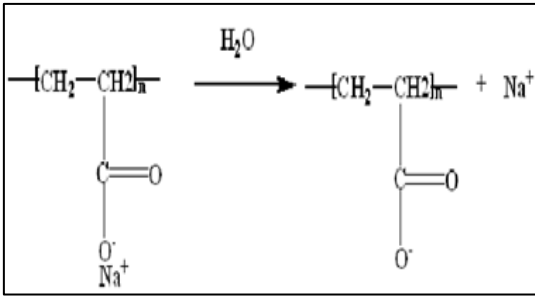
Süper emici malzemeler, hijyen ve kişisel bakım ürünlerinde cildi kuru tutmak amacıyla kullanılan, kendi ağırlığının 100-200 katına kadar sıvıyı içerisine hapseden polimer esaslı malzemelerdir (Şekil 10). Günümüzde kullanılan süper emici polimerler sodyum akrilat, potasyum akrilat ya da alkil akrilat gibi çok küçük partiküllü çapraz bağlı poliakrilat polimerlerdir. Bu polimerler genellikle granül şeklinde kullanılırlar. Daha az odun hamuru kullanımı ve daha iyi performans sağlaması sayesinde daha ince ürünlere izin veren bu polimerler bezin sıvıyı tutma kapasitesini geliştirirler [5].



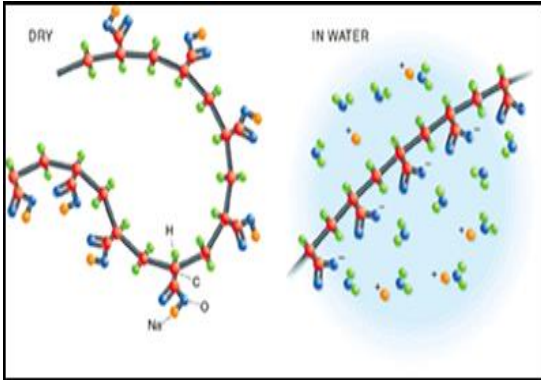
Şekil 10. Süper emici polimerlerin ıslanma öncesi ve sonrası görünümü [8]

SAP, pulp ile aynı ağırlıkta veya odun hamurunun %50-60'ı oranında pede ilave edilir. Bez merkezinin yaklaşık %25-35'i bu polimerlerden oluşup merkezin sıvı hapsedme mekanizması olarak görev yaparlar. Odun hamuru ise bez merkezinin %35'ini oluşturur. En çok kullanılan SAP, sodyum poliakrilat yapısındadır (Şekil 11). SAP suyla temas ettiği zaman Na polimerden

ayrılır ve geride karboksil iyonları kalır. Bu iyonlar, negatif yüklü oldukları için birbirini iter ve böylece polimer, gevşeyerek açılır ve Na atomları tarafından çekilen suyu absorplar (Şekil 12). Polimer aynı zamanda üç boyutlu etkisi veren çapraz bağlara sahiptir. Bir milyondan daha fazla olan yüksek molekül ağırlığından dolayı suyun absorplanmasıyla çözünmek yerine jel halinde katılaşır [5].



Şekil 11. Sodyumpoliakrilat



Şekil 12. SAP Polimerinin su absorplaması

1.5. Arka Tabaka (Backsheet)

Bu tabaka ya polietilen film tabaka ya da son zamanlarda nonwoven film kompoziti şeklindedir. Bezden sıvının sızmasını önler. Özellikle ıslandığında tüm yapının içeriğinde önemli bir rol oynar. Bu kısım beze temasta ilk ele gelen tabaka olup bu nedenle burada yumuşaklık önemli olarak algılanır. Amacına uygun olması için arka tabakanın yeterli sağlamlıkta ve aynı zamanda ince ve bebek hareket ettiğinde hissettirmez olması gereklidir. Arka tabaka, film tabakası üzerine eriyebilen toz yapıştırıcılar (hot melt) veya ısı ve

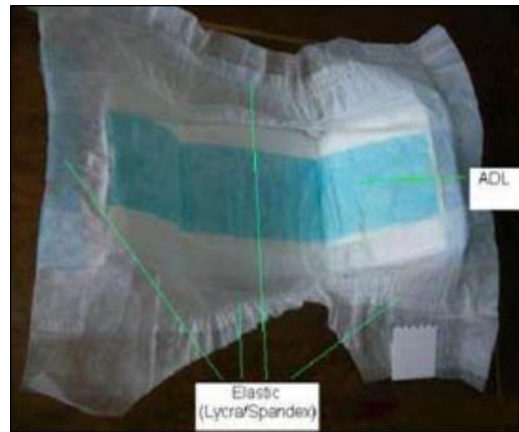
basınç kullanarak polipropilenden yapılmış nonwoven yüzeyin yapıştırılmasıyla kumaş şeklinde de olabilmektedir. Film yerine nefes alan kumaşlar da kullanılabilir. Ancak bu kumaşlar gerçekte dokuma değildir, yine polipropilenden yapılmış nonwoven filmlerdir. Genellikle bezde 14-20 g/m² ağırlığında kullanılır [5].

1.6. Yapıştırıcılar (Adhesives)

Bunlar ped ve lastikler gibi bezin farklı bileşenlerini yapıştırmak için kullanılır. Çoğunlukla arka tabaka (backsheet) ve nonwoven yüzeyleri yapıştırmada normal yapıştırıcılar, bel ve bacak lastiklerini yapıştırmak içinse elastomerik yapıştırıcılar kullanılır. Bez çok ince olduğunda bezin ıslakken mukavemetini artırmak için ped bütünlüğünü sağlayan yapıştırıcı olarak bilinen özel yapıştırıcı kullanılır [5].

1.7. Lastikler (Elastics)

Bezin uygunluğunu geliştirmek için kullanılan lastikler genellikle poliüretan köpük, kauçuk ya da elastandan (likradan) yapılırlar. Bel ve bacak kısımlarında kullanılan bu lastikler aynı zamanda yan kısımlarda ve bantlarda da kullanılabilir (Şekil 13 ve Şekil 14). Çoğu sızdırmaz manşetler bebeğin bacaklarına uyum sağlaması için likrayı kullanmaktadır [5].



Şekil 13. Bezin bel ve bacak kısmında lastik kullanımı [5]



Şekil 14. Yapışkan bantta lastik kullanımı [5]

1.8. Yan Bantlar (Lateral Tapes) ve Ön Bant (Frontal Tape)

Yüksek kaliteli bebek bezlerinde mekanik yollar oluşturmak için kullanılan bu bantlar aynı zamanda 'kancalı bant' olarak bilinir. Bu amaçla polipropilenden yapılmış yapışkan bantlar kullanılır. Arka tabaka yırtılmaksızın yan bantların defalarca eski pozisyonlarına dönmelerini sağlamak için kullanılan ön bant polipropilen filmden yapılır ve bezin ön kısmına yapıştırılır. Ön bant genellikle 45-70 g/m² ağırlığındadır [5].

1.9. Üst Tabakaya Eklenen Losyonlar

Üründe yenilikler yaratmak amacıyla nemlendirici ve güzel koku verici maddeleri içeren losyonlar nonwoven olan üst tabakaya eklenir. Aloe vera, D ve E vitaminleri, vazelin, badem yağı, yulaf ekstraktı, jojoba vs. bunlardan bazılarıdır. Ayrıca üçüncül amonyak ya da gümüş tuzu bileşimleri gibi maddeler de antibakteriyel losyon olarak kullanılmaktadır [5].

1.10. Dekoratif Dış Tabaka

Farklılık yaratmak için bazı bezlerde güncel ya da iyi bilinen karakter resimleri içeren veya yatak çarşaflarına benzer resimler içeren dekoratif filmler kullanılır. Bu kısmın diğer bir işlevi ise ıslaklığı belirtmesidir [5].

Çizelge 1. Başlıca materyal tedarikçileri [9]

Materyaller	Bez Başına Kullanımı		Tedarikçiler
Fluff pulp (odun hamuru)	21 g	N/A	Lenzing, SCA Forest Products
Textile Backsheet (SMS ya da polietilen film)	0,13 m ²	20 g/m ²	Gülsan, General Nonwovens, Pegas, Dunour, Avgol
Topsheet (SS ya da SSS spunbond, thermobond)	0,1 m ²	15 g/m ²	Gülsan, General Nonwovens, Telasis, Pegas, Dunour, Avgol
Leg cuff/ Bariyer (SMS nonwoven)	0,03 m ²	20 g/m ²	Gülsan, Pegas, Dunour, Avgol
Acquisition Layer (ADL)	0,04 m ²	20 g/m ²	Freudenberg, Lyocell, Telasis, Tradegar
Lastikler/Likra	0,13 g	N/A	Dupont, Freudenberg, Radici, Spandex
Frontal Tape (ön bant)	0,25 g	45 g/m ²	Freudenberg, Lyocell, Telasis, Tradegar
SAP	7 g	N/A	Ameol, Atafia, BASF, Bayer, Dow Chemical, Degussa, Lysac
Hot melts	1,2 g	N/A	Bayer, Cognis

Çizelge 1’de dünyada bebek bezi için başlıca materyal tedarikçileri ve bez başına kullanım miktarları verilmiştir. Başlıca Avrupa ve Amerika’da faaliyet gösteren firmaların çoğunlukta olduğu materyal tedarikçilerinde nonwoven ürünlerin tedarikinde Türkiye’den de iki firma ön plana çıkmıştır. Gaziantep’te faaliyet gösteren Gülsan ve General Nonwovens firmaları topsheet, bariyer ve backsheet tedarikinde dünyada oldukça önemli bir konumdadır.

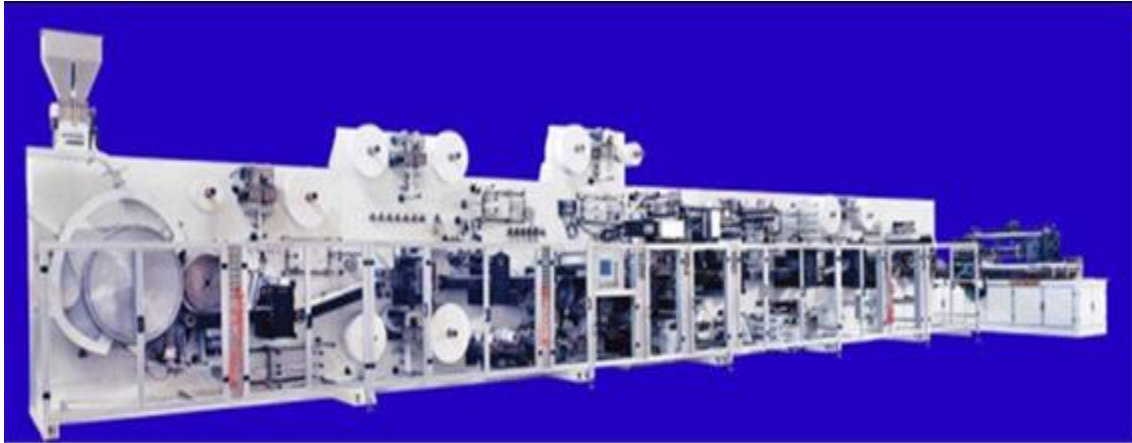
2. BEBEK BEZİ ÜRETİMİ

Atılabilir bezler sürekli işlemlerle üretilir. Bebek bezi makineleri yapılacak ürünün karmaşıklığına ve hıza bağlı olarak genellikle 20–45 metre

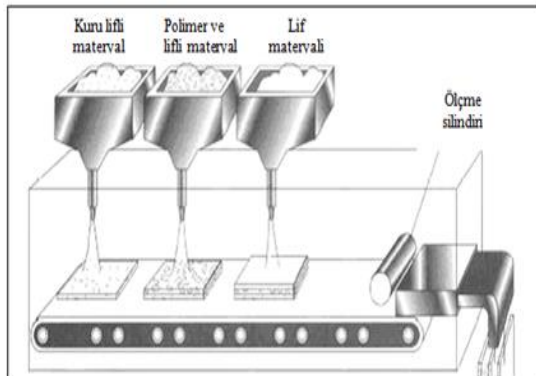
uzunluğundadır (Şekil 15). Tipik üretim aralığı 300–600 çocuk bezi / dakikadır. Ancak bazı büyük şirketlerin makinelerinde 1000 adet / dk ya kadar üretim yapılabilmektedir.

Bezlerin üretiminde 3 temel proses vardır. Bunlar:

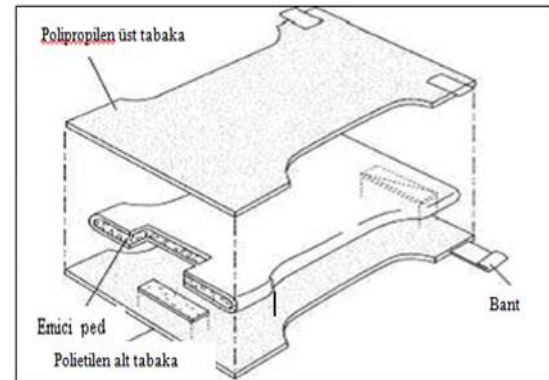
- Odun hamurunu fibrilleştirme (defibrasyon), süper emici polimer (SAP) ekleme ve emici ped oluşumu (Şekil 16).
- Nonwoven yüzeylerin, filmlerin ve lastiklerin laminasyonu (Şekil 17).
- Şekil verme, kesme, katlama ve paketlenme.



Şekil 15. Sürekli bebek bezi makinesi [9]

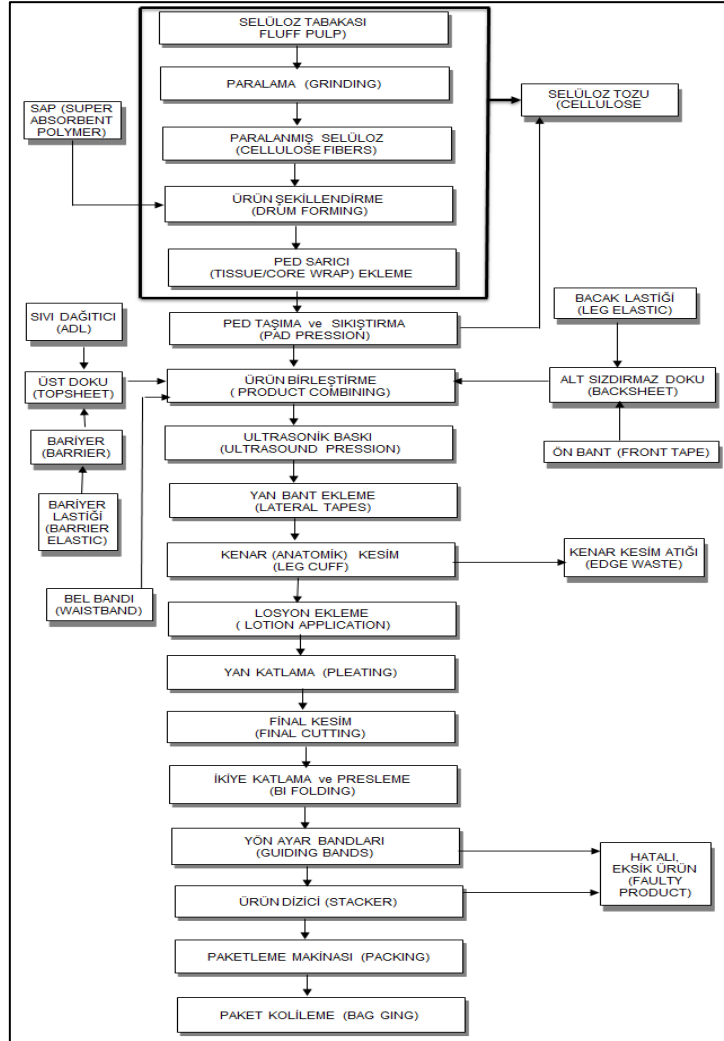


Şekil 16. Bebek bezi üretiminde 1. ana proses [1]



Şekil 17. Bebek bezi üretiminde 2. ana proses [1]

Günümüz modern makinelerinde işlem verilmiş olup, makine kısımları iş akışına göre aşamalarına göre makine bölümleri Şekil 18'de tanıtılacaktır [10].



Şekil 18. Modern bebek bezi üretiminde iş akışı (Fameccanica) [10]

2.1. Selüloz Standı

Stantta bulunan silindire selüloz (pulp) ruloları takılır. Ayrıca paralayıcı üniteye girmeden önce selülozu su ile nemlendirmek için sprej sistemi mevcuttur. Elektronik olarak kontrol edilen stant, tabaka formundaki selüloz hamurunu besler (Şekil 19).



Şekil 19. Selüloz standı [12]

2.2. Paralayıcı Ünite (Pulp Grinder)

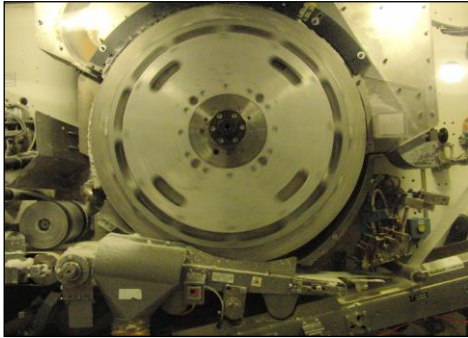
Paralayıcı, besleme silindirinden gelen odun hamurunu kolaylıkla parçalayabilen dişlerle donatılmıştır. Paralayıcı ünite, mukavva halindeki selülozik tabaka didiklenerek 2,4-2,8 mm uzunluğunda liflere dönüştürülür.

2.3. SAP Dozajlama Aplikatörü (Super Absorbent Applicator)

Bezin büyüklüğüne bağlı olarak toz halindeki SAP emicilik için selüloz liflerinin üzerine uygulanır. Bu ünite SAP tozlarının ürün şekillendirme tamburuna direkt olarak istenilen gramajda verilmesini sağlar.

2.4. Ürün Şekillendirme (Drum Forming-Diaper Forming Unit)

Ürün şekillendirici tambur üzerinde muska, üçgen vb. formlarda kalıplar olup paralama ünitesinden gelen selüloz bu kalıplara yerleşir. Kalıbın şeklini alan selüloz üzerine SAP dozajlama ünitesinden gelen SAP eklenerek emici ped oluşumu sağlanır (Şekil 20).



Şekil 20. Ürün şekillendirici tambur (Drum)

2.5. Ped Sarıcı (Tissue/Core Wrap) Ekleme

Tamburdan kalıp halinde çıkan lif ve SAP, tutkallanan alt kumaş doku (tissue) tabakasına taşıyıcı bant üzerinde yerleşir, bu ilerleme esnasında lif ve SAP hapsolacak şekilde üst kumaş doku (tissue) ile üzeri kapatılır. Alt dokunun kenar kısımları üst dokuyu sararak birleştirilen dokular montajlanır (Şekil 21). Bazı durumlarda pedin

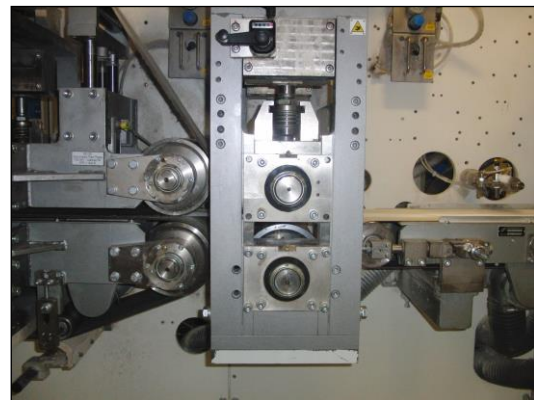
sadece alt kısmı tissue ile kaplanıp pedi ikiye katlamak suretiyle pedin etrafının tissue ile sarılması yapılmaktadır. Yani emici pedin etrafı selülozik kumaş (core wrap) veya kâğıt (tissue wrap) ile çevrelenir. Paralama sırasında ve tissue ile kaplanma sırasında selülozik tabakalardan çıkan toz, uçuntu vb. emiş sistemi vasıtasıyla toz toplama ünitesine gönderilir.



Şekil 21. Emici pedin çevrelenmesi

2.6. Ped Baskı Ünitesi (Pad Pression Unit)

Tissue ile kaplanan emici ped, istenen kalınlığa getirmek için öncelikle baskı silindirlerinden geçirilerek ezilir (Şekil 22). Hemen ardından da baklava dilimi biçimindeki silindirden geçirilerek (Şekil 23) bezde sıvının akışını sağlayan kanallar oluşturulması ve bu sayede sıvının pedin her noktasına eşit dağılması sağlanır. Pedin boyunda ve eninde boyut değişikliği olmaz.



Şekil 22. Baskı silindiri



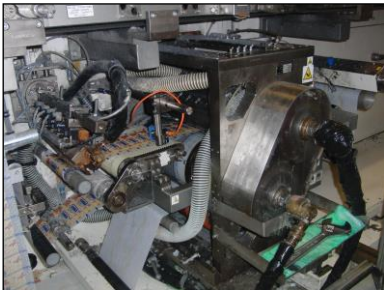
Şekil 23. Sıvı kanalı oluşturan baskı silindiri

2.7. Lastik ve Bant Aplikatörleri (Elastic and Tape Applicators)

Öncelikle ön bant (Şekil 24), kesici ve yer aplikatörü kullanılarak alt sızdırmaz dokuya (backsheet) eklenir. Bu materyalleri yapıştırmak için spreyci formunda veya çok yollu olarak eriyebilen toz yapıştırıcılar (hot melts) kullanılır. Ped çok ince yapıldığından pedi sağlamlaştırmak için özel yapıştırıcılar kullanılır.



Şekil 24. Ön bant



Şekil 25. Ön bant ve alt doku birleşimi

Şekil 25’te görüldüğü gibi ilerleme esnasında ön bant polietilen alt dokunun (backsheet) üst kısmında belirlenen ölçüde kesimi yapılarak yapıştırılır. Bant üzerinde ilerleyen hammadde birleşimine devam ederken üst doku olan topsheet kısım bandın üst tarafındadır. Bu doku üzerinde belirlenen yere tutkallanarak sıvı dağıtıcı katman (ADL) yerleşir. ADL tabakası bezde üst doku (topsheet) ile ped arasında kalacak şekilde üst dokunun alt yüzüne yapıştırılır. Bel ve bacak bölgesine streç formu vermek için lastikler de bu noktada eklenerek eriyebilen toz yapıştırıcılarla (hot melts) yapıştırılır. Bezde kullanılan tipik lastikler likra, poliüretan veya poliester köpüklerdir (Şekil 26).



Şekil 26. Lastik standı

2.8. Alt Doku-Üst Doku-Bariyer Birleştirme için Fiksaj Grubu (Fixing Group for Product Combining)

Hidrofor karakterdeki sızdırmaz alt doku veya polietilen film tabaka (backsheet) pedin altına, düşük yoğunluklu polipropilenden yapılmış SMS nonwoven kılıf (topsheet) ise üstüne eklenir (Şekil 27, Şekil 28).



Şekil 27. Üst doku (Topsheet) standı

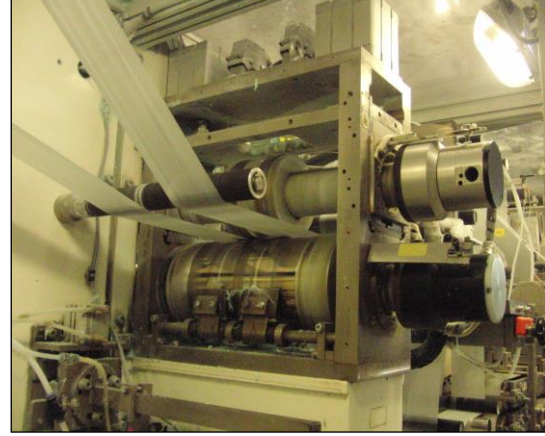


Şekil 28. Alt doku (Backsheet) standı

Hidrofor karakterdeki nonwoven bariyer kumaşı (Şekil 29), standından makineye beslenir. Kenarlarına bariyer lastiği uygulanan bariyer kumaşı ortadan ikiye kesilerek bezin iki tarafına yapıştırılır (Şekil 30).



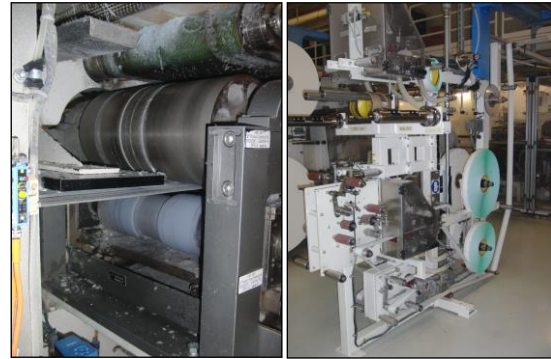
Şekil 29. Bariyer standı



Şekil 30. Bariyer kapama ezmesi

2.9. Ultrasonik Baskı Grubu (Ultrasound Pression) ve Yan Bant Aplikatörü (Lateral Tape Applicator)

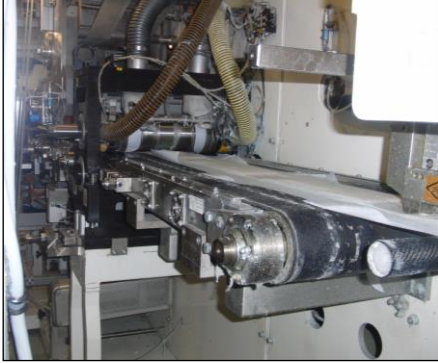
Parçaları birleştirilen bez daha iyi bir sabitleme etkisi için ultrasonik ses sistemi vasıtasıyla sıkıştırılır (Şekil 31). Üretim prosesindeki sonraki adım yan bantların eklenmesidir. Yine kesici ve bant aplikatörü kullanılarak uygulanır (Şekil 31).



Şekil 31. Ultrasonik ses sistemi ve yan bant standı

2.10. Anatomik Bez Kesim Grubu (Anatomic Diaper Cutting Group-Leg Cuff) ve Losyon Ekleme (Lotion Applicator)

Bantlar eklendikten sonra kesim sistemiyle bezin bacak kısımları kesilir ve artıklar vakumlanarak çıkarılır (Şekil 32). Anatomik kesimden sonra bezin orta kısmına losyon eklenir (Şekil 33).



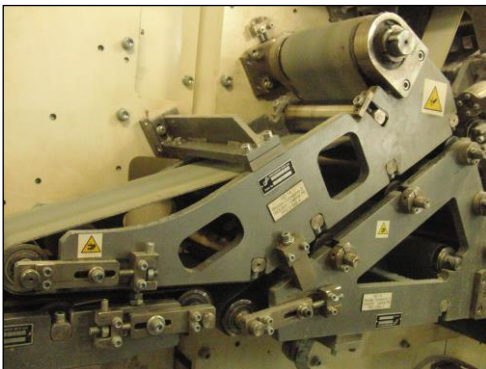
Şekil 32. Anatomik kesim (bacak kesimi)



Şekil 33. Losyon ekleme

2.11. Katlama, Son Kesme ve Presleme Grubu (Pleating, Final Cutting and Pressing Group)

Bezın yan kısımları ortaya doğru katlanır. Ardından her biri bir adet bez oluşturacak şekilde parça kesimi yapılır, sonra ikiye katlanır (Şekil 34) ve kolay ambalajlamak için preslenir.



Şekil 34. Bez katlama

2.12. Yön Ayar Bantları (Guiding Bands)

Üretimi tamamlanan bezlerin kontrolü yapılır. Hatalı veya eksik ürün varsa hatalı ürün bandına yönlendirilir. Hatasız ürün ise stacker ünitesine gönderilir.

2.13. Çıkarma ve İstifleme Grubu (Take Out And Stacking Group)

Bezler otomatik olarak makineden çıkarılır ve stacker (Şekil 35) ünitesinde ürünler dizilir, sayılır ve sıkıştırılarak paketlemeye hazır hale gelir. Ürün kontrolü ile hatalı ürün varsa çıkarılarak pakete girmesi önlenir.



Şekil 35. İstifleme ünitesi (Stacker)

2.14. Bez paketleme ünitesi (Diaper Packing Table)

Bezler kutular veya torbalar halinde paketlenir (Şekil 36).



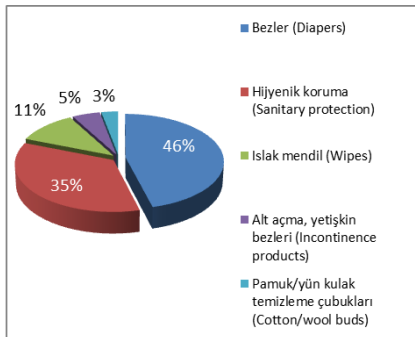


Şekil 36. Bez paketleme

3. PAZAR DURUMU

Küresel hijyenik ürünler; bezler, koruyucu ürünler, ıslak mendiller, alt açma ve yetişkin bezleri ile kulak temizleme çubuklarından oluşur. Yaygın olarak dünyada üretilen hijyenik ürünlerin en büyük kısmını %46 satış oranı ile bezler oluşturmaktadır. Bezleri %35 satış oranı ile koruyucu ürünler izlemektedir. Şekil 37’de hijyenik ürünler açısından pazarı oluşturan ürünlerin satış oranları görülmektedir.

Türkiye’de bebek bezi pazarının büyüklüğü yaklaşık 350-400 milyon Euro olarak hesaplanmaktadır. Türkiye’de ailelerin %84’ü hazır bezi tercih etmektedir. Ancak Avrupa’da günde 4-5 bez tüketilirken Türkiye’de 3 kez alt değiştirilmektedir. Türkiye’de ortalama bez kullanım süresi 27 ay iken bu süre Avrupa’da daha uzun olup en uzun bez kullanım süresi Japonya’dadır. Günlük bez kullanım sayısı yeni doğan bebeklerde günde 8 adet, büyük bebeklerde günde ortalama 4 adet olup bu sayılar yine Avrupa ortalamasının altında kalmaktadır [11].



Şekil 37. Hijyenik ürünlerin pazar payları [12]

Çizelge 2’de dünyada pazara hâkim olan ilk on firma verilmiştir [9]. Söz konusu ilk on firmanın yedisi Çin’de faaliyet gösterirken iki firma Amerika’da bir firma ise Japonya’da faaliyet göstermektedir. ABD kökenli firmalar aynı zamanda Türkiye’de de faaliyette bulunmaktadır.

Çizelge 2. Dünyada başlıca bebek bezi üreticileri

Şirket	Marka	Ülke
Procter&Gamble	Pampers	ABD
Fujian Hengan	An erle	Çin
Unicharm	Mami poko	Japonya
Chiaus	Chiaus	Çin
Kimberly-Clark	Huggies	ABD
Guangdong	YINYIN	Çin
Fuzhou Angel	Daddybaby	Çin
AAB Group	Mignon Baby	Çin
Fujian Hengli Group	Shuang Erbao	Çin
Everybeauty Industrial	Sealar, Xiaotaogu	Çin

Çizelge 3’te ise Türkiye’de faaliyet gösteren bebek bezi üreticileri markaları ve üretim yerinin bulunduğu il ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 3. Türkiye’de başlıca bebek bezi üreticileri [13, 14]

Firma adı	Marka	Yer
P&G	Pampers	Gebze
KC	Huggies	İstanbul
Hayat Kimya	Molfix	İzmit
Ontex	Canbebe	İstanbul
Evyap	Evybaby	İstanbul
SCA Yıldız Grup	Love Baby	İstanbul
Paksel	Bebiko	İstanbul
KC-Ovisan	Pedo	İstanbul
Hazel	Ninni Bebe	Uşak
Eruslu	Sleepy	Gaziantep
Pakten	Önlem /Joyful	Gaziantep
Uderşan	Confy Baby	Gaziantep
Sevinçler Group	Giggles	Gaziantep
GBG	Bunny baby, Twins baby	Gaziantep
Aksan	Smart baby, Pudy baby	Gaziantep
Tat Kimya	Babydex	Gaziantep
Damlanur Tekstil	Slasi, Neno, Elvis baby	Gaziantep

Çizelge 4’te Türkiye’nin bebek bezi ihracatında ilk on sırayı alan ülkeler ve satış rakamları dolar cinsinden verilmiştir. Çok büyük bir farkla en fazla ihracatın Irak’a yapıldığı görülmektedir. Irak’a yapılan ihracat, her yıl yaklaşık %20-50 oranında bir artış göstermiştir. 2013 yılı itibarıyla Irak’ı Azerbaycan ve Mısır birbirine yakın rakamlarla izlemektedir. Çizelgeye göre Ukrayna, İsrail ve G.

Afrika'ya yapılan bebek bezi ihracatı yıllar itibariyle gitgide azalırken diğer ülkeler inişli çıkışlı bir grafik sergilemektedir. Nijerya ve

Tacikistan'a 2012 yılında başlayan ihracatın yüksek olması ve artan eğilim göstermesi dikkat çekmektedir.

Çizelge 4. Türkiye bebek bezi ihracatı [15]

Ülke	2008 (\$)	2009 (\$)	2010 (\$)	2012 (\$)	2013 (\$)
Irak	54.655.245	81.565.766	127.509.413	171.574.000	202.061.483
Azerbaycan	19.350.570	21.842.793	25.245.994	28.979.000	49.221.944
Mısır	3.379.651	9.775.032	11.934.279	61.577.000	45.440.685
Gürcistan	10.193.949	13.227.830	12.377.443	15.009.000	25.876.175
Nijerya	-	-	-	9.673.206	20.174.041
Tacikistan	-	-	-	17.100.000	19.619.267
Rusya	21.950.529	30.522.478	25.005.638	14.346.000	19.453.003
Ukrayna	17.642.105	20.071.427	17.841.763	5.701.764	6.464.462
İsrail	20.135.181	17.241.600	24.343.991	6.777.261	6.006.970
G. Afrika	17.414.235	10.732.815	11.098.541	5.520.000	4.161.531

4. SONUÇ

Tek kullanımlık hijyenik ürünlerin en başında bebek bezleri gelmektedir. Bebek bezleri, bebeklerin sağlığı ve rahatlığı açısından uygun yapıda olmalıdır. Bu nedenle bebek bezi ile ilgili son çalışmalar bebeğin sağlığını koruma ve konforunu artırma açısından kullanılabilecek hammaddeler üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle emicilik üzerine yapılan çalışmalar ağırlık kazanmıştır.

Günümüzde bebek bezleri başlıca üst tabaka, emici tabaka ve alt tabaka olmak üzere çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu ürünlerde dokunmamış yüzey tekstillerin kullanımı, önemli derecede artmakta ve gelişmektedir. Bebek bezi üretimi, bezin tabakalarının belirli bir sıraya göre birleştirildiği ve bezde istenen özellikleri sağlayacak şekilde üniteler içeren sürekli makinelerde yapılmaktadır.

Türkiye'de bebek bezi üretimi İstanbul çevresi ile Gaziantep'te yoğunlaşmış olup Irak başta olmak üzere birçok ülkeye ihracatı yapılmaktadır. Bezde kullanılan dokunmamış (nonwoven) yüzeylerin üretiminde Gülsan ve General Nonwovens gibi ülkemizdeki bazı firmalar dünyada üst sıralarda yer almaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. www.edana.org (Erişim tarihi: 10.01.2014).
2. Annapoorani, S.G., Nivedha, R.B., Devi, S.Y., 2016. Development of Disposable Baby Diaper with Microencapsulated Natural Fragrance

Finish. International Journal of Applied Research 2(7): 685-687.

3. Qian, C., 2011. A New Non-woven Material and its use in Functional Baby Diapers. Research Journal of Textile and Apparel, Vol. 15 Iss: 1, pp.66-71.
4. <http://esatjournals.net/ijret/2014v03/i23/IJRET20140323041.pdf>, (Erişim tarihi: 25.10.2016).
5. Nagaswana, R., Overview of Disposable Diaper Parts and Their Purpose, www.fibre2fashion.com/industry-article/pdffiles/12/1124.pdf.
6. <http://qzniso.en.made-in-china.com/product/ZKREbtdTZBkR/China-Diaper-SSS-Nonwoven-for-Top-Sheet-with-SGS-BM-001-.html> (Erişim tarihi: 25.10.2016).
7. <http://www.jjyoso.com/product/fluff-pulp/> (Erişim tarihi: 25.10.2016).
8. <http://www.ecvv.com/product/3106279.html> (Erişim tarihi: 25.10.2016).
9. www.disposablediaper.net (Erişim tarihi: 14.01.2014).
10. Fameccanica Katalog ve İşletme Verileri.
11. <http://www.cbmeturkey.com/tr/genel-bilgiler/sektöre-genel-bakis>
12. www.nonwovens-industry.com (Erişim tarihi: 19.01.2014).
13. www.alibaba.com (Erişim tarihi: 20.01.2014).
14. Anonim.
15. www.tuik.gov.tr

Simulation of Urban Electric Vehicle Transport and Charging Station Implementation at Çukurova University

Mehmet Uğraş CUMA^{*1}, Adil Hakan CENGİZ¹, Mehmet TÜMAY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 10.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

Energy consumption is increasing gradually with worldwide industrialization. This increase creates a high demand for production which depends on mostly fossil fuels. The use of fossil fuels leads to environmental pollution. Additionally, remaining reserves are limited. Internal combustion engine (ICE) vehicles are the most widely used vehicles worldwide and there is an enormous amount of fossil fuel consumption by them. Furthermore emissions released to nature by these vehicles are pollutants and they are big chink in our nature's armor. Because of these reasons, nowadays the demand for electric vehicles (EV) is increasing as an alternative form of transportation. Thus, EVs put themselves forward. In this paper, a charging station infrastructure for commercial electric vehicles used in public and their integration to an existing system is studied that intended to be used in university in near future. Case studies are examined and their results are compared.

Keywords: University charging station, Urban electric vehicle, Battery charging, Grid integration

Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu

Öz

Dünya çapındaki endüstriyelleşme enerji tüketiminin giderek artmasına sebep olmuştur. Artan bu tüketim fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıt tüketimi ise çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Buna ek olarak dünya fosil yakıt rezervleri ise giderek azalmaktadır. İçten yanmalı motorlu taşıtlar dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan taşıtlardır ve büyük miktarlarda fosil yakıt tüketmektedirler. Dahası bu araçlardan çevreye yayılan emisyonlar doğaya büyük oranda zarar vermektedirler. Bu sebeplerden ötürü, günümüzde elektrikli araçlara olan ilgi artmış ve taşımacılık sektöründe alternatif bir çözüm olarak elektrikli araçlar öne çıkmışlardır. Bu makalede, yakın gelecekte üniversitede kullanılması öngörülen elektrikli araçlar için şarj istasyonu altyapısı ve bu altyapının var olan sisteme entegrasyonu çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üniversite şarj istasyonu, Kentsel elektrikli araç, Batarya şarjı, Şebeke entegrasyonu

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Uğraş CUMA, mcuma@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Demand for energy is increasing gradually with worldwide industrialization. As well as industrialization, there are plenty of reasons such as population growth, inefficient usage of resources, technological developments, etc. which increase consumption of energy significantly. The increase in consumption of energy creates a big amount of demand for production which is supplied almost exclusively by fossil fuels. Fossil fuels, which are known as petroleum, natural gas and coal, are hydrocarbon-containing fuel. According to the recent data published in mid-2014, there are petroleum reserves 892 billion tons of coal, 186 trillion cubic meters of natural gas, and 1688 billion barrels of crude oil. These numbers seems to be huge at a glance, but taking into account today's level of extraction proved reserves of coal will be exhausted in approximately 110 years, reserves of natural gas will be exhausted in approximately 55 years, reserves of crude oil will be exhausted in approximately 50 years [1].

In our daily lives, the urban transport is where we often encounter without being aware of these issues. Although urban transport is a daily routine, it has a big role in our lives. The main problems related to urban transport can be summarized as air pollution, noise, energy use, and lack of mobility for the poor. In today's conditions, most important problems are the energy consumption and environmental factors. Urban transport system is the major consumption of carbon-based fuels, and it is increasingly being highlighted as the sector which contributes least to CO₂ emission reduction targets [2]. Transport sector's fuel mix is dominated by liquid fossil fuels [3]. The urban transportation sector worldwide relies almost exclusively on petroleum fuels.

Since fossil fuel resources are running out and damage caused by fossil fuels to the nature are considered, alternative energy sources are of a great importance. Some of the studies in literature, point to renewable energy resources in order to reduce fossil fuel dependence substantially [4-7]. Apart from these studies, electric vehicle topic is

another work field for reducing fossil fuel dependence. Considering the worldwide number of internal combustion vehicles, enormous amount of fossil fuel consumption is threatening. Given that electric vehicles will take internal combustion vehicles places, there will be a remarkable amount of reduction in the usage of fossil fuels. In addition to this, electric vehicles are clean, silent and simple to operate, electric motors has a constant relationship of torque to revolutions per minute (RPM), and features like regenerative breaking, etc. Thus, electric vehicles have more advantages when they are compared to internal combustion vehicles.

Today, the demand for electric vehicles is increasing. Manufacturers have focused their research and development activities on the electric vehicles. The number of electric vehicles on the market is increasing day by day. Therefore, the electric vehicle infrastructure technologies are also being developed. Some of the technology infrastructures are as follows: battery systems, communications, network integration, charging systems.

Electric vehicles have various options for recharging their batteries and charging stations are has been considered as the major source of energy. Since charging stations are prime source of energy, their whereabouts in a city are very crucial. So any EV can be able to simply access a charging station. Thus, charging stations must be pervasive and common. Additionally, location of a charging station is an important issue in this topic. In order to solve this issue deterministic and probabilistic algorithms are improved [8].

As a result, the purpose of this study is to examine electric vehicle infrastructure technology in the charging systems and network integration issues. Two of the most important electric vehicle simulation building blocks are battery charging systems and charging stations. Application of this simulation in a university campus is studied. Additionally, in this study, issues like "The current drawn by the system while electric vehicle is charging", "Whether the infrastructure is adequate or not", "In which places new infrastructure

systems will be needed when installed infrastructure is not sufficient”, etc. are examined. The rest of the paper is organized as follows. First, in Section II the system model and its abstract simulation model are described. In Section III, case studies and related results are given. In Section IV the results of the system are discussed, and finally paper is concluded in Section V.

2. MODELING OF FAST DC CHARGER

In this chapter, design and parameters of the Çukurova University’s grid, charging circuits,

charging methods and battery parameters will be described. Design of the grid simulation is made on the Çukurova University’s one line diagram (Figure 1) and includes actual values. Parameter values that used in simulation are also actual values too. Most basic aim of this simulation is to establish an electric vehicle infrastructure. Afterwards, by replacing the internal combustion engine vehicles that plying to Çukurova University with electric vehicles, it’s aimed to reduce green-gas emissions (zero-emission by EVs, and less green-gas emissions by ICE), reduce the negative environmental effects and increased energy efficiency.

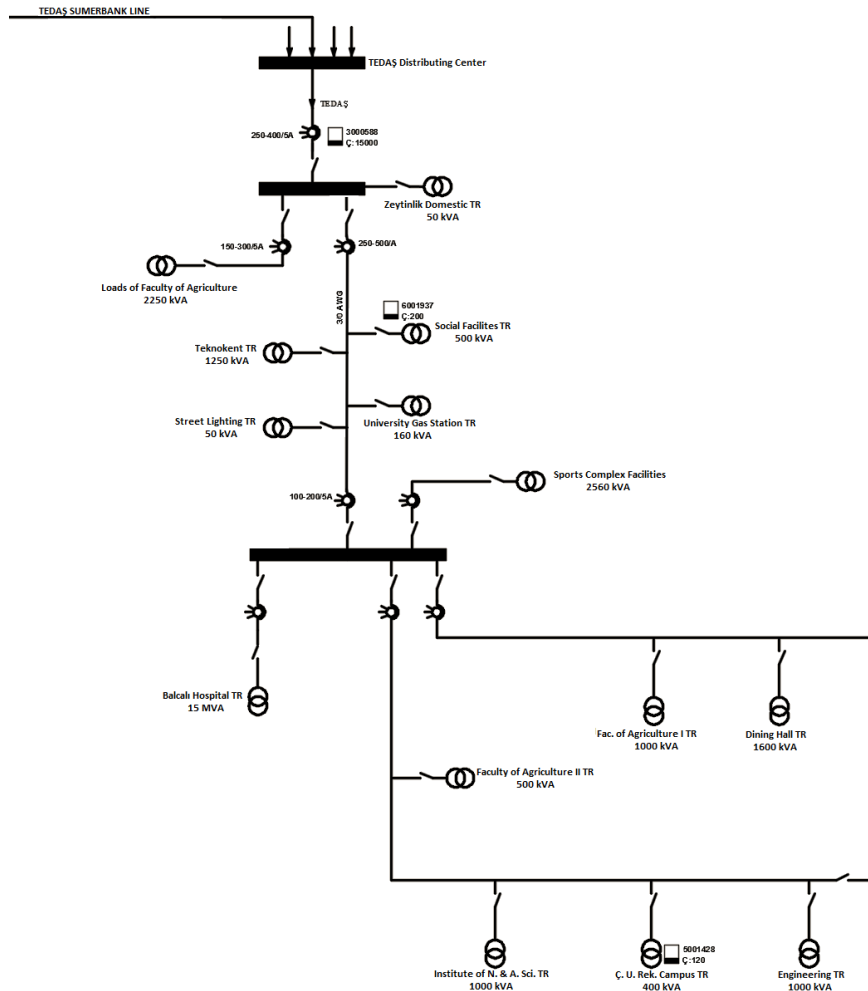


Figure 1. Main theme of HV-LV one line diagram of Çukurova University

Since, grid is simulated on a HV/LV single line diagram of the Çukurova University together with the loads, all transformers used in this simulation are simulated with their actual values. All transformers are 33.5 kV/400 V power transformers. All RL blocks seen before the every transformer block represents the voltage drop of the relevant transformer. These RL blocks' values

are calculated according to the type of cables used and the distance between transformers and the main supply (Figure 2). Proper places for charging stations are envisaged to be on the road in front of the Food Engineering Department of the Faculty of Agriculture which is closer to Faculty of Agriculture 1 Transformer and will be supplied by Faculty of Agriculture 1 Transformer.

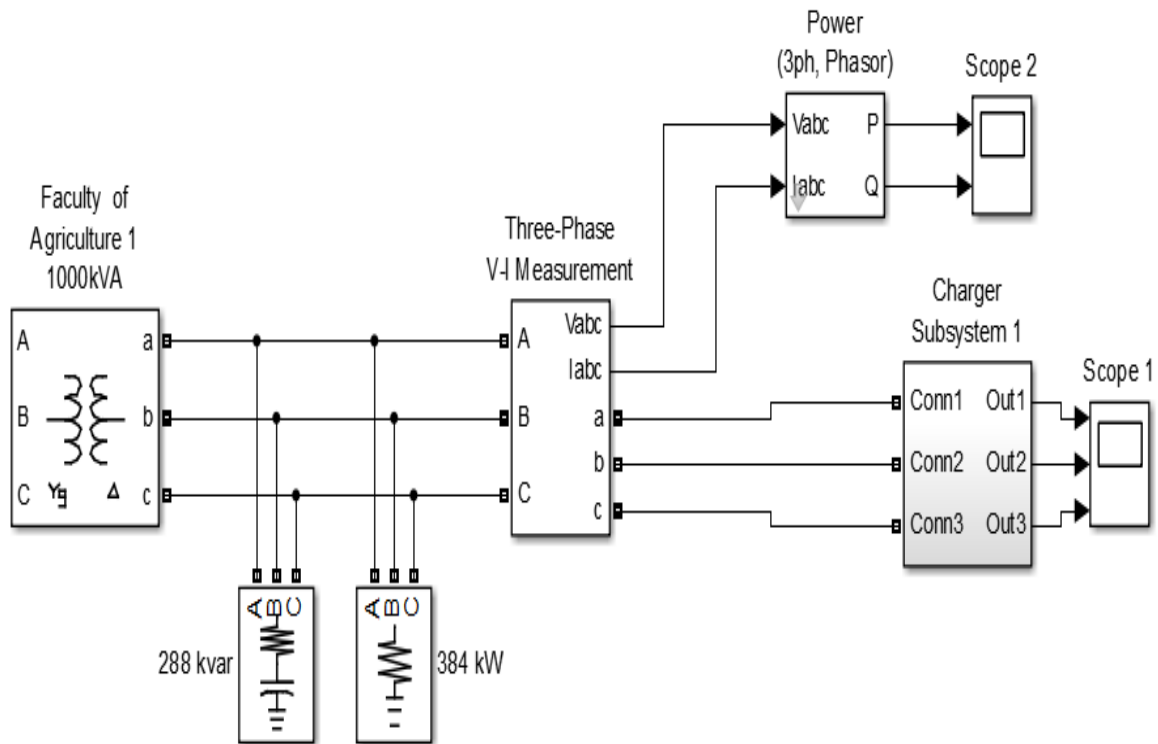


Figure 2. Grid integration and charger circuit diagram in MatLab/Simulink

3. CASE STUDIES

In this chapter, several case studies on different charging scenarios are introduced. These scenarios consist of inclusion of electric vehicles (EV) to the existing bus lines plying to Çukurova University.

Among 18 bus lines plying to Çukurova University, 10 lines are chosen and any chosen line is considered to have only one EV included. In any bus line, it is assumed to have X number of internal combustion engine (ICE) buses. Thus, any chosen bus line has X+1 number of vehicles. In the

scenario, while EV is plying its route, one ICE vehicle removed from the fleet and added again while EV is charging its battery. Thus, in total there will always be X number of busses plying in order to serve to the public.

Selection of bus lines that are plying to the Çukurova University are performed by taking into account the criteria such as emphasis, intensity, and length of course (e.g. route of line 192 is about 125 km long which overcomes the battery's maximum capacity). EVs' plying hours, charging

hours and daily total plying times are given in the Table 1.

Table 1. Bus lines, routes, plying hours, and charging times

Bus Line No	113	116	121	122	133
Route -SOC	30 km - 50% SOC	45 km - 75% SOC	40 km - 66% SOC	50 km - 80% SOC	45 km - 75% SOC
1. tour	06:15-08:15	06:23-08:30	07:30-09:30	06:00-08:00	07:10-09:10
Charge	08:15-09:05	08:30-09:45	09:30-10:40	08:00-09:20	09:10-10:25
2. tour	09:15-11:15	10:13-12:15	11:30-13:30	10:00-12:00	10:28-12:30
Charge	11:15-12:05	12:15-13:30	13:30-14:40	12:00-13:20	12:30-13:45
3. tour	12:15-14:15	14:03-16:00	15:30-17:30	14:00-16:00	13:46-15:45
Charge	14:30-15:20	16:00-17:15	17:30-18:40	16:00-17:20	15:45-17:00
4. tour	15:25-17:25	17:53-20:00	-	18:00-20:00	17:04-19:04
Charge	17:25-18:15	-	-	-	-
5. tour	18:15-20:15	-	-	-	-
Charge	-	-	-	-	-
Bus Line No	135	154	155	156	160
Route -SOC	25 km - 45% SOC	22 km - 36% SOC	35 km - 60% SOC	40 km - 66% SOC	45 km - 75% SOC
1. tour	10:00-12:00	06:00-08:00	08:00-10:00	08:05-10:05	06:54-09:00
Charge	12:00-12:45	08:00-08:40	10:15-11:15	10:05-11:15	9:00-10:15
2. tour	13:00-15:00	09:00-11:00	11:30-13:30	12:05-14:00	10:30-12:30
Charge	15:00-15:45	11:00-11:40	13:30-14:30	14:00-15:10	12:45-14:00
3. tour	16:00-18:00	12:00-14:00	15:00-17:00	16:05-18:00	14:06-16:10
Charge	18:00-18:45	14:00-14:40	17:00-18:00	18:00-19:05	16:10-17:25
4. tour	19:00-21:00	15:00-17:00	18:30-20:30	19:05-21:00	17:42-19:45
Charge	-	17:15-17:55	-	-	-
5. tour	-	18:00-20:00	-	-	-
Charge	-	-	-	-	-

In this paper, 5 cases are investigated in order to examine the existing system in detail and to see the effects of the proposed infrastructure on the actual system, gradually. These cases are:

- Case 1: 2 bus lines connected to grid,
- Case 2: 4 bus lines connected to grid,
- Case 3: 6 bus lines connected to grid,
- Case 4: 8 bus lines connected to grid,
- Case 5: 10 bus lines connected to grid.

3.1. Case 1: One Charging Station with Two Electric Vehicles

First bus line among the chosen bus lines is line 154. In line 154, every vehicle completes its tour in 60+60 minutes (from departure to arrival). First EV in the morning starts its route at 06:00, plying ends at 08:00 and connects to charging station. A battery's charging time takes up to 100 minutes

(from 0% to 100%). In line 154, after completing a full route, 36% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 35-40 minutes of charging will be required. This calculation can be basically described as; a full route's distance (in km) divided by maximum distance traveled (in km) with a fully charged battery. Based on this information, it will take up to forty minutes for an EV to join the fleet again after recharging its battery to the state of 100% SOC. Next plying will take place forty minutes ahead of beginning of the recharging process. So, EV will be active in fleet again at 09:00. When EV is in fleet, an ICE vehicle will be discarded again. If this loop continues in that way, EV in line 154 will be active in fleet at 12:00, 15:00 and 18:00. Since last plying takes place at 19:00, EV in line 154 makes 5 plyings during the day. Second bus line among the chosen bus lines is line 135. In line 135, every vehicle completes its tour

in 60+60 minutes (from departure to arrival). First EV in the morning starts its route at 07:00, plying ends at around 09:00 and connects to charging station. In line 135, after completing a full route, 45% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 45 minutes of

charging will be required. EV in line 135 will be active in fleet at 10:00, 13:00, 16:00 and 19:00. Since last plying takes place at 19:00, EV in line 135 will be made 5 plyings during the day. Time periods of charging for case 1 are shown in Figure 3.

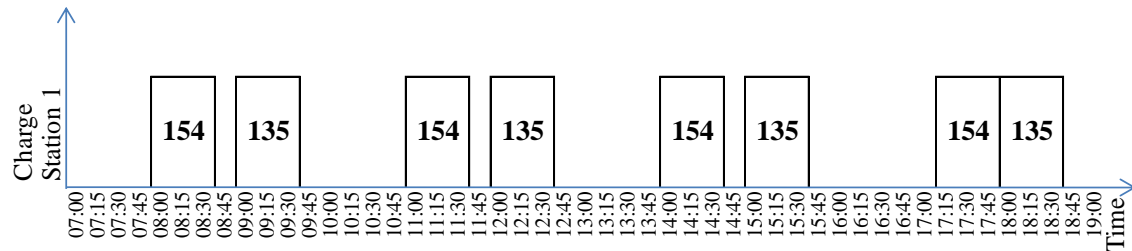


Figure 3. Charging periods of the proposed bus lines in case 1

3.2. Case 2: Two Charging Stations with Four Electric Vehicles

Additional 2 lines to Case 1 will be added to scenario. First added bus line is line 122. First EV in the morning starts its route at 06:00, plying ends at around 08:00 and connects to charging station. In line 122, after completing a full route, 80% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 80 minutes of charging will be required. EV in line 122 will be active in fleet at 10:00, 14:00 and 18:00. Since last plying takes place at 18:00, EV in line 122 will be made 4 plyings during the day.

Second added bus line is line 121. In line 121, every vehicle completes its tour in 60+60 minutes (from departure to arrival). First EV in the morning starts its route at 07:30, plying ends at around 09:30 and connects to charging station. In line 121, after completing a full route, 66% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 65-70 minutes of charging will be required. EV in line 121 will be active in fleet at 11:30 and 13:30. Since last plying takes place at 18:30, EV in line 121 will be made 3 plyings during the day. Time periods of charging for case 2 are shown in Figure 4.

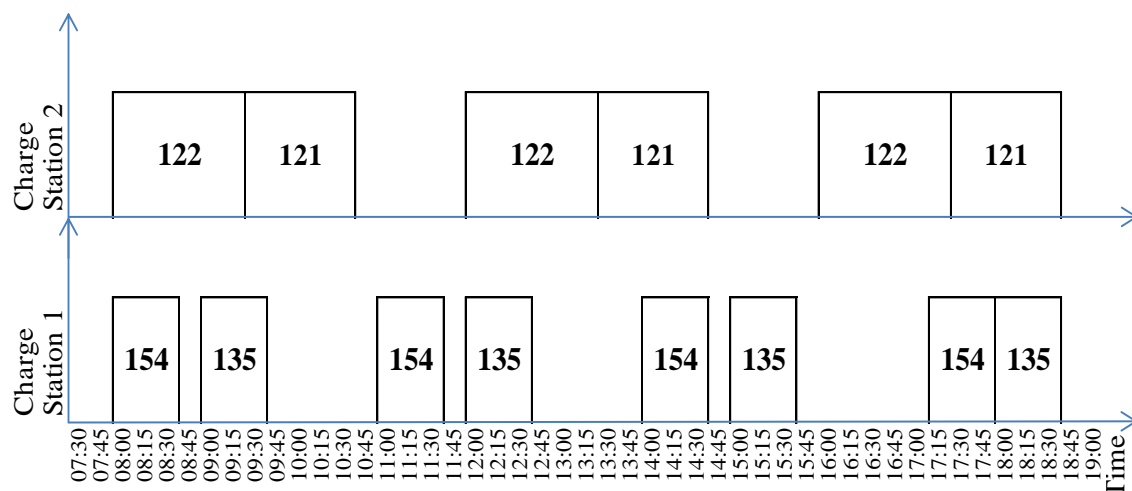


Figure 4. Charging periods of the proposed bus lines in case 2

3.3. Case 3: Three Charging Stations with Six Electric Vehicles

Additional 2 lines to Case 2 will be added to scenario. First added bus line is line 113. In line 113, every vehicle completes its tour in 60+60 minutes (from departure to arrival). First EV in the morning starts its route at 06:15, plying ends at 08:15 and then connects to charging station. In line 113, after completing a full route, 50% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 50 minutes of charging will be required. EV in line 113 will be active in fleet at 09:15, 12:15, 15:25 and 18:15. Since last plying takes place at 19:00, EV in line 113 makes 5 plyings during the day.

Second added bus line is line 133. First EV in the morning starts its route at 07:10, plying ends at around 09:10 and connects to charging station. In line 133, after completing a full route, 75% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 75 minutes of charging will be required. EV in line 133 will be active in fleet at 10:28, 13:46 and 17:04. Since last plying takes place at 17:04, EV in line 133 will be made 4 plyings during the day. Time periods of charging for case 3 are shown in Figure 5.

3.4. Case 4: Four Charging Stations with Eight Electric Vehicles

Additional 2 lines to Case 3 will be added to scenario. First added bus line is line 116. In line 116, every vehicle completes its tour in 60+60 minutes (from departure to arrival). First EV in the morning starts its route at 06:23, plying ends at around 08:30 and connects to charging station. In line 116, after completing a full route, 75% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 75 minutes of charging will be required. EV in line 116 will be active in fleet at 10:13, 14:03 and 17:53. Since last plying takes place at 19:25, EV in line 116 will be made 4 plyings during the day.

Second added bus line is line 156. First EV in the morning starts its route at 08:05, plying ends at around 10:00 and connects to charging station. In line 156, after completing a full route, 66% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 65-70 minutes of charging will be required. EV in line 156 will be active in fleet at 12:05, 16:05 and 19:05. Since last plying takes place at 19:05, EV in line 156 will be made 4 plyings during the day. Time periods of charging for case 4 are shown in Figure 6.

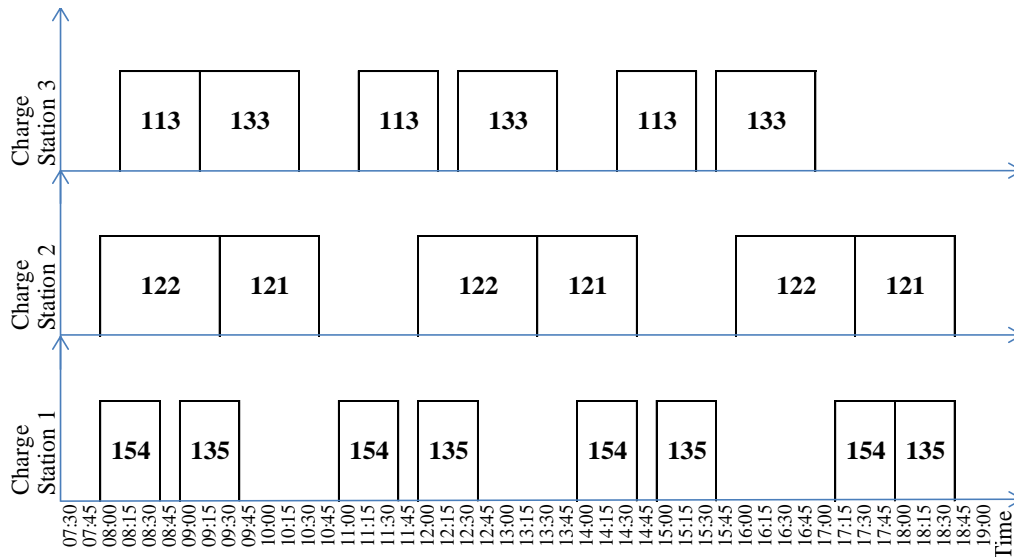


Figure 5. Charging periods of the proposed bus lines in case 3

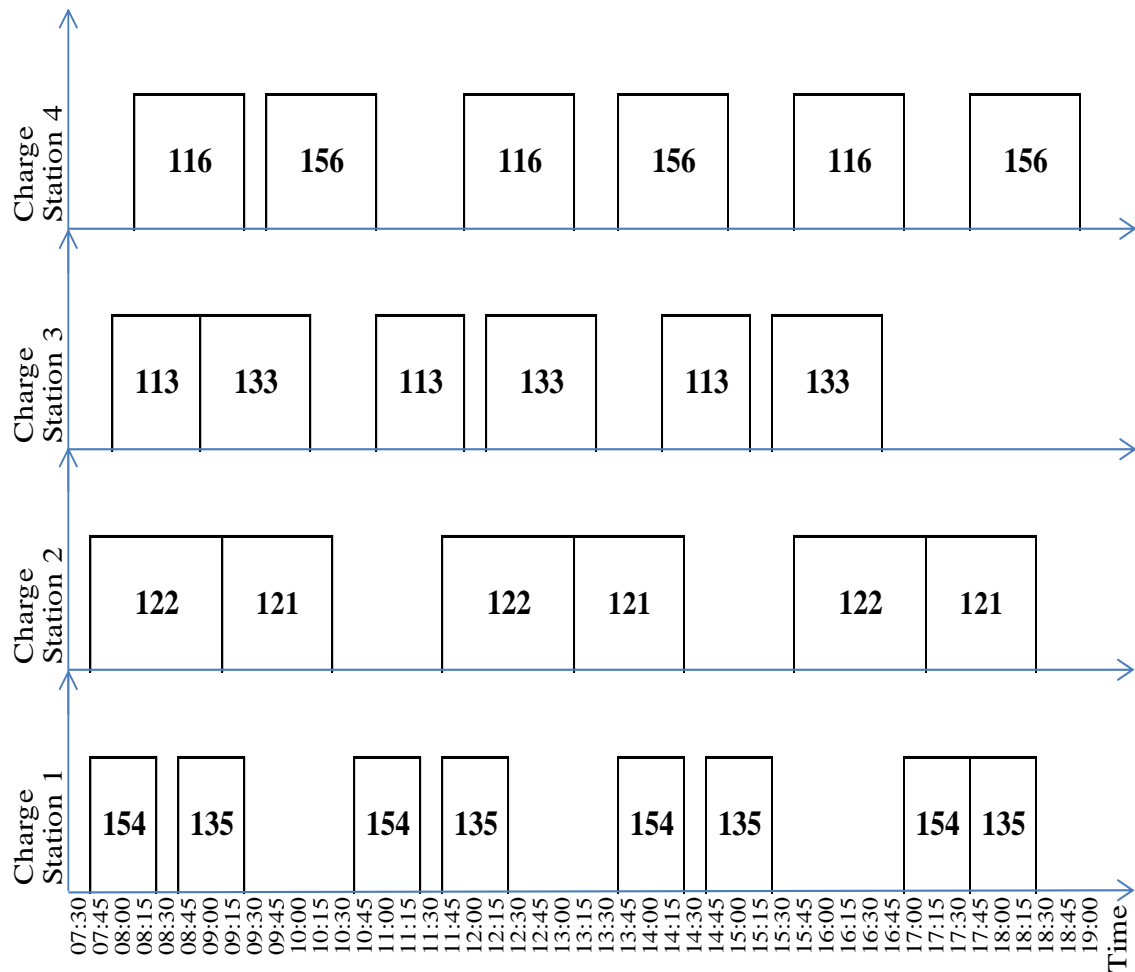


Figure 6. Charging periods of the proposed bus lines in case 4

3.5. Case 5: Four Charging Stations with Ten Electric Vehicles

Additional 2 lines to Case 4 will be added to scenario. First added bus line is line 155. First EV in the morning starts its route at 08:00, plying ends at around 10:00 and connects to charging station. In line 155, after completing a full route, 60% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 60 minutes of charging will be required. EV in line 155 will be active in fleet at 11:30, 15:00 and 18:30. Since last plying takes place at 19:30, EV in line 155 will be made 4 plyings during the day.

Second and the last added bus line to the scenario is line 160. First EV in the morning starts its route at 06:54, plying ends at around 09:00 and connects to charging station. In line 160, after completing a full route, 75% SOC will be used and in order to replenish the missing SOC approximately 75 minutes of charging will be required. EV in line 160 will be active in fleet at 10:30, 14:06 and 17:42. Since last plying takes place at 19:30, EV in line 160 will be made 4 plyings during the day. Time periods of charging for case 5 are shown in Figure 7.

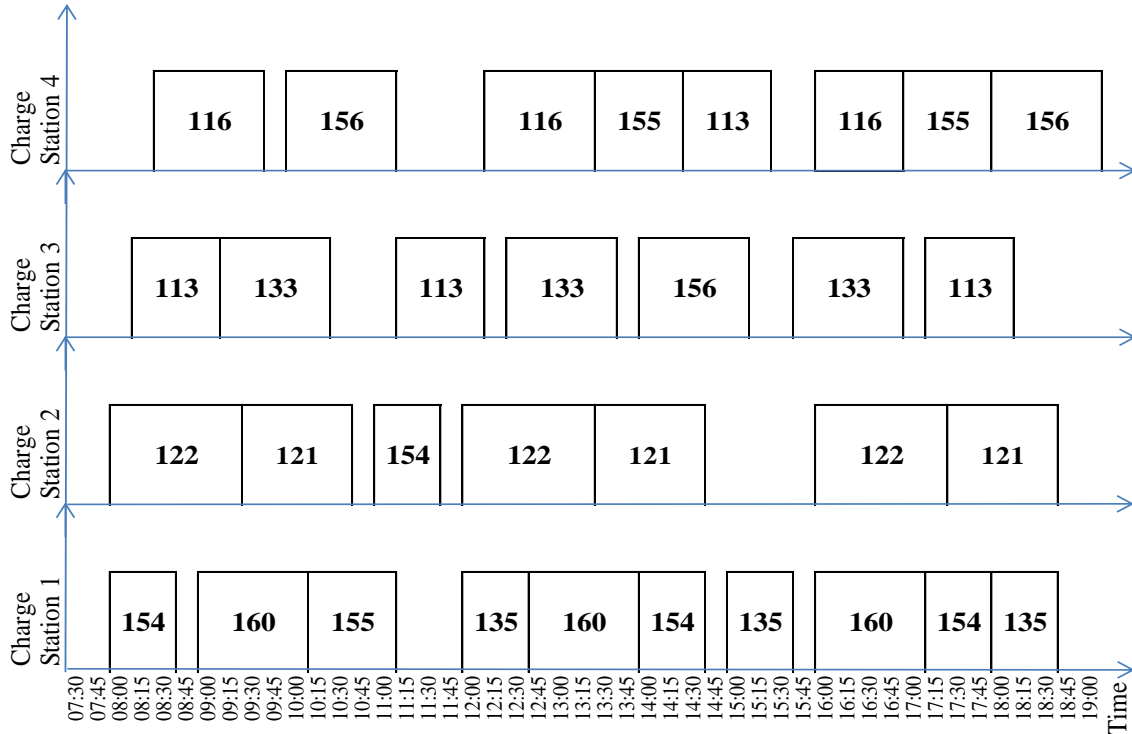


Figure 7. Charging periods of the proposed bus lines in case 5

4. RESULTS OF CASE STUDIES

The performance and effectiveness of the proposed system is tested with different case studies. In this study 5 different cases are examined. Since the last case (Case 5) is the busiest scenario, where the grid is affected mostly by EVs and charging stations, results of this case that are given in previous chapter are very important. When these results are examined it can be clearly seen that neither main supply nor balcalı hospital transformer is affected by our proposed charging circuit. Faculty of agriculture 1 transformer's voltage graphic is also stable. Only faculty of agriculture 1 transformer's current graphic has little fluctuations. Thus, this result led us to investigate its harmonic values.

4.1. Total Harmonic Distortion (THD) Analysis

The summation of all harmonics in a system is known as total harmonic distortion (THD). THD, in mathematical terms, can also be defined as the

root mean square (RMS) value of the total harmonics of the signal, divided by the RMS value of its fundamental signal.

The THD has a null value for a pure sinusoidal voltage or current. In MatLab–Simulink simulation the THD block computes the total harmonic distortion of a periodic distorted signal. The signal can be measured as both voltage and current.

In the study, case 5 is the busiest scenario among all scenarios. Thus, THD results of the case 5 are predicted to have the worst distortion values. THD values for both current and voltage are very small at the Main Supply, which are between 0.1-0.3% THD. THD values for both current and voltage are very small at the Balcalı Hospital Transformer, which is between 0.1-0.6% THD. Voltage and THD values for voltage are very small at the Faculty of Agriculture 1 Transformer, which is 0.1% THD (Figures 8-9), and for current are also admissible, which is between 4.4-4.45% THD (Figures 10-11).

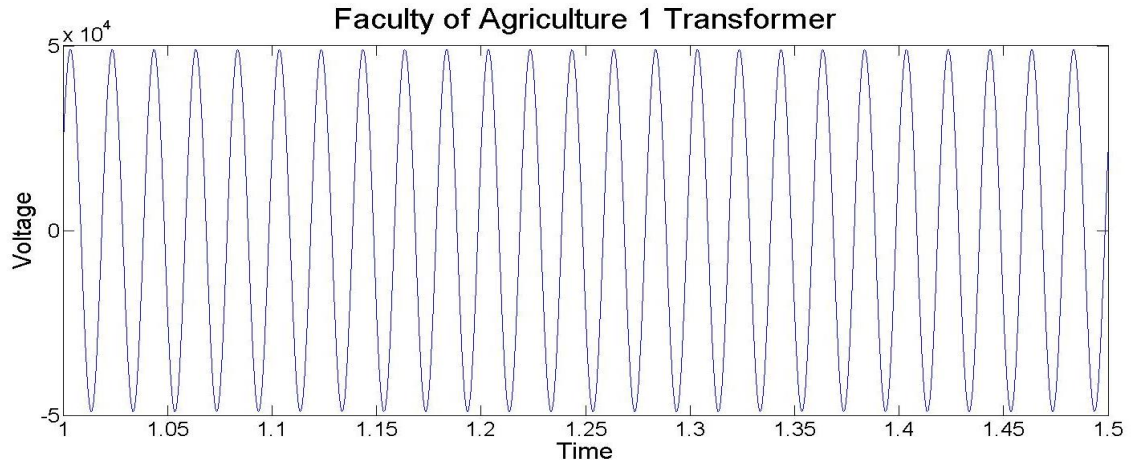


Figure 8. Faculty of agriculture 1 transformer voltage for busiest scenario (Case 5)

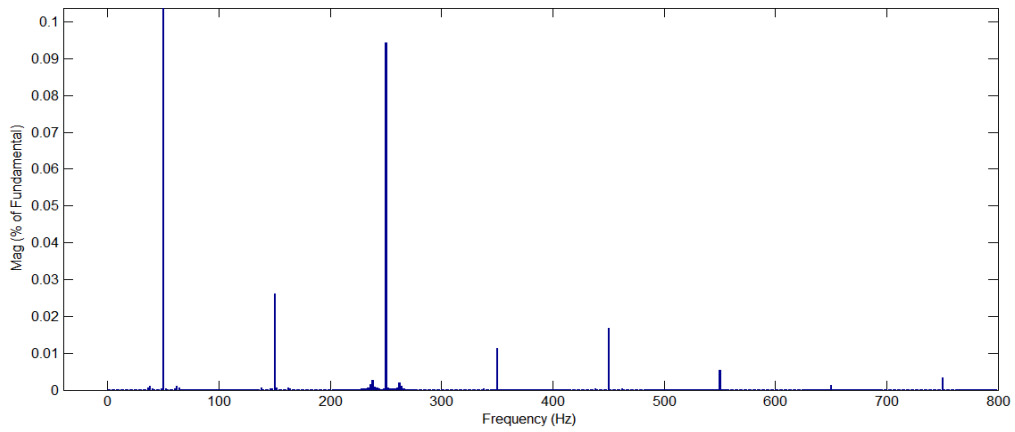


Figure 9. Voltage THD of faculty of agriculture 1 transformer for worst scenario (Case 5)

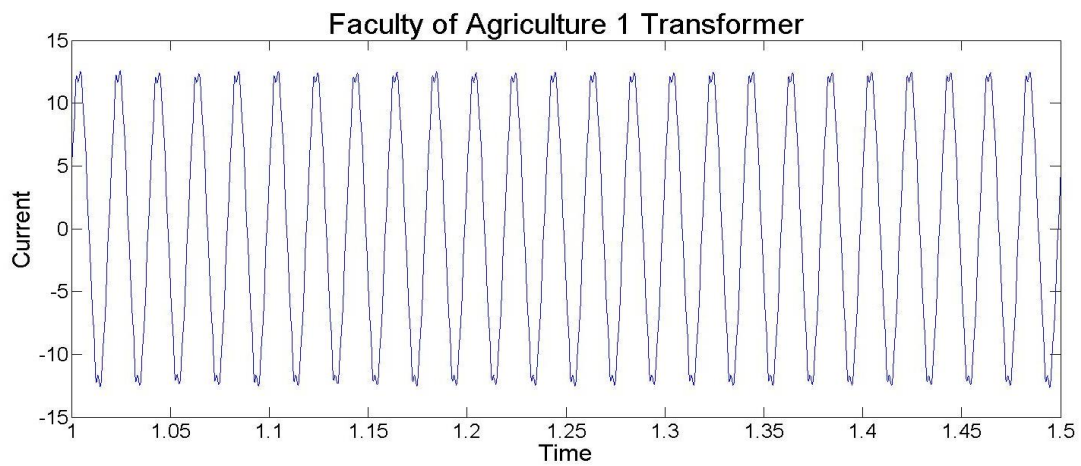


Figure 10. Faculty of agriculture 1 transformer current for busiest scenario (Case 5)

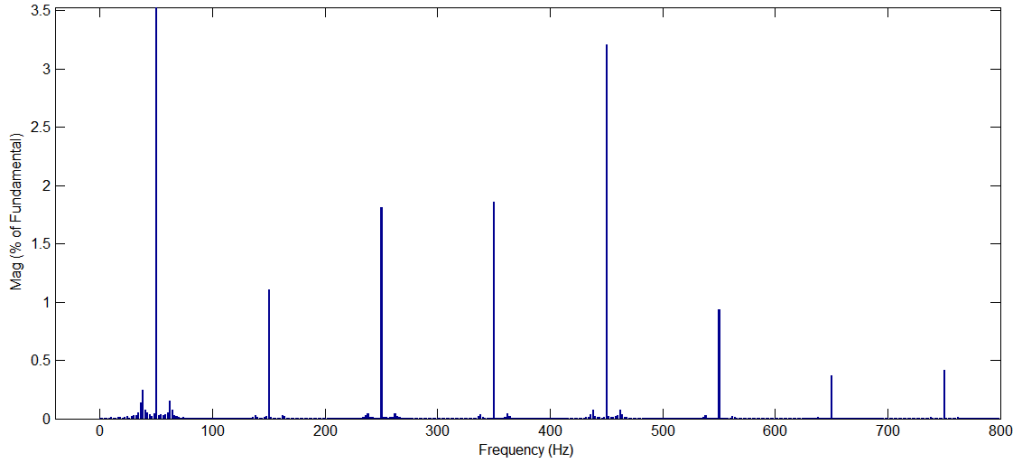


Figure 11. Current THD of faculty of agriculture 1 transformer for busiest scenario (Case 5)

5. CONCLUSION

Today, the demand for electric vehicles is increasing. Manufacturers have focused their research and development activities on the electric vehicles. The number of electric vehicles on the market is increasing day by the day. Therefore, the electric vehicle infrastructure technologies are also being developed. Some of the technology infrastructures are as follows: battery systems, communications, network integration, charging systems.

Therefore, in this study, electric vehicle infrastructure technology in the charging systems and network integration issues are examined. Related modeling and simulation studies were performed in MatLab/Simulink. Battery charging systems and integration of the charging stations to the grid are one of the most important building blocks of electric vehicles' simulation, which will be applied in the university, is studied.

Upon reviewing the results of the studied system's current, voltage and active-reactive power values they were found to be suitable values. Harmonic values of the studied system's transformers which are given in the previous chapter are below 5% that are also admissible. Thus, it can be easily said that the charger circuit was very successful during modeling simulations and additionally, results of the simulations have proved that Çukurova

University's installed infrastructure has enough capacity to supply foreseen urban electric vehicle infrastructure. In the paper, detailed modeling of charging circuits are developed and presented. Up to four charging circuits per 1000 kVA transformer are simulated.

6. REFERENCES

1. ANONYM, 2014. BP Statistical Review of World Energy 2014, <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
2. Liu, Q., Chen, W., 2011. Research on Construction of Urban Low Carbon Transport System, Materials for Renewable Energy & Environment (ICMREE), 2011 International Conference on (Volume: 2), 1263–1266.
3. ANONYM, 2014. Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels, January 2011. <http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/doc/2011-01-25-future-transport-fuels-report.pdf>.
4. Jacobson, M.Z., Colella, W.G., Golden, D.M., 2005. Cleaning the Air and Improving Health with Hydrogen Fuel-Cell Vehicles, Science 24 June 2005: Vol. 308 no. 5730 pp. 1901-1905 doi: 10.1126/science.1109157.
5. Galus, M.D., Waraich, R.A., Noembrini, F., Steurs, K., Georges, G., Boulouchos, K.,

- Axhausen, K.W., Andersson, G., 2012. Integrating Power Systems, Transport Systems and Vehicle Technology for Electric Mobility Impact Assessment and Efficient Control, IEEE Transactions on Smart Grid, Volume: 3, Issue: 2, doi: 10.1109/TSG.2012.2190628 Page(s): 934 – 949.
6. Lund, H., 2006. Renewable Energy Strategies For Sustainable Development, Third Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, doi:10.1016/j.energy.2006.10.017.
 7. Dresselhaus, M.S., Thomas, I.L., 2001. Alternative Energy Technologies, Nature 414, 332-337 (15 November 2001), doi: 10.1038/35104599.
 8. Lam, A.Y.S., Leung, Y., Chu, X., 2014. Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity and Solutions, IEEE Transactions on Smart Grid, Volume: 5, Issue: 6, Page(s): 2846–2856, doi: 10.1109/TSG.2014.2344684.

Gazimağusa Kaleiçindeki Tarihi Taş Yapılarda Görülen Bozunmalar

Murat DAL^{*1}, Mahmut YALÇIN¹, Ali Duran ÖCAL²

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

²Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Antropología, Bogota (Kolombiya)

Geliş tarihi: 13.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada Kıbrıs'taki Gazimağusa liman kentinde Kaleiçi bölgesindeki tarihi eserlerin karşılaştığı sorunlar ele alınmıştır. Bu bölgedeki tüm anıt ve yapıların bozunmaya uğramış olması endişe vericidir. Yapı taşlarında gözlenen ayrışma formları, birbirleriyle etkileşen bozunma faktörlerinin neden olduğu ve geliştirdiğini bozunma sürecinin sonuçlarını örneklemektedir. Kaleiçi'ndeki antik binalar ve anıtlarda gözlenen ayrışma formları ve ayrışma ürünleri, taşlardaki bozunmanın, Akdeniz'den gelen tuzların nemle etkileşimi sonucu oluştuğunu göstermektedir. Bu çalışmada, Gazimağusa'nın bu tarihi bölgesinde gözlenen tahribatın ilk sonuçları sunulularak eski eserlerin koruma önlemlerinin gerekliliği ve aciliyeti vurgulanmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi eser, Bozunma, Tahribat, Doğal yapı taşı

Deterioration of the Historic Stone Building of the City Gazimagusa Kaleiçi

Abstract

In this study the problems faced by the historical monuments in Old City port town of Famagusta in Cyprus are discussed. All monuments and buildings of this area have suffered weathering damage and the destruction is worrying. Weathering forms exemplify the observable consequences of weathering progressions which are originated and controlled by interacting weathering elements. For these ancient buildings and monuments in the Kaleiçi the valuation of weathering forms and weathering products indicates the correlations between the development of weathering damage and salt from Mediterranean Sea loading to the stones as a consequence of humidity. The first results of weathering damage on these historic area in Gazimagusa are presented and they exhibit the need and urgency of monuments preservation measures.

Keywords: Historic buildings, Deterioration, Destruction, Natural building stone

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Murat DAL, teknikmurathoca@gmail.com

1. GİRİŞ

Gazimağusa, Kıbrıs'ın doğusunda, kuzeyde Karpaz Yarımadası ile güneyde Poyraz Burnu arasında, kuzey ve güney rüzgarlarına kapalı Gazimağusa Körfezinin daha yakın bir noktasında konumlanmıştır [1]. Geçmişten gelen, günümüze ve geleceğimize ışık tutan çok değerli olan fakat birçok kişinin farkında olmadığı tarihi eserlerimiz maalesef birçok sebepten dolayı görünümünü, yapısını ve etkisini göz göre göre kaybetmektedir [2].

Peki bizim için çok önemli olan bu tarihi eserler neden bozunmaya uğramaktadır? Tarihi eserlerde meydana gelen bozunmaları önlemek, sadece bu tür bozunmaları engellemek için kurulan kuruluşlardan beklenmemelidir. Her fert bu önemli konuda üzerine düşen yükümlülüğü yerine getirmelidir. Aksi takdirde geleceği geçmişi görmeyerek kuramayız buda tecrübe olmadan yaşamak demektir. Yeni doğan bir bebeğin aniden çok daha ileriki yaşlarda yaşaması demektir, aynı zamanda geçmiş olmadan geleceğe yürümek demektir.

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti sınırları içerisindeki Gazimağusa liman kentinde Kaleiçi bölgesindeki (Şekil 1) tarihi eserlerin karşılaştığı sorunlar ele alınmıştır. Bölgede bulunan tarihi eserler yerli ve yabancı turistler tarafından çok ilgi görmektedir. Fakat kayıp giden mirasın önüne geçilememekte ve bu konuda bir farkındalık yaratılamamaktadır.



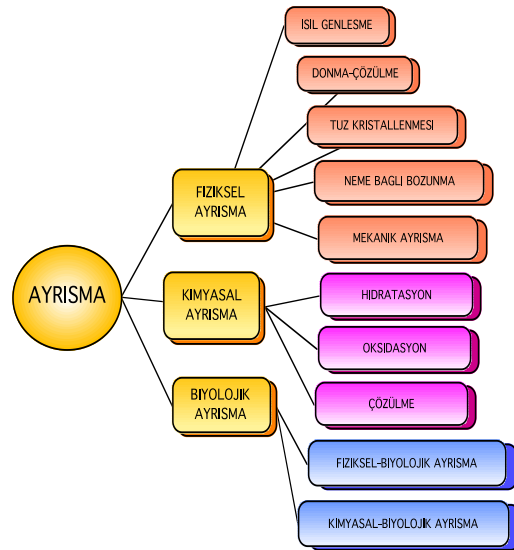
Şekil 1. Gazimağusa Kaleiçi çarşı merkezden genel bir görünüm

2. MATERYAL VE METOT

Araştırmada, ana materyal olarak, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti sınırları içerisindeki Gazimağusa liman kentindeki tarihi taş eserlerdeki bozunmalar ele alınmıştır. Gazimağusa Kaleiçi yapılarında gözlemler yapılmış, farklı bozunmalara yönelik örnekler verilmiş, çeşitli yöntemler kullanılarak belgelenmiş [3] ve değerlendirilmiştir. Bu yapı taşlarındaki bozunmalar tespit edilerek literatür bilgileri ile karşılaştırılmıştır [4-14]. Bu araştırmada, gözlem analiz sentez yöntemi [3] kullanılmış, taş bozunmalarına dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

3. TARİHİ TAŞ YAPILARDAKİ BOZUNMALAR

Yapı taşlarının bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri onların bozunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanında, bozunma türünün, kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Taş yapıların yıpranması ve bozunmasındaki süreci hazırlayan etmenler, genellikle bir çoğu birlikte etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik nedenlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Taşların bozunmasına neden olan ayrışmaların genel bir sınıflandırması [2]

Sıcaklığın, nemin ve tuz oranının fazla olduğu Gazimağusa liman kentinde de yeterli tedbirlerin alınmadığı ve kaybın önüne geçilemediği görülmektedir. Kaleiçi'ndeki tarihi eserlerde gözlenen tahribatları genel olarak fiziksel bozunmalar (çatlaklar, kırıklar, petek gözlülük ve parça kaybı), kimyasal bozulmalar (siyah tabakalar, tuzlanmalar, tozlaşmalar) ve biyolojik bozulmalar (köklü ve yapraklı bitkiler) olarak sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca biyolojik bozulmalar hem kimyasal hem de fiziksel ayrışmaya neden olduğundan bazı durumlarda bu iki bozulma grubu içinde de incelenebilir.

3.1. Fiziksel Bozunmalar

Tarihi eserlerde fiziksel bozunma deyince akla ilk olarak dış etkenlerden kaynaklanan kuvvet sonucu yapısının değişmesi akla gelir. Başka bir deyişle taşlardaki fiziksel ayrışma, taşları oluşturan minerallerin yapılarında bir değişme oluşmadan, bağlarının zayıflanarak parçalara ayrılıp ufalanmasıdır.

Özellikle Gazimağusa kentinin bulunduğu yerdeki yüksek sıcaklık farkı, tuz, buz ve kök çatlatmasıyla kayaları oluşturan minerallerin bağlarının gevşemesi sonucu taşların fiziksel (mekanik) olarak parçalanması sıkça gözlenen bir olaydır. Mekanik çözünmede taşların fiziksel yapıları etkili olmakla birlikte, iklim koşulları daha fazla etkilidir. Zira sıcaklık farkının artması, mekanik çözünmeyi artırır.

Tarihi eserleri fiziksel olarak etkileyen faktörler, bir eserin uygun yerleştirilememesi, amacından farklı bir biçimde kullanılması ve günümüzde de tarihi eser değil de daha çok işe yarar yapılar olarak görülmesi gibi etkenlerde eserin bozunmasına neden olabilir.

Çatlaklar: Tarihi eserlerde; bütün olan parçada, doğrusal veya doğrusal olmayan belli bir doğrultuda oluşan boşluklu kırıklardır. Eserlerde oluşan çatlaklar; birleştirici maddenin yapısını kaybetmesi, dış etkenlerden dolayı, eserin yapısında kullanılan taşın cinsi, yağın asidik yağmurlar, sıcaklık, nem vb. nedenlerden dolayı oluşmaktadır (Şekil 3, Şekil 4). Kılcal ve yapısal

olarak tanımlanan çatlaklar Gazimağusa Kaleiçi'ndeki birçok heykel ve yapılarda gözlenmektedir.



Şekil 3. Gazimağusa Kaleiçi Çarşı Merkezdeki aslan heykelindeki büyük parça kaybı



Şekil 4. Gazimağusa Kaleiçi Çarşı Merkez aslan heykeli alt boyun kesimindeki çatlak

Kırıklar: Olumsuz dış etkilerden dolayı, uygulanan kuvvetten dolayı ve taşların minerallerini kaybetmesi sonucu parçaların tamamen birbirinden ayrılmasıdır. Bu bölgede insanların da fazla tahrip etmesi sonucu çok fazla kırıklar meydana gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi giriş cephesinde görülen kırılmalar

Petek Gözlülük: Tarihi eserlerin yüzeylerinde birbirine bağlanan birbirinden bağımsız çukurların meydana gelmesidir. Genelde taşların yüzeyleri süngerimsi bir yapıya sahip olur ve özellikle fosil içeren taneli yapıdaki taşlarda gözlenen bir bozunma türüdür. Alveolar ayrışma veya oyuklanma olarak ta tanımlanabilen petek gözlülüğün oluşmasının sebebi atmosferden gelen farklı kimyasal maddeler örneğin asidik yağmurlar, denize yakın yerlerde nem ve tuz oranının fazlalığından da meydana gelir (Şekil 6-8). Ayrıca yüzeyde oluşan bu oyuklar nedeniyle taştaki bozunmaya eğilimli olan bölge arttığından taşın yıpranması daha da hızlanır.



Şekil 6. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi giriş cephesinde görülen çukurlaşmalar



Şekil 7. Gazimağusa Kaleiçi St. Nikolas Katedrali giriş cephesinin iç kısmının yapı taşlarında görülen oyuklanmalar



Şekil 8. Gazimağusa Kaleiçi St. Nikolas Katedrali giriş cephesinin iç kısmının yapı taşlarında görülen parça kayıpları, yüzeysel erimeler ve çukurlaşmalar

Parça Kaybı: Özellikle heykel gibi tarihsel ve sanatsal değeri olan tarihi eserlerin; parmak, kol, burun gibi detayların farklı kuvvetlerin etkisiyle eserlerden ayrılmasıdır (Şekil 9-11). Eserlerdeki parça kaybı yüzeyin zaman içerisinde aşınarak erozyona uğraması veya dış bir etkenden dolayı kırılması şeklinde gerçekleşebilir.



Şekil 9. Gazimağusa Kaleiçi St. Nikolas Katedralindeki yapı taşlarında görülen büyük parça kayıpları



Şekil 10. Gazimağusa Kaleiçi St. Nikolas Katedrali girişindeki oturmuş durumdaki aslan heykelinin arka bacaklarında görülen büyük parça kayıpları



Şekil 11. Gazimağusa Kaleiçi St. Nikolas Katedralindeki yapı taşlarında görülen erime ile oluşmuş büyük parça kayıpları

3.2. Kimyasal Bozunmalar

Taşın kimyasal bileşiminde oluşan değişim sonucunda yapı taşını oluşturan minerallerin başka minerallere dönüşmesi olayı “kimyasal çözünme” olarak nitelendirilir ve karbondioksit, su, oksijen ve mikroorganizmaların etkisiyle hep birlikte hareket etmesi ile gelişir. Kimyasal bozunmadaki temel etkenler nem oranı ve sıcaklıktır.

Eserlerin oluşturulduğu taşların yapısının değişmesi sonucu yapı taşlarında meydana gelen renk değişimi, tuzlaşma, gölgeleme gibi tahribatların oluşması sözkonusudur.

Siyah Tabakalar: Bu tür bozunmalar direk olarak yağmura maruz kalan taş eserlerde meydana gelir. Bu bölgede de nem oranının fazla olmasından dolayı meydana gelen siyah tabakalar oldukça fazladır (Şekil 12-13).



Şekil 12. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi güney cephesinde yapı taşlarında görülen siyah lekelenmeler



Şekil 13. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi güney cephesindeki yapı taşlarında su-nem etkisi ile oluşmuş renk farklılıkları

Tuzlanmalar: Taş eserlerin yapısında bulunan tuz mineralleri, nem veya yağmur etkisiyle çözünürler. Bu bölgede sıcaklık derecesi yüksek olduğundan hemen buharlaşıp kristalleşirler (Şekil 14-16).



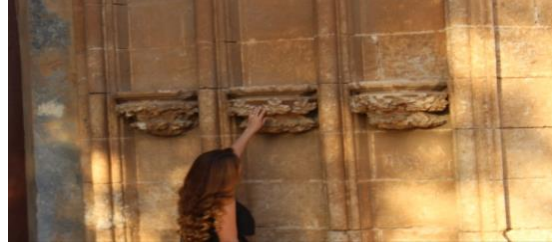
Şekil 14. Gazimağusa Kaleiçi kale surları ön cephesindeki yapı taşlarında tuz etkisi ile oluşmuş yüzeysel erozyonlar



Şekil 15. Gazimağusa Kaleiçi kale surları ön cephede tuzların oluşturduğu erozyon



Şekil 16. Gazimağusa Kaleiçi kale surları ön cephesindeki yapı taşlarında tuz etkisi ile oluşmuş aşınmalar



Şekil 17. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi giriş cephesi yapı taşlarına sık sık insan eli dokunmalarından dolayı oluşan parlaklık

Tozlaşmalar: Tozlaşmalar granüllü taşlarda görülür. Taşın yüzeyindeki granüller bağlayıcılarını kaybederek toz halinde yüzeyden ayrılır. Yüzeye dokunma, iklim şartları gibi nedenlerle eserlerin yüzeylerinde tozlaşma meydana gelir (Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19).



Şekil 18. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi giriş cephesindeki yapı taşlarında görülen tozlanmalar



Şekil 19. Gazimağusa Kaleiçi Lala Mustafa Paşa Camiisi giriş cephesi yapı taşları

3.3. Biyolojik Bozunmalar

Taş yapıların ve eserlerin bozunmasına neden olan etmenlerden birisi de canlılardır. Değişik türden hayvanlar ve böcekler, kazıma ve tırmanma gibi mekanik olgularla veya çıkardıkları asitler dolayısıyla kimyasal ayrışmaya neden olmakla birlikte fiziksel ayrışmaya da neden olabilirler. Oyucu hayvanlar ise kayaları oymakla hem kayacın dayanıklılığını azaltır hem de kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Bitki kökleri veya gövdeleri büyüme sırasında yapı taşlarını da kolayca parçalayabilir.

Kuşlar, tırmanıcılar, solucan gibi büyük hayvanlar da taşlarda delikler ve oyuklar meydana getirebilmelerinin yanında, organik madde ve atmosferden nitrojen tutan bakteriler de ayrılmış taş yüzeylerinde ve çatlaklarında yığılarak taşların daha hızlı bozunmasına neden olabilirler.

Gazimagusa Kaleiçi'ndeki tarihi eserlerde meydana gelen biyolojik bozunmalar da yukarıda sözü edilen etmenlerden dolayı gerçekleştiği gözlenmektedir. Aynı şekilde buradaki taş eserlerin yapısındaki minerallerin çözünmesine, duvarlardaki derz aralarına yerleşen canlıların veya bitkilerin neden olduğu anlaşılmaktadır.

Köklü ve Yapraklı Bitkiler: Rüzgarlar yardımıyla taşınarak derzlere ve taş yüzeyindeki mikro-boşluklara yerleşen tohumların, zaman içinde büyüyerek bitki haline gelmesi çok yaygın bir döngüdür. Buralarda gelişerek zamanla ağaca dönüşen bu bitkilerin kökleri ve düşen yaprakları eserlere oldukça fazla zarar verir. Aynı zararı otsu bitkiler de verirler fakat ağaçlar kadar tahrip etmezler (Şekil 20-22).



Şekil 20. Gazimagusa Kaleiçi duvarındaki yüksek bitki tahribatı



Şekil 21. Gazimagusa Kaleiçi yapı taşları üzerindeki otsu bitkilerin oluşturduğu hasarlar



Şekil 22. Gazimagusa Kaleiçi duvarlarındaki yüksek bitki damarları zamanla taş duvarı hasara uğrattığı

4. SONUÇLAR

Taş yapılarda oluşan bozunmanın veya ayrışmanın hızı ve niteliği iklime ve zamana bağlıdır. Yukarıda sözü edilen etkenler az veya çok oranda katkı sağlamakla birlikte, iklim süreçleri ayrışmanın niteliğini doğrudan etkileyen en önemli öğedir.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmalar birbirleriyle etkileşerek gelişirler. Fiziksel ayrışma taşları küçük parçalara ayırarak yüzey alanını artırırken kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Kimyasal bozunma da ana minerallerini güçsüzleştirerek fiziksel ayrışmaya yardımcı

olurken biyolojik etmenler de kök uzatarak parçalama, bakteri ve asidik solüsyon üreterek çözüme gibi olgularla yapı taşlarının ayrışmasını hızlandırır.

Sonuç olarak bölgedeki tarihi taş eserlerde meydana gelen bozunmaların en genel nedenleri; sıcaklık ve nemden dolayı taşların yapısının değişmesi, ada olmasından ötürü ve denizdeki tuz oranının fazla olmasından dolayı tuzlaşma ve tarihi esere insanların dikkatsiz, bilinçsiz yaklaşımı eserlere zarar vermektedir.

Bu konu hakkında insanlar daha çok bilinçlendirilmeli ve eserlerin restorasyonları zamanında bilirkişiler tarafından periyodik olarak yapılmalıdır.

Uluslararası platformda, anıt-eserlerdeki bozunmaların onarılması için, ayrışmalara neden olan kaynakların gözlenerek belirlenmesi, çalışmaların ilk aşamasını oluşturur. Yerinde yapılacak ilk bozunma türü saptamaları yine uluslararası kabul edilen genel terminoloji yardımıyla belgelenecek ortaya konulmalı ve bu bilgiler daha sonrasındaki tarihi eserle ilgili gerekli koruma yöntemlerini belirlemede kullanılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Uluca, E., 2006. Gazimağusa Kaleiçi'nin Tarihsel Süreç İçindeki Kentsel Gelişimi ve Değişimi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
2. Öcal, A.D., Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul.
3. Fitzner, B., 2004. Documentation and Evaluation of Stone Damage on Monuments.- In Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. (ed.): Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 27 June-2 July 2004, Stockholm, Vol. II, 677-690, ICOMOS, Sweden.
4. Fitzner, B., Heinrichs, K., 2004. Photo Atlas of Weathering Forms on Stone Monuments.- www.stone.rwth-aachen.de, Internet homepage der Arbeitsgruppe, Natursteine und Verwitterung des Geologischen Instituts der RWTH Aachen.
5. Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R., 1995. Weathering Forms-classification and Mapping. In: SNETHLAGE, R. (ed.) Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung I. Ernst and Sohn, Berlin, 41-88.
6. Fitzner, B., Kownatzki, R., 1991. Klassifizierung der Verwitterungsformen und Kartierung von Natursteinbauwerken. Jahresberichte aus dem BMFT-Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung, 1, 1-13.
7. Heinrichs, K., 2004. Weathering Progression on Rock-cut Monuments in Petra / Jordan.-In Akasheh, T.S. (ed.): First International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation, 12-17 August 2002, Jordan, 207-279, Actas, Fundación El Legado Andalusi, Granada / Spain.
8. Kownatzki, R., 1997. Verwitterungszustandserfassung von Natursteinbauten unter Besonderer Berücksichtigung Phänomenologischer Verfahren. Aachener Geowissenschaftliche Beiträge, 22.
9. Siegesmund, S., Auras, M., Snethlage, R. (eds.), 2005. Stein. Zerfall und Konservierung. Edition Leipzig, Leipzig.
10. Vergès-Belmin, V., Anson Cartwright, T., Cassar, J., Charola, E., De Witte, E., Delgado-Rodriguez, J., Fassina, V., Fitzner, B., Fortier, L., Franzen, C., Garcia de Miguel, J.-M., Klingspor-Rotstein, M., Krumbein, W.E., Lefèvre, R.-A., Maxwell, I., Nishiura, T., Queisser, A., Pallot-Frossard, I., Snethlage, R., Tourneur, F., Vallet, J.-M., Van Hees, R., Varti-Matarangas, M., Warscheid, T., Winterhalter, K., 2004. An Internet-Accessible Multilingual Illustrated Glossary on Stone Deterioration.-Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 27 June-2 July 2004, Stockholm, Vol. II: 699-706, ICOMOS, Sweden.
11. Küçükkaya, A.G., 2004. Taşların Bozulma Nedenleri, Koruma Yöntemleri, İstanbul.
12. Öcal, A.D., 2001. Deterioration of Archaeological Environment in the Eastern Mediterranean, in: Günisiginda Anadolu-

Anatolia in Daylight, Essays in Honour of Cevdet Bayburtluoglu, C. Özgünel, O. Bingöl, V. Idil, S. Doruk, K. Gorkay, M. Kadioglu (eds), Homer Kitabevi, İstanbul.

13. Öcal, A.D., Dal, M., 2013. Investigations on Stone Weathering of Ottoman Architecture: A Kırklareli Hizirbey Kulliyeh Case Study, In: Indian Journal of Research, Volume: 2, Issue:11, Nov 2013.
14. Orballı, A., 2008. Architectural Conservation: Principles and Practice, Blackwell Science, Oxford.

İzmit Körfezi'nin Sığ Sismik Verilerle Sismik Stratigrafik İncelenmesi

Hatice KARAKILÇIK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Uniboom sığ sismik yöntem kullanarak İzmit Körfezi'nden sığ sismik kayıtlar elde edilmiştir. Kayıtların toplam uzunluğu ortalama 300 km'dir. Sismik ve batimetrik verilerin dışında, mevcut alan jeoloji bilgisi bu çalışmanın yorumlanmasında bir temel oluşturmuştur. Sismik kesitlerin her biri kendi içlerinde birbirleri ile ilişkili yapısal ve stratigrafik anlamda yorumlanmıştır. Bunun sonucu olarak da sismik stratigrafik birimler ve faylar sismik kesitlerde belirlenmişlerdir. İnceleme sahasından elde edilen sismik verilerin yorumlanmasında sismik stratigrafik metod kullanarak üstten alta doğru güncel sediman birimler, son buzul dönemine ait aşınma yüzeyi ve akustik temel üzerinde görülen bu periyot'tan önce oluşmuş eski sedimanlar tanımlanmışlardır. Yaşlıdan genç doğru 4 farklı tip sismik stratigrafik birim örneğin 1, 2, 3 ve 4 no'lu birimler sismik kesitlerde belirlenmiştir. Holosen öncesi birimlerle (2 no'lu birim) Holosen transgresyonu (Flandriyan transgresyonu) sırasında çökelen güncel birimleri (3, 4) ayırt edilmiştir. Sekans kalınlıklarının 5 ile 43 ms (milisaniye) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sismik kesitlerde tespit edilen 'Uyumsuzluk Yüzeyi', yüksek yansıma amplitüdü (genlikli), dalgalı yapı göstermektedir ve genç sedimanların bu yüzeye yaslanarak sonlandıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sığ sismik, İzmit Körfezi, Sismik stratigrafisi, Deniz seviyesi değişimleri

Seismic Stratigraphical Investigation of Izmit Gulf with Shallow Seismic Data

Abstract

By using Uniboom system, 45 lines of shallow seismic records were obtained in Gulf of Izmit. Total length of the lines is approximately 300 km. Apart from the seismic and bathymetric data, available field geology knowledge was formed a basis for interpretations in this study. Each of the seismic sections in itself be associated with each other have been interpreted stratigraphic and structural sense. As a result, the seismic stratigraphic units and faults have been determined in the seismic sections. By interpretation of seismic data obtained from the field of investigation using seismic stratigraphic method, the following units have been defined from top the bottom; recent sediments, truncation surface belongs to last glacial periods and older sediments formed earlier to this period seen on acoustic basement. From old to young a

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Hatice KARAKILÇIK, hkilcik@cu.edu.tr

total of 4 different type seismic stratigraphic unit such as 1, 2, 3 and 4 have been identified in the seismic sections. During the Holocene transgression (Flandrian transgression) deposited to date units (3, 4) with pre-Holocene unit (2) are distinguished. Sequence thickness varies between 5 and 45 miliseconds. Unconformity surface, which is determined in the seismic sections, shows high reflection amplitude, undulating structures in all sections and the younger sediments are seen terminating by leaning on this surface.

Keywords: Shallow seismic, Izmit Gulf, Seismic stratigraphy, Sea level change

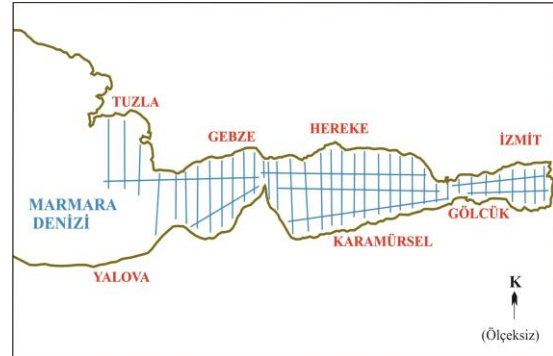
1. GİRİŞ

İzmit Körfezi, Marmara Denizi'nin doğusunda Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) egemen olduğu aktif fayların etkisinde olan bölgede yer almaktadır. İzmit Körfezi yaklaşık 50 km uzunluklu ve 1,5-10 km arası genişlikte olup, doğu yönde daralır ve 3 bölümden oluşur. Marmara Denizi'nin doğu yönde ki uzantısı olan ve KAF Zonu sisteminde biçimlendirilmiş, D-B yönlü bir grabendir.

Yerkürenin gerek kara-kıta kesimleri ve gerekse deniz okyanus kesimleri, jeolojik zamanlar boyunca, birçok oluşum-gelişim ve değişim süreçleri geçirirken; günümüzde görülen deniz yüzeyi seviyesinin de, çok çeşitli nedenlere bağlı olarak, alçalma, yükselme dönemlerini içeren, salınımlar gösterdiği bilinmektedir. İnceleme alanında ki deniz jeolojisi-jeofiziği çalışmasının ana amacı, İzmit Körfezi'nin denizel sığ sismik veriler yardımıyla değerlendirilmesi ve bölgenin geç Kuvaterner döneminde ki sismik stratigrafisinin belirlenmesidir. Bu çalışmada bölgede daha önce yapılan bazı jeolojik, jeomorfolojik çalışmalardan yararlanılmıştır. İnceleme alanını oluşturan İzmit Körfezi'ne ait tek kanallı analog sığ sismik veriler Dz.K.K. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığından (SHOD) sağlanmıştır. Bu çalışmada sismik veriler Seyir Hidrografi ve Oşinografi dairesi Başkanlığına ait Çubuklu gemisi teknik elamanlarınca alınmış olup, sismik yansıma verilerinin alınmasında UNIBOOM sismik yansıma sistemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojik, yapısal ve sismolojik verilerinin sığ sismik

verilerle ilişkilendirilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun içinde İzmit Körfezi'nde alınmış olan K-G doğrultulu 37, D-B doğrultulu 7 sığ sismik profil (Şekil 1) oluşan yaklaşık 300 km uzunluğunda ki sismik profiller sismik stratigrafik yorumlanma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bölgenin dip altı sismik stratigrafik yorumlanması yapılarak, körfezin çökel ortam koşullarının belirlenmesi (birikim ve aşınım), Holosen ya da Flandriyen transgresyonu ile başlayan sediman kalınlıklarının tespiti, bölgenin batimetri haritasının yorumu ve son olarak da yüzeye yakın gaz birikimleri varsa ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Yüzeye yakın olası faylar sismik kesitlerde belirlenerek bölgenin tektonik özellikleri araştırılmıştır.



Şekil 1. İzmit Körfezi'nden elde edilen tek kanallı sığ sismik profillerin lokasyon haritası

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Deniz Seviyesi Değişimlerinin Nedenleri

Jeolojik devirler boyunca dünya denizlerinin seviyesi birçok salınımlara maruz kalmışlardır.

Çeşitli araştırmacılar, deniz seviyesinde ki bu salınımların nedenlerini, östatik, isostatik ve jeoidal olarak, üç geniş gruba ayırmışlardır [1-6].

Östatik etki, Denizleri oluşturan su kütesinin miktarında ki değişimlerden kaynaklanan ve global ölçekte olan deniz seviyesi rejimine östasi (eustasy) adı verilmektedir [7]. Suess (1885), 20nci yüzyılın başlarında “Eustasy” terimini “deniz seviyesinin yerküre bazında ki değişimleri” olarak tarif etmiştir [8]. Bu görüşten kaynaklanarak kıyı çizgisinin transgresyonu'nun ve regresyonu'nun östasi'den kaynaklandığı kabul edilmiştir. Östatik nedenlerden kaynaklanan deniz seviyesi değişimleri global ölçekte etkili olmaktadır. Glasiyel östatik değişimler buzulların alanında ve hacminde ki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Buzul dönemlerde okyanuslardan buharlaşan suların büyük bir kısmının karalar üzerinde buzula dönüşmesi sonucu deniz seviyesi düşmüştür. Örneğin son buzul (glasiyel) maksimumunda (18000 yıl öncesi) deniz seviyesinin 100-130 m düştüğü çeşitli araştırmacılar tarafından açıklanmıştır [9]. Buzullar arası dönemlerde ise eriyen buzulların denize su olarak dönmesi sonucu deniz seviyesi yükselmiştir. Örneğin; Antartika ve Grönland da ki buzul kütlelerinin erimesiyle deniz seviyesininin 70 m yükseleceği öne sürülmüştür [10].

Tektonizmaya bağlı östatik değişimler okyanus havzalarının tektonizma sonucu şekil/hacim değişikliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin deniz tabanı yayılması (sea floor spreading) ile okyanus havzalarının kapasitelerinin gelecek 100 yılda %6 oranında artacağı öne sürülmüştür [10]. Tektonik, iklim koşullarıyla birlikte, çökecek sedimanların miktarını ve tipini kontrol etmektedir. Dolayısıyla tektonik, stratigrafiyi kontrol eden temel fonksiyondur. Her bir tektonik işlev, zaman içinde ki yeri, devamlılığı ve bölgesel yayılımı vasıtasıyla tanımlanabilmektedir. Sedimantasyona bağlı östatik değişimler okyanus havzalarında ki sediman birikiminden kaynaklanmaktadır. Tektonik ve östasi arasında ki ilişkiden kaynaklanan ve kara üzerinde ki bir noktaya göre olan deniz seviyesinde ki alçalma veya yükselmelere deniz seviyesininin göreceli değişmesi

(Relative change of sea level, RSL) ‘RSL’ adı verilmektedir [10].

İzostatik etkenlerden kaynaklanan deniz seviyesi değişimleri daha çok bölgesel olarak etkili olmakta olup iki farklı alt gruba ayrılmaktadır. Buzul izostatik değişimler buzul dönemlerde yerkabuğu üzerinde buzul tabakalarının oluşması, buzullar arası dönemlerde ise bu tabakalarının erimesi bu gibi bölgelerde izostatik hareketler neden olmuştur. Bu izostatik hareketler sonucu deniz seviyesinde salınımlar meydana gelmiştir. Örneğin İskandinavya ve Kanada da, buzulların kalkmasından bu yana geçen 20-25 bin yıl süre içersin de bu alanlar birkaç yüz metre kadar yükselmişlerdir [10]. Dolayısı ile deniz seviyesi karaya nazaran göreceli olarak, aynı miktarda, düşmüştür. Jeoidal nedenlerden kaynaklanan deniz seviyesi değişimleri de bölgesel olarak etkili olmaktadır. Esas olarak arzın yer çekim ivmesinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle yüksek enlemlerde yer alan buzul kütlelerinin erimesi veya oluşması, arzın rotasyonel hareketinde ve kütle dağılımında değişimlere neden olmakta olup bu ise serbest deniz yüzeyini temsil eden jeoid yüzeyinde amplitüdüleri birkaç metre civarında olan dalgalanmalara neden olmaktadır [10].

Ediger ve Ergin [11]'in, İzmit Körfezi'nden farklı noktalarından elde ettikleri sondaj verilerine göre, körfezde yapılan sedimentolojik-paleontolojik incelemelerinde iki adet kaba kırıntılı istifin, çamur katmanları ile ardalanmalı olarak gelişmiş olduğunu belirlemişlerdir. Düşük enerjili ortamı işaret eden çamur katmanları içerisinde ki organizmalar körfezin, Akdeniz ve Karadeniz kökenli sular tarafından devamlı olarak etkilenmiş olduğunu ortaya koymaktadır [12-13]. Kaba taneli çökeller ise, bölgede ki deniz düzeyi değişimleri, tektonik etkenler ve bunlara bağlı olarak sediment getiriminde ki değişimlerin varlığını işaret etmektedir.

2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Sismotektoniği

Neotektonik dönemle birlikte Arabistan levhası ile Anadolu levhası arasında bir çarpışma

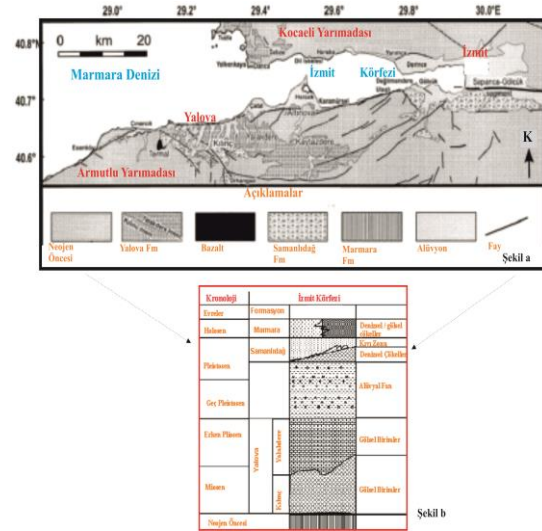
gerçekleşmiştir. Bu çarpışma sonucunda Anadolu kütlesi batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Bu hareket Doğu Anadolu Fay Zonu ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) boyunca gerçekleşmiştir. KAFZ'nun gerilmeli bir nitelik kazanmasından dolayı Marmara Deniz'i çevresinde kollara ayrılmış ve bu kollar boyunca çöküntü alanları gelişmiştir. Pamukova Düzlüğü, İznik Gölü, Gemlik Körfezi, İzmit Körfezi bu çöküntü alanlarıdır. KAF'nın kuzey kolu, İzmit Körfezi'nde Marmara Denizi'ne girmekte, Mürefte'de denizden çıkarak Kuzey Ege'ye uzanmaktadır.

İzmit Körfezi ve civarında Neotektonik döneme ait çökeltme ve aşınma rejimiyle ilişkili olarak gelişen birimler Neojen ve sonrası yaşlıdır. Bölgede Sarmasiyen-Ponsiyen'de acı su ile başlayan çökeltme, geç Miyosen sonları ile Erken Pliyosen'de bölgede akarsu-göl sedimantasyonuna dönüşmüştür. Erken Pliyosen sonunda ise bölgede bir aşınma rejimi hüküm sürmüştür. Pliyosen'de başlayan etkili tektonik hareketler bölgede Doğu-Batı uzanımlı fayların etkisiyle Pleyistosen boyunca sürmüştür. Körfezin doğusunda yüzeyleyen gölsel ve akarsu ortamlarına ait kırıntılı çökeller erken/orta Pleyistosen yaşlıdır. Geç Pleyistosen'de Akdeniz suları tarafından işgal edilen körfez, denizel depolanma alanı durumuna gelmiş ve bölgede denizel kaynaklı kırıntılı çökeller depolanmıştır [14]. Denizel depolanmanın ardından Holosen'de alüviyal yelpaze, akarsu, kıyı ovası-plaj ve delta sedimantasyonu (güncel çökeller) oluşmuştur [14-17].

Bölge'nin kara kesimi jeolojik olarak iki ana bölümden oluşmuştur. Bunlar Kocaeli ve Armutlu Yarımada'dır. Seymen [17] körfezin kuzeyinin ve güneyinin farklı jeolojik evrime sahip olduğunu ve bunların Paleozoikten Kuvaterner'e kadar farklı yaşlara sahip kaya gruplarından oluştuğunu belirtmiştir (Şekil 2a ve 2b).

İzmit Körfezi içerisinde daha önce de yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalara göre, körfezin kuzey ve güney kesimleri farklı yapısal özellikler göstermektedir [18-22]. Stratigrafik yönden, kuzey kesimde temel Paleozoyik (Silüryen ve Devoniyen) kırıntılı kayalardan oluşmakta ve

üzerine Triyas ve Üst Kretase kırıntılı karbonat çökelleri açısız uyumsuzluk gelmektedir [23]. Güney kesimde ise temelde yer alan Devoniyen yaşlı Medirgöz ve Dereköy metamorfileri, en yaşlı çökelt birim olan Üst Kretase yaşlı Kocarca formasyonu ile örtülmüştür. İki yaka arasında ki bu farklı görünüm İzmit Körfezi'nin oluşum ve gelişiminde aktif tektoniğin en etkin unsur olduğunu açıkça göstermektedir [24].



Şekil 2. İzmit Körfezi ve çevresinin jeoloji haritası görülmektedir ve İzmit Körfezi ve çevresinin ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (ölçeksiz), ([25-26]'den değiştirilerek alınmıştır).

İzmit Körfezi ve çevresinde üç temel morfolotektonik birim bulunmaktadır: Bunlar, İstanbul Zonu, İzmit-Sapanca çukurluğu ve Armutlu Almacık Zonu'dur. Az derinlikli dar ve uzun bir şekle sahip olan İzmit Körfezi'nin güney sahilinde Tirenien teras çökelleri içeren Yalakdere ve Laledere gibi deltalar yer almaktadır. Taban topoğrafyası göz önüne alındığında iki ana depresyon alanının varlığı görülmektedir. İzmit Grabeni olarak adlandırılan bu çukurlar, Pliyosen'den beri aktif olan faylar tarafından şekillendirilmiştir. İzmit Körfezi, Sakarya ve Pontid zonlarını ayıran Intra-Pontid kenet kuşağı üzerinde yer alan içerisi Geç Pliyosen ve daha genç çökellerle doldurulmuş sığ bir çukurluktur.

17 Ağustos 1999 tarihinde merkezi İzmit kentinin yaklaşık 12 km güneydoğusunda Gölcük ilçesi civarında olan $M_w=7,4$ olan büyük bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem sırasında, Düzce'nin güneybatısından Marmara denizinde Yalova'nın kuzeybatısına kadar yaklaşık uzunluğu 120 kilometreyi aşan bir kırık oluşmuştur. Deprem odak çözümü incelendiğinde depremin sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde geliştiği gözlenmektedir. Bu çözüm de KAFZ'nun genel karakteristiğine uymaktadır.

17 Ağustos 1999 Marmara (İzmit) depremi ardından yapılan yeni çalışmalar, Marmara Denizi'nde KAFZ'na ait yeni bir kırığın, daha önce ki çalışmaların aksine [27] İzmit Körfezi ile Ganos Dağları arasında Marmara Denizi'ni yaklaşık D-B istikametinde kat ettiği belirlenmiştir [28].

Bilindiği gibi KAF sismolojik-sismotektonik özellikleri iyi bilinen dünyanın en önemli doğrultu atımlı faylarından birisidir ve Türkiye'nin en önemli tektonik unsurlarından birisini oluşturmaktadır. İçerisinde birçok fay parçasını (segment) barındırdığı için de bir zon özelliği taşımaktadır ve KAFZ olarak adlandırılmaktadır. KAFZ, 1939 Erzincan Depremi sonrasında bilimsel açıdan ilk tanımlanması yapılmıştır ve sağ yönlü doğrultu atımlı fay olarak nitelendirilmiştir. KAFZ üzerinde 2 sismik boşluk tanımlanmıştır. Bu sismik boşluklardan bir tanesi KAFZ'nun doğu kısmında $42-43^\circ$ D boylamları arasında, batı kısmında ise 30° D boylamı arası arasında kalan bölgedir. 17 Ağustos 1999 Depremi'nin boylamı 29.95° D olup, sismik boşluk olarak tanımlanan alan kırılmıştır [29].

İzmit Körfezi'nin sismik verileri körfezin yapısal özellikleriyle uyumlu bir örnek sergilemektedir. Mikro-depremler körfezin çevresinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle güney kıyılarda ki mikro-depremler kuzeye nispeten sayıca daha fazladır. Ayrıca, körfezi ikiye bölen İzmit'ten Marmara'ya uzanan yaklaşık D-B yönünde bir çizgi boyunca mikro-depremler gözlenmektedir. Körfezin çöküntü alanlarında mikro-deprem sayısında ki önemli sayıda bir azalma ise dikkat çekicidir. İzmit Körfezi'nde tarihsel ve aletsel

dönemde gözlenen orta ve büyük ölçekli depremler, mikro depremlerden farklı olarak, körfezin yapısını oluşturan doğrultu atımlı faylar boyunca yoğunlaşmış görüntüsü vermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

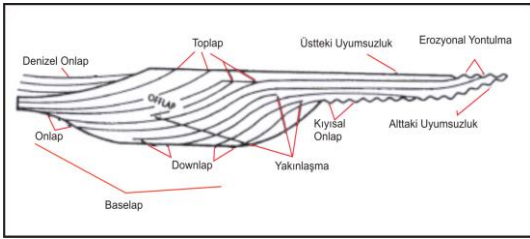
Veri toplama çalışmaları SHOD'e ait 'Çubuklu Gemisi' ile yürütülmüştür. Veri toplama sırasında geminin rotasının ve istenilen anda mevkisinin saptanmasında 'Decca Triisponder' sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmada dip altına ait tabakaların belirlenmesinde Uniboom sığ sismik sistemi (Model-230) kullanılmış olup, bu sistemin bazı teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Enerji Seviyesi: 300 Ws (J)
Kayıt Uzunluğu: Maksimum 200 ms
Trigger Rate: $3*100$ ms
Sabit Kazanç: 60 dB civarında
Frekans Bandı: 400 Hz-14 kHz
Süzgeç Tipi: Low-cut 1000 Hz (Kayıt kalitesine göre ayarlandı)

Sismik verilerin toplanması esnasında gemi hızı 4-4,5 mil/saat olarak ayarlanmıştır.

Bu çalışmaya ait yüksek ayırmalı sismik yansıma kayıtlarının yorumlanmasında 'Sismik Stratigrafik' yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem, sismik yansıma kesitlerinden yararlanılarak jeolojik bilgilerin stratigrafi kullanımı ile elde edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Genelde sismik yansımalar, tabaka yüzeyleri veya uyumsuzluklar boyunca oluşan yeterince güçlü akustik empedans ($\text{hız} \times \text{yoğunluk}$) farklılıklarından kaynaklanmaktadır [6]. Dolayısı ile yansımalar çökellerin ve çökel ortamların belirleyicisidirler. Sismik kesitler kullanılarak litofasiyes, paleobatimetre, paleocoğrafya, şelf kenarı ve diğerleri gibi birçok stratigrafi değişkeninin çeşitli amaçlı haritalamaları ve korelasyonları yapılabilmektedir. Sismik stratigrafik yorumlamada ilk aşama, seri (sequence) analizi olup, çökel serilerinin ayırt edilmesidir [30]. Çökel serileri, uyumsuzluk yüzeyleri ve/veya bunların korele edilebilen uyumlu yüzeyleri ile sınırlandırılmışlardır [31].

Çökel serileri içerisinde ki sismik yansımaların bu yüzeylerde sona ermeleri, çökel serilerinin belirlenmesinde kullanılmaktadırlar. Yansımaların, alt ve üst yüzeylerinde ki sona erme durumlarına göre kullanılan terimler Şekil 3'te gösterilmiştir. Sismik stratigrafik yorumlamada ikinci aşama olan 'fasiyes analizi' çökel serileri içerisinde ki farklı sismik yansımaların belirlenmesidir [31]. Sismik stratigrafik yorumlamanın en son aşaması da çökel serileri ile deniz seviyesi değişimlerinin korele edilmesidir. Sismik stratigrafide çökel serilerin sınırlarının, genel olarak, deniz seviyesinde ki alçalma-yükselme hareketleriyle ilgili olduğu kabul edilmektedir [32]. Deniz seviyesinde meydana gelen salınımların bilinmesi ile de, çökel serisinin hangi yaşta olabileceği hakkında yorum yapma imkanı doğmaktadır.



Şekil 3. Temel tabaka bitme şekilleri ve adlamaları [30]

İzmit Körfezi'nde, sismik verilerin elde edilmesinde kullanılan 'Uniboom Sistemi' çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sismik kesitlerde ortalama sismik dalga yayılım hızı; deniz suyu için 1500 m/s, sedimanter kayalar için 1700 m/s dir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. İzmit Körfezi'nin Batimetrik Özellikleri

Genişliği 1800 m (Tütünçiftlik ve Yüzbaşılar, Gölcük arası) ile 9800 m (Hereke ve Karamürsel arası) arasında değişen İzmit Körfezi, en doğuda ki İzmit havzasından ayrı olarak, biri Hersek burnunun batısında, diğeri ise doğusunda ki fay kontrollü iki derin deniz çukurundan oluşmaktadır (Şekil 4). Hersek burnunun doğusunda ki Karamürsel havzası yaklaşık olarak 18 km uzunluğunda 10 km genişliğindedir. Doğuda ki

çukurluğun en derin yeri Ulaşlı açıklarında 204 metre'dir [33]. Güney kesimi kuzeyine göre daha eğimlidir. Batıda ki Çınarcık havzası ise Marmara Denizi'nin en büyük havzasıdır. Bu çukurluklar Pliyosen'de oluşan sismik aktivitenin denetiminde gelişmişlerdir [34-35].



Şekil 4. İzmit Körfezi'nin batimetrik haritası, Eşderinlik çizgileri 10 metre'de birdir ([33 ve 35]'den değiştirilerek alınmıştır)

Körfez tabanı boyunca güney yamaçlar genelde kuzey yamaçlardan daha diktir (Şekil 4). Güney yamaçların eğimi 10-150 m derinlikler arasında tekdüze/değişmez iken, kuzey yamaçlar, özellikle Hereke açıklarında 125 m derinliğe dek tatlı eğimli, ancak 125-200 m derinlikler arasında dik dalımlıdır. Orta çöküntü alanının güney bölümü 0-50 m derinlikler arasında dik, 50-125 m derinlikler arasında ise daha düşük eğimler sergiler. Tatlı dalımlı yamaçlar Körfez doğu bölümü için de geçerli bir olgudur [36].

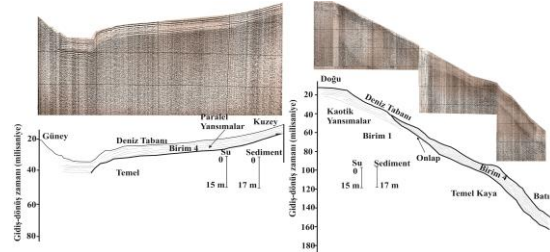
Körfez kıyıları 1-4 km arasında değişen sahil düzlükleriyle çevrelenmiştir. Sahil düzlükleri kuzey ve güneye gidildikçe yükselti kazanırlar. Körfezin Marmara Denizi'nden İzmit'e kadar uzanan kuzey kıyıları genelde yüksek kıyılarıdır. Bununla birlikte, dar alanlarda biriken yamaç molozuyla alçak kıyıları oluşmuştur. Körfezin güney kıyıları ise batıda Sarısu Deresi, Kılıç Dere ve Çay Dere, ortada Yalak Dere ve doğuda Kavaklı Dere, Hisar Dere ve Batak Dere'nin oluşturduğu deltalarla çevrelenmiştir. Körfez'in morfolojik yapısında önemli rol oynayan Yalakdere ve Laledere deltaları körfezin güney kıyısında yer almaktadır. Deltalar körfezin içine kadar kamalar halinde ilerler [37]. Sismik kesitlerde de bu yapılar tespit edilmiştir. Taban topoğrafyası göz önüne alındığında iki ana depresyon alanının varlığı görülmektedir. İzmit Grabeni olarak adlandırılan bu çukurlar, Pliyosen'den beri aktif olan faylar tarafından şekillendirilmiştir [38].

4.2. Dip Altı Sismik Stratigrafisi

Bu çalışmada körfez içerisinde elde edilmiş olan 44 adet sığ sismik profiller değerlendirilmiştir. İnceleme alanına ait sığ sismik veriler üzerinde yapılan yorumlamalarla hazırlanan kesitlerin sismo-stratigrafik analizleri ve değerlendirilmesi sonucunda Holosen dönemine ait (Geç Kuvaterner) birimler belirlenerek çökdikleri devrelere ilişkin yorumlar yapılmıştır. Sismik kesitlerde stratigrafik açıdan üstten alta doğru, güncel çökeller, son buzul dönemine ait aşınım yüzeyi ve bu dönem öncesi körfezde var olan istifin tamamını temsil eden daha eski çökeller ayırt edilmiştir.

Dip altı sığ sismik kesitlerinde, çalışma sahası içinde ki akustik temel (1) üzerinde üç farklı depolanma istifleri (2, 3 ve 4) belirlenmiştir. Sismik kesitlerde '1' olarak isimlendirilen akustik temel muhtemelen taban kayayı temsil etmektedir. 1 üzerinde yaşlıdan gence doğru sırasıyla 2, 3 ve 4 no'lu birimler çökmüştür. Holosen öncesi birimlerle (2 no'lu birim) Holosen transgresyonu (Flandriyan transgresyonu) sırasında çökelen güncel birimleri (3, 4) ayırt edilmiştir (Şekil 5-9). Sismik kesitlerde, birimler içerisinde farklı uyumsuzluk yüzeyleri tespit edilmiştir (Şekil 7 ve 9). Bölgenin aktif tektoniğinin bu uyumsuzluk yüzeylerinin oluşmasında belirleyici unsur olduğu düşünülmektedir.

Deniz tabanı tekrarlı yansımaları (Multiple), su derinliğinin az olması nedeni ile bazı kesimlerde sorun yaratsa da genelde bu çalışmanın yapıldığı derin kesimlerde sorun olmamıştır (Şekil 6). Sismik kayıtların değerlendirilmesi sonucu araştırma sahasında normal faylar tespit edilmiştir (Şekil 6-9). Marmara Denizinde ki bölgesel ölçekli faylar genellikle doğu-batı gidişlidir. Kıyıya dik ve paralel olan sismik kesitlerde bu faylar tespit edilmiştir. Sismik kesitlerde görülen topoğrafik değişimlerin büyük bir bölümü, akıntıların aşındırma zonları ile birlikte; deniz düzeyi değişimlerinin durağan (Stillstand) dönemlerinde ki kıyı aşınmalarının izleri olarak değerlendirilebilir.



Şekil 5. Paralel ve kaotik yansıma şekilleri (Sismik stratigrafik birim 4 tüm kesitlerde tespit edilmiştir. Sol tarafta ki sismik kesit kıyıya dik, sağ tarafta ki sismik kesit ise kıyıya paralel bir kesittir)

17 Ağustos 1999 Gölcük depremi sonucunda, Sapanca-Gölcük segmanının uzantısı olarak İzmit Körfezi'ne Baş İskele mevkiinde giren Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Seymen, Kavaklı, Gölcük ve Değirmendere bölgelerinde kıyasal çökmelere neden olmuştur. Doğu ve orta basenleri gevşeyen bükümlerle aşan fay, Hersek deltası doğusunda ki çukurun ortasından geçerken tipik bir negatif çiçek yapısına dönüşmüştür. Bu çukurluğun kuzey ve güneyinde bulunan ve derinde gömülü ana faya açılı normal faylar, gevşeyen büküm karakterini sürdürerek bu havzayı şekillendirmiştir. Fay bu lokaliteden sonra Hersek deltasının az dayanımlı yüzey örtüsünü parçalamadan, altında ki suya doymuş çamurları geçerek, Tuzla Burnu önlerine kadar uzanmıştır. KAF'nın İzmit Körfezi içinde gevşeyen bükümlerden oluşan tek bir fay olduğu söylenmektedir [35].

4.2.1. Akustik Temel

Akustik temel (1), yorumu yapılan sismik kayıtlarda (Şekil 5-8) genellikle karmaşık yansıma şekilleriyle ayırt edilmiştir. Ancak bazı kayıtlarda (Şekiller) dalgalı yansıma şekilleri göstermesi bu serinin kıvrımlanma hareketlerine maruz kaldığını ifade etmektedir. Akustik temel, kara jeolojisi ile korele edildiğinde Triyas yaşında ki kırıntılı kayalardan oluştuğu düşünülmektedir. Faylarla kesilmiş olan akustik temelin üst yüzeyi engebeli bir yapı arz etmektedir (Şekil 6-9). Sismik yansıma kesitlerinde temel kaya birimlerinin nadiren eğimli bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Fakat bu yapı içerisinde yerel ve süresiz, dalgalı kıvrımlı kesimler de vardır. Çalışma alanında ki K-G

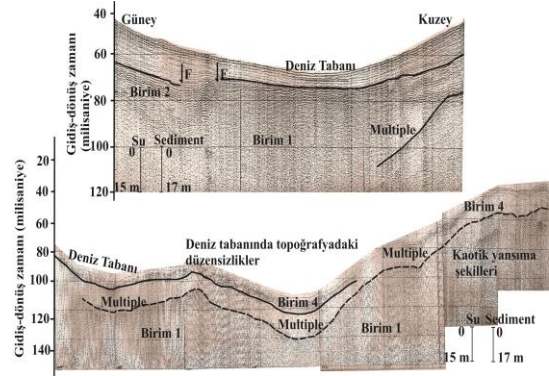
doğrultulu, kıyıya dik hatlarda iyi gözlenen kıvrımların eksenleri yaklaşık D-B doğrultusunda uzanmaktadır.

4.2.2. Sismik Stratigrafik Birim 4

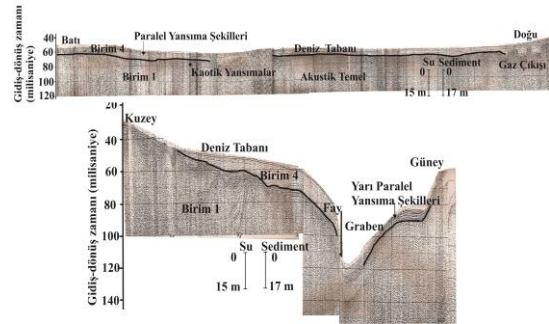
Sismik Stratigrafik birim 4'ün üst sınırı tüm sismik kayıtlarda deniz tabanını temsil etmektedir (Şekil 5-9). Çalışma sahasının en genç birimi olup güncel depolanmayı temsil etmektedir. Sismik kayıtlarda paralel yansıma şekilleri ile karakterize edilmektedir. Bu istif içerisinde ki yansıma yüzeyleri genelde istifin üst kısımlarında geniş aralıklı ve birbirine paralel olarak izlenmektedir. Hemen hemen tüm sismik kesitlerde devamlılığı iyi ve yer yer büyük amplitüdü yansıma şekillerini içermektedir. Refleksiyon devamlılığının iyi olması çökelen tabakaların devamlı olduğunu, geniş alanlara yayıldığını ve muhtemelen aynı bir ortamın ürünü olduğunu belirtmektedir. Büyük amplitüdlere ise göreceli olarak iri taneli malzemeleri ifade etmektedirler [39]. Çökel seri 4 aynı zamanda faylanma hareketlerine maruz kalmıştır (Şekil 6-9). Bu faylar aktif fay olarak adlandırılabilir. Şekil 5'de sağ tarafta ki sismik kesit, doğu-batı doğrultusunda uzanan kıyıya paralel ve grabeni çapraz olarak kesen bir sismik profildir. Güncel sedimentleri oluşturan refleksiyonlar, paralel ve dalgalı yansıma şekillerinden oluşmaktadır. Deniz tabanında fayların varlığı net bir şekilde görülmektedir. Bu faylar güncel sedimentler içerisinde olduğu için aktif faylardır.

4.2.3. Sismik Stratigrafik Birim 3

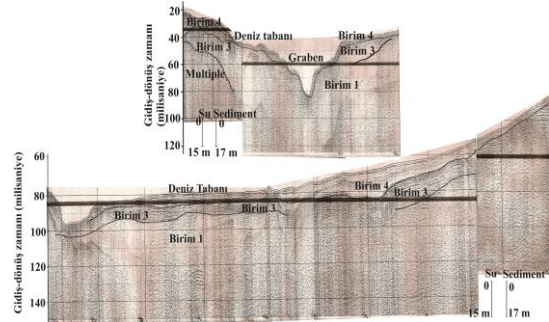
Bu sismik stratigrafik birim akustik temel üzerinde yer alan 2 no'lu çökel serisinin üzerinde yer almaktadır (Şekil 7-9). Bu seri az paralel yansıma, paralel ve kaotik yansıma şekilleriyle tanımlanmaktadır. Bu tip refleksiyon şekilleri genelde şelf/platformlarında görülmektedir [31]. Çökel serisi 3 Flandriyen transgresyonunun ilk evresine ait bir birim olarak ayırt edilmiştir. Sismik kesitlerden, bu serinin yer yer faylanma hareketlerine maruz kaldığı görülmüştür (Şekil 7-9).



Şekil 6. Deniz tabanında dalgalanmalar ve güncel birimleri kesen aktif faylar tespit edilmiştir. Altta ki sismik kesit içerisinde ardışık yansımalar (Multiple) görülmektedir



Şekil 7. Üstte ki sismik kesitte kesitin doğusunda gaz çıkışları görülmektedir. Alta ki sismik kesitte ise grabenin her iki yamacında da deniz tabanını etkileyen faylar tespit edilmiştir



Şekil 8. Üstte ki sismik kesit güney-kuzey yönlü ve 4 km uzunluğunda olan bir sismik kesittir

Şekil 8 ve 9'da yer alan 3 no'lu birim kıyı başlangıcında ki dış görünümü ile merccek şeklindedir. Çökel seri 3'ün üst sınırında erozyonal yontulmalar görülmektedir. Alt sınırında ise karaya doğru aşma (Onlap) görülmektedir. Kıyısız 'onlap' çökellerini karakterize eden yansıma paketleri çoğunlukla paralel/yarı paralel ve açılan yansımalarla belirgindir. Sonuç olarak, kıyısız 'onlap'ler deniz seviyesinin göreceli yükselmesi sırasında ve aşındırılmış şelf üzerinde gelişen kıyı yakını su altı-su üstü ortam ve ilgili birimlerden oluştuğu söylenebilir. Bu seri dış görünüş itibarıyla genelde yaygı-örtü (sheet-drape) türü sismik birim görünümü sergilemektedir.

Bu tür birimler düzenli olarak çöken şelfler ve delta düzlüklerini veya duraylı basen düzlüklerinde ki tekdüze bir sedimantasyonu karakterize etmektedir [31]. İzmit Körfezi'ne akan sular Gölçük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve ayrıca Sapanca ve İzmit Körfezi arasında ki alüvyonal düz alanı oluşturmuşlardır. Deniz tabanı ve altında ki deltaik oluşuklar, kama ve merceksi yapılar mevcuttur [15]. Başiskeleden denize giren kırık, post-trasgreyonel Holosen çökellerini kesmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi güncel çökel kalınlığı oldukça incedir. Deniz tabanında aktif faylar tespit edilmiştir. 1999 Gölçük Depremi'nden sonra, İzmit Körfezi ve Marmara Denizi'nde aktif faylar boyunca bazı akışkanların (su ve gaz) çıkışının olduğu belirlenmiştir. Gaz çıkışları fayların aktivitesi bakımından önemlidir. Çünkü fayın aktif olduğunun da belirtisidir. Gaz ve su çıkışlarının hacminde ki değişiklikler ve bunların bileşiminde olan değişimlerin yaklaşmakta olan deprem hakkında önemli ipuçları vermektedir.

Sismik yansıma kesitlerinde Hersek Burnu'nun batısında Laledere (Kılıç) deltasına yakın gözlenen gaz çıkışları ve deniz tabanında ki yerel açılmalar bu bölgede ki aktiviteye işaret etmektedir. Zaman zaman çökellerin içinde ki metan gazı su ortamına geçerek yükselen bacaların oluşmasına neden olmuştur (Şekil 7). Bu nedenle KAF'nın, Hersek Burnundan başlamak üzere atımının Marmara'ya doğru gittikçe azaldığı söylenebilir [24].

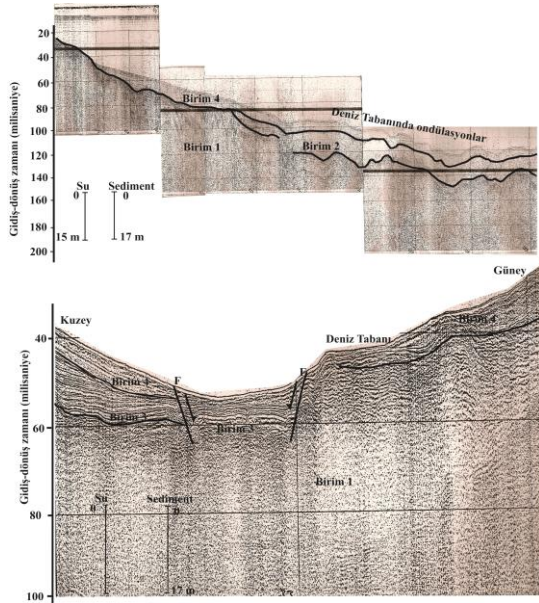
Bu kesitte 252 ve 257 no'lu ölçüm noktaları arasında ki kanal dikliği çekmektedir. Güncel sediment kalınlığı oldukça azdır. Altta ki sismik kesit ise 7 km uzunluğunda ve kuzey-güney yönlü bir sismik profildir. Her iki sismik kesitte de birim 3 ve 4 tespit edilmiştir.

4.2.4. Sismik Stratigrafik Birim 2

Akustik temel üzerinde gözlemlenen bu seri oblik (Şekil 9) sismik yansıma şekilleriyle karakterize edilmektedir. Yansımalar üst sınırda veya yakınında 'toplak'lerle, tabanda ise 'downlap'lerle sona ermektedir. Yapılan çalışmalar bu birimin deniz seviyesinin göreceli olarak duraylı (stillstand) olduğu konumda veya uygun sediman temininin olması koşuluyla yükselmenin yavaşladığı konumda gelişebildiğini göstermiştir [39]. Daha önce belirtildiği gibi, deniz seviyesinin göreceli olarak duraylı kalması veya çok yavaş yükselmesi sırasında şelf üzerinde gelişen deltalarda, getirilen malzemenin çökeltme (depolanma) alanını (accommodation) aşması nedeniyle oblik ilerlemeler meydana gelmektedir. Bu şekilde, ilerleyen bir delta önce ki (eski) şelf kenarına ('offlap break'e) ulaştığında (şelf kenarı deltası), getirilen malzeme basen yamacı vasıtasıyla ve çeşitli sedimanter işlevlerle yamaç ayağı ve basen derinliklerine taşınmaya başlamaktadır. Bu koşul oluştuğunda ve genel oblik ilerlemeler sigmoidlere dönüşebilmekte, dolayısıyla sedimanter karakterde değişmektedir [39]. Sismik kesitlerde görülen 'Toplak'ler göreceli olarak malzeme temin edildiğini ve sediment 'by-pass'ını karakterize ederler. Dolayısıyla yukarıya doğru büyüme yoktur veya minimum düzeydedir. Bunun anlamı, çökeltmenin sübsidans oranına veya deniz seviyesinin göreceli yükselme miktarına göre daha hızlı ve fazla olduğudur. Bu durum sedimanter rejimin göreceli olarak yüksek enerjili olduğunu belirtmektedir. Bu tip sedimantasyon genelde şelf deltaları veya şelf kenarı deltaları için karakteristiktir [39-40].

Şekil 9'da üstte ki sismik kesit, 20 km uzunluğunda doğu-batı yönünde ve Yarımca ile Dil Burnu arasında olan enine bir kesittir. Yansıma

kesitinin doğusunda en yaşlı birim Silüriyen formasyonuna karşılık gelmektedir. Bu birim burada şekilde de görüldüğü gibi kıvrımlı bir yapı sergilemektedir. Deniz tabanını etkileyen faylar Şekil 9'da ki altta ki sismik kesitte açık bir şekilde görülmektedir. Fayların atımları fazla büyük değildir. Sismik kesitin batısına doğru olan ölçüm noktalarında en yaşlı birim Trias'a karşılık gelmektedir.



Şekil 9. Sismik stratigrafik birimlerin hepsi bu sismik kesitte görülmektedir. Üstteki ve alttaki sismik kesitlerde uyumsuzluk yüzeyleri net bir şekilde görülmektedir

Çökel serisi 2'nin Geç Pleyistosen/Holosen öncesi dönemde çökelindiği ve son buzul maksimumunda da erozyona maruz kaldığı tahmin edilmektedir. Ayrıca bu serinin faylanma hareketlerine maruz kaldığı bazı sismik kayıtlardan da anlaşılmaktadır (Şekil 6 ve 9).

Yüksek ayrımlı sismik kesitler İzmit Körfezi şelfinin Pleistosen'deki denizel hareketler esnasında gelişen sedimanter istifler tarafından şekillendirilmiş olduğunu ve delta açıklarında ki modern şelf sınırının esasen Pleistosen deltasının "topset-forset" geçişlerinden oluştuğunu göstermiştir [38].

4.2.5. İzmit Körfezi Dip Çökelleri

İzmit Körfezi'nde daha önce yapılan dip sondajlarında kalın bir tortul istifin varlığı tespit edilmiştir [31]. Bu sondajlardan en derin olanı körfez güneyinde ki Hersek deltasında yapılmış ve -118 metre'ye inilmiştir. İstifin tabanına ulaşamamış olan bu sondajda kil, kum, çakıl, silt ve kavkı düzeyleri kesilmiştir. Bu tortul istif çeşitli yönleri ile araştırılmıştır [11-13, 41].

Körfez tortullarının kaynağı büyük ölçüde karasaldır. Bunlardan en belirgin olanı Hersek deltasıdır. İzmit Körfezi KAF'nın oluşumuna bağlı olarak gelişmiş bir tektonik koridordur. Dolayısıyla tabanında yer alan çökeller KAF ile yaşıttır. Hersek deltası sondajında körfezde ki çökelin en Geç Pliyosen'den günümüze kadar değişik ortam koşullarında süregeldiği görülmüştür [12]. İstifin tabanında en Üst Pliyosen'i tanımlayan *Discoaster brouweri* zonu belirlenmiştir.

İzmit Körfezi'nde tespit edilen çökel topluluğunun başlıca dört evrede ve dört ayrı ortamda depolandığı belirlenmiştir [12]. Buna göre körfezde en Üst Pliyosen'de anoksik denizel, Alt-Orta Pleyistosen'de derin ve sığ acı su, Üst Pleyistosen başında acı su, delta, karasal ve Üst Pleyistosen sonu - Holosen'de ise denizel koşullar egemen olmuştur. Körfez tortullarının en Üst Pliyosen-Orta Pleyistosen yaşlı bölümleri, KAF koridorunun doğu devamında yer alan Karapürçek formasyonunun denizel karşılığı olarak çökelmiştir (Şekil 3b). Körfez çevresinde ki denizel sekiler ise istifin Orta Pleyistosen evriminin kıyıdaki karşılığıdır.

Holosen yaşlı birimler, İzmit Körfezi'nin çevresinde delta, plaj ve bataklık çökellerinden oluşmaktadır. Deltalar daha öncede bahsedildiği gibi körfezin güney ve kuzey kıyıları boyunca gelişmiştir. Güneyden beslenen deltalar daha büyük loblar oluşturmuştur. Hersek deltası İzmit Körfezi içerisinde gelişmiş en büyük tortul birimidir. Delta üzerinde lagünler yer almaktadır. Körfezin doğu kıyılarındaki bataklık çökelleri yaygındır [42].

Körfez’de genç çökellerin kalınlığı ve tane-boyu Körfez tabanı ve çevreleyen kara alanlarının yamaç eğimlerine, akıntıların gücüne ve gereç niceliğine bağlıdır. Bu açıdan, Yalacdere Delta istifi yoğun taşınımından kökenlenen kalın bir istiftir. Çökelim hızları açısından, Körfez alanında ortalama 21 cm/binyıl, en çok 70 cm/binyıl değerleri belirlenmiştir [36].

Sonuç olarak, İzmit Körfez’de ki güncel çökeller tabandan tavana Pliosenöncesi/Pliosen, Orta/Geç Pleistosen ve Holosen dizilimini sergilemektedir. Bu açıdan tüm ardıllık bir Plio-Kuaterner birimi olarak tanımlanabilir. Sismik kesitlerden, birimlerin kalınlığı 5 ms (milisaniye) ile 43 ms arasında değiştiği belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

İzmit Körfezi’nin Geç Kuvaterner sismik stratigrafisini belirlemek amacıyla bu bölgeden elde edilen yüksek ayırmalı sığ sismik yansıma kesitleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda yeterli sayıda ve yakın aralıklarla sismik kayıtların elde edilmiş olması sismik kayıtların analiz ve değerlendirilmesinde kolaylık sağlamıştır. Ayrıca birbirine yakın ve bazen birbirini kesen hatlarda ki, sismik kayıt görüntülerinin benzer nitelikleri veya farklılıkları, önemli bir değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Sismik veriler sismostratigrafik özelliklerine göre değerlendirilerek çalışma alanındaki çökel birimler tespit edilmiş ve yorumlanmıştır. Batimetri (deniz tabanı) ve güncel sediment kalınlığı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada Uniboom sığ sismik sisteminin güncel sedimanların stratigrafik özelliklerinin ve kalınlıklarının belirlenmesinde başarıyla kullanılabileceği anlaşılmıştır.

İzmit Körfezi, Marmara Denizi’nin doğu yönde ki uzantısı olan ve KAFZ’nu sistemince biçimlendirilmiş D-B yönlü bir grabendir. 17 Ağustos 1999 depreminden sonra İzmit Körfezi’nde yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmaların sonuçlarına göre deprem esnasında yenilen ana fay İzmit Körfezi’nin içinde tek bir faydır. Fay, İzmit Körfezi’nin doğusunda Başiskele mevkiinde denize girmekte, doğu Hersek çukurunu gevşeyen büklüm olarak açmaktadır

[24]. İzmit Körfezi’nde ki bölgesel mikro-deprem dağılımı körfezin güney kıyısını sınırlayan fayın kuzeydekine göre daha aktif olduğunu düşündürmektedir. Buna karşın, orta ve büyük şiddetli depremler ise doğrultu atımlı faylar boyunca oluşmuş izlenimini uyandırmaktadır [37].

İzmit Körfezi’nde, deniz tabanının topografyası, dalga, akıntı, paleotopografya ve tektonik etkilerin altında kalan sedimantasyon dinamiğiyle yakından ilişkilidir. Körfezin deniz tabanı morfolojisi büyük ölçüde tektonik ve sedimantolojik faaliyetlerin bir sonucudur. Çalışma sahasından toplanan sismik kayıtların yorumlanması ve İzmit Körfezi’nde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılması sonucu temel kaya (akustik temel) ve üzerinde yer alan 3 farklı çökel serisi (2, 3 ve 4) ayırt edilmiştir. Sismik kayıtlarda tespit edilen akustik temel üzerinde uzanan çökel serisi 2’nin Geç Pleistosen/Holosen öncesinde çökeldiği ve son buzul maksimumunda da erozyona maruz kaldığı düşünülmektedir. Çökel serisi 3 ve 4’ün Holosen transgressif depolanma şartlarında çökeldikleri düşünülmektedir.

Son buzul çağından sonra su seviyesi yükselmeye başlamış günümüzden yaklaşık 12.000 yıl önce Çanakkale Boğazı eşiğini aşmasıyla birlikte Akdeniz suları Marmara Denizini hızla doldurmaya başlamıştır. Bunun sonucu Marmara Denizinde ki su seviyesi hızlı bir şekilde yükselmeye başlamış ve çok kısa bir zaman süreci içinde su seviyesi -95 metre’den -75 metre’ye ulaşmıştır. Bu yükselim ile birlikte Flandriyen transgresyonuna ait birimler Marmara Denizinde çökelmeye başlamıştır [43-48].

Sismik stratigrafik birim 3’ün bu transgressif depolanmanın ilk evresinde çökeldiği tahmin edilmektedir. Sismik stratigrafik birim 4 bölgede ki en güncel çökel serisi olup halen depolanmaya devam etmektedir. Sismik stratigrafik yorumlamalar, Holosen dönemine ait oldukları belirlenen çökel serilerinin (3,4), altta ki daha yaşlı serilerden (1,2) bir yansıtıcı yüzeyi ile ayrıldığını göstermektedir. Bu yüzeyin Pleistosen’in son devresi ile Holosen döneminin ilk devresinde ki alçalmış deniz yüzeyi safhasında (Würm regresyon, deniz yüzeyinin bu günden yaklaşık 100 m aşağıda, 18000-20000 yıl önce) karasal

aşınma yüzeyi olduğunu ve halen deniz altında gömülü olup bunun üzerinde de buzul sonrası (Post Glacial) deniz ilerlemesi (Flandrien Transgresyonu) sonucu oluşmuş sedimanların bulunduğunu ifade edebiliriz.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma MMF2005BAP9 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır. Katkılarından dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine ve Sığ Sismik Verileri temin ettiğim, Dz.K.K. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, (SHOD) Çubuklu gemi personeline katkılarından dolayı teşekkür ederim.

7. KAYNAKLAR

1. Bowen, DQ., 1978. Quaternary Geology, 221 pp, Pergamon, New York.
2. Fairbanks, RG., 1989. A 17.000-Year Glacio-Eustatic Sea Level Record: Influence of Glacial Melting Rates on the Younger Dryas Event and Deep-Ocean Circulation. Nature, 342: 637-642.
3. Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, PR., 1987. Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, 235: 1156-1167.
4. Kennett, JP., 1982. Marine Geology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 813 pp.
5. King, LC., 1972. The Natal Monocline: Explaining the Structure and Origin of Natal. Univ. of Natal Press, Pietermaritzburg.
6. Vail, PR., Mitchum, RM. JR., Todd, RG., Widmier, JM., Thompson, S. III., Sangree, JB., Bubb, JN., Hatlelid, WG., 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. In Payton, C.E. (ed.), Seismic Stratigraphy–Applications to Hydrocarbon Exploration. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 26: 49-212.
7. Bates, S.L., Siddall, M., Waelbroeck, C., 2014. Hydrographic Variations in Deep Ocean Temperature Over the midPleistocene Transition, Quaternary Sci. Rev., 88:147-158.
8. Suess, E., 1885. Da Antlitz de Erde, 1. Prague: F. Tempsky. Toksöz, M.N., Shakal, A.F. and Michael, A.J., 1979.
9. Gökaşan, E., Alpar, B., Gazioglu, C., Yücel, Z.Y., Tok, B., Doğan, E., Güneysu, C., 2001. Active Tectonics of the Izmit Gulf (NE Marmara Sea): From High Resolution Seismic and Multi-Beam Bathymetry Data. Marine Geology, 175: 273-296.
10. Barnett, TP., 1990. Recent Changes in Sea Level: A Summary. In Sea-Level Change. National Research Council, Studies in Geophysics, National Academy Pres, Washington, D.C., pp.37-51.
11. Ediger, V., Ergin, M., 1995. İzmit Körfezi (Hersek Burnu-Kaba Burun) Kuvaterner İstifinin Sedimentolojisi, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (ed. Engin Meriç). 241-251.
12. Meriç, E., 1995. İzmit Körfezi (Hersek Burnu-Kaba Burun) Kuvaterner'inin Stratigrafisi ve Ortamsal Özellikleri, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (Ed: E.Meriç), 251-258.
13. Meriç, E., Yanko, V., Avşar, N., 1995. İzmit Körfezi (Hersek Burnu-Kaba Burun) Kuvaterner İstifinin Foraminiger Faunası, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (ed. Engin Meriç), 105-151.
14. Sakınç, M., Bargu, S., 1989. İzmit Körfezi Güneyinde ki Geç Pleyistosen (Tireniyen) Çökel Stratigrafisi ve Bölgenin Neotektonik Özellikleri. T.J.Bült., 32: 1-2: 51-64.
15. Alpar B., Güneysu C., 1999. Evolution of the Hersek Delta (Izmit Bay), Turkish J. Mar. Sci., 5 (2) : 57-74.
16. Özhan, G., Kavukçu, S., Çete, M., Kurtuluş. C., 1985. Marmara Denizi-İzmit Körfezi Yüksek Ayırmımlı Sığ Sismik Etüdü Raporu, MTA Jeofizik Etüdüleri Dairesi Başkanlığı.
17. Seymen, İ., 1995. İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi, İzmit Körfezi'nin Kuvaterner İstifi, Editör: Engin Meriç, s. 1-12, Kocaeli.
18. Çagatay, MN., Görür, N., Polonia, A., Demirbağ, E., Sakınç, M., Cormier, MH., Capotondi, L., McHugh, C., Emre, Ö., Eris, K., 2003. Sea-level Changes and Depositional Environments in the İzmit Gulf, Eastern Marmara Sea, during the Late Glacial-Holocene period. Marine Geology, 202: 159-173.
19. Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Çakmak, R., Özener, H., 2004. Estimation of the Time-Dependent Crustal Movements of the Izmit

- Earthquake. *Journal of Geodynamics*, 36:615-632.
20. Dolu, E., Gökaşan, E., Meriç, E., Ergin, M., Görüm, T., Tur, H., Ecevitoglu, B., Avşar, N., Görmüş, M., Batuk, F., Tok, B., Çetin, O., 2007. Quaternary Evolution of the Gulf of Izmit (NW Turkey): A Sedimentary Basin Under Control of the North Anatolian Fault Zone, *Geo-Marine Letters*, 27:6:355-381.
21. Karabulut, H., Schmittbuhl, J., Özalaybey, S., Lengliné, O., Kömeç-Mutlu, A., Durand, V., Bouchon, M., Daniel, G., Bouin, M.P., 2011. Evolution of the seismicity in the eastern Marmara Sea a decade before and after the 17 August 1999 Izmit Earthquake. *Tectonophysics*, 510:17-27.
22. Koulakov, I., Bindi, D., Parolai, S., Grosser, H., Milkereit, C., 2010. Distribution of Seismic Velocities and Attenuation in the Crust Beneath the North Anatolian Fault (Turkey) From Local Earthquake Tomography. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 100:1:207-224.
23. Bargu S., Yüksel A., 1993. İzmit Körfezi Kuvaterner Deniz Dibi Çökellerinin Stratigrafik ve Yapısal Özellikleri ile Kalınlıklarının Dağılımı, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 8: 169-187.
24. Akkargan, Ş., Alpar, B., 2000. İzmit Körfezi ve Adalar Bölgesinde ki Aktif Fayları; 1894 Depremi. *Jeofizik*, 14: 3-14.
25. Alpar, B., Yaltrak, C., 2002. Characteristic Features of the North Anatolian Fault in the Eastern Marmara Region and its Tectonic Evolution. *Marine Geology*, 190:329-350.
26. Yücesoy, E.E., 2006. İzmit Körfezi Çok Kanallı Sismik Yansıma Verilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, 88.
27. Barka, AA., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 7:663-684.
28. İmren, C., Le Pichon, X., Rangin, C., Demirbağ, E., Ecevitoglu, B., Görür, N., 2001. The North Anatolian Fault Within the Sea of Marmara: a New Evaluation Based on Multichannel Seismic and Multibeam Data. *Earth Planet Sci Lett* 186:143-158.
29. Kalafat, D., 2011. Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.
30. Mitchum, R.M., 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 1: Glossary of Terms Used in Seismic Stratigraphy, in Payton, C.E., ed., *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration: Association of Petroleum Geologists Memoir* 26: 205-212.
31. Mitchum, R.M. Jr., Vail, P.R., Thompson, S. III 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. See Payton 1977, pp. 53-62.
32. Mitchum, R.M., Vail, P.R., 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea-Level, Part 7: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: C.E. Payton, Editor, *Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration, Memoir, American Association of Petroleum Geologists*, 26:135-144.
33. Güneysu, C., 1999. The Bathymetry of the Izmit Bay, *Turkish J. Mar. Sci.*, 5: 3: 167-170.
34. Ergin, M., Yörük, R., 1990. Distribution and Texture of the Bottom Sediments in Semiclosed Coastal Inlet, Izmit Bay from the Eastern Sea of Marmara (Turkey), *Estuarine. Coastal and Shelf Science*, 30: 647-654.
35. Alpar, B., Yaltrak, C., 1999. Kuzey Anadolu Fayı'nın İzmit Körfezi İçinde ki Özellikleri ve 17 Ağustos 1999 Depreminin Etkileri. 04-05 Kasım 1999 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Aktif Tektonik Araştırma Grubu 3. Toplantı Makaleler Kitabı: 12-19.
36. Özhan, Ö., Bayrak, D., 1998. İzmit Körfezi Plio-Kuaterner Çökellerinin Sismik İrdelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41: 2: 151-164.
37. Koral, H., Öncel, A.O., 1995. İzmit Körfezi'nin Yapısal ve Sismolojik Özellikleri, *Jeofizik*. 9: 1-2: 79-82.
38. Uluğ, A., Duman, M., Özel, E., Avcı, M., 2003. İzmit Körfezi Geç Kuvaterner Tarihçesi ve Tektonik Yapısının Deniz Sismik Verileri

- ile Araştırılması. Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli. Uluğ, A., Duman, M., Özel, E., Avcı, M., 2003. İzmit Körfezi Geç Kuvaterner Tarihçesi ve Tektonik Yapısının Deniz Sismik Verileri ile Araştırılması. Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
39. Vail, P.R., Todd, R.G., Sangree, J.B. 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 5: Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections. See Payton 1977, pp. 99-116.
40. Vail, P.R., Mitchum, R.M., Thompson, S. III. 1977a. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4: Global Cycles of Relative Changes of Sea Level. See Payton 1977, pp. 83-97.
41. Cerit, O., Sezen, TF., Nurlu, M., 1999. 17 Ağustos 1999 Güney Marmara Depremi Tektonik Özellikleri. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 3. Toplantı Makaleler Kitabı: 32-42. 04-05 Kasım 1999, Cumhuriyet Üniversitesi Sivas.
42. Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E., 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen – Kuvaternerde ki Evrimi. MTA Dergisi 120: 233-258.
43. Aksu, AE., Hiscott, RN., Kaminski, MA., Mudie, PJ., Gillespie, H., Abrajano, T., Yasar, D., 2002. Last Glacial-Holocene Paleoceanography of the Black Sea and Marmara Sea: Stable İstotopic, Foraminiferal and Coccolith Evidence, Mar. Geol. 190 (1-2):119-149.
44. Çagatay, M.N., Görür, N., Algan, O., Eastoe, C., Tchepalyga, A., Ongan, D., Kuhn, T., Kuscu, I., 2000. Late Glacial-Holocene Paleoceanography of the Sea of Marmara: Timing of the Connections With the Mediterranean and the Black Seas. Mar. Geol. 167:3-4:191-206.
45. Karakılıç, H., 2004. Late Quaternary Seismic Stratigraphy of the North of Continental Shelf of the Marmara Sea (Silivri-Kumkapı). Ph.D. Thesis, Department of Geological Engineering, Institute of Natural Applied Sciences, University of Cukurova, Adana, 194 pp.
46. Oktay, FY., Gökasan, E., Sakınç, M., Yalıtırak, C., Imren, C., Demirbag, E., 2002. The Effects of the North Anatolian Fault Zone on the Latest Connection Between Black Sea and Sea of Marmara. Mar. Geol., 190: 367-382.
47. Smith, A.D., Taymaz, T., Oktay, F., Yüce, H., Alpar, B., Basaran, H., Jackson, J.A., Kara, S., Simsek, M., 1995. High-Resolution Seismic Profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): Late Quaternary Sedimentation and Sea-Level Changes. Geol. Soc. Am. Bull. 107, 923-936.
48. Yalıtırak, C., Alpar, B., Sakınç, M., Yüce, H., 2000. Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): Regional Tectonics and the Mediterranean-Marmara Incursion. Mar. Geol. 164: 139-156.

Levent (Akçadağ-Malatya) Bölgesinin Tektono-Stratigrafisi

Selim SOLAK¹, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ¹², Ahmet Can AKINCI²

¹Vedat Kaya Gözlem Müşavirlik Firması, Kayseri

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Çalışma alanı Malatya İlinin kuzeybatısında yer almakta olup, yaklaşık 120 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgede Üst Jura–Tersiyer yaş aralığında kayalar yüzeylenmektedir. Levent ve çevresinin kaya stratigrafi birimleri ve tektono-stratigrafik özelliklerini belirlemek amacı ile yapılmış bu çalışmada 6 farklı litostratigrafi birimi ayırılarak haritalanmıştır. Bölgenin temel kayalarını Üst Jura–Alt Kretase yaşlı, aşırı derecede altere olmuş, kısmen tabakalı, gri–bej renkteki Horasançal Formasyonu oluşturmaktadır. Geç Kampaniyen sırası ve sonrasında olasılıkla kuzeyden güneye doğru bindirmeler ile gelen Hocalıkova ofiyoliti, temeldeki Horasançal Formasyonunu tektonik olarak üzerlemektedir. Geç Kampaniyen–Erken Maastrichtiyen’de tektonik aktivite ile denetlenen bir havzada transgresif olarak Ulupınar Formasyonu havzanın kenar kesimlerinde (sığ denizel-sahil çizgisi çökelleri) çökelmiştir. Ulupınar Formasyonunun üzerine; başlıca çakıtaşı, kumtaşı, kireçtaşı–marn aralanmasından oluşan, Orta–Geç Eosen yaşlı ve genelde lagün, kumsal, şelf ortamlarında çökelen Tohma Formasyonu aşıl uyumsuzlukla gelmektedir. Tohma Formasyonu üzerine yine uyumsuz olarak başlıca bazaltlardan oluşan Orta–Geç Miyosen yaşlı Yamadağ volkanitleri gelmektedir. Bölgedeki en genç birimler olan Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazeleri ve alüvyonlar diğer bütün birimler üzerinde aşıl uyumsuzlukla yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Levent-Akçadağ, Tektono-stratigrafi, Malatya baseni

Tectono-Stratigraphy of Levent (Akçadağ-Malatya) Region

Abstract

The study area is located to the Northwest of Malatya city and covers an area of about 120 square km. Upper Jurassic–Tertiary aged formations are exposed around the region. This study aims to determine lithostratigraphic and tectonostratigraphic features of the units in Levent village and its near surrounding area where six lithostratigraphic units have been distinguished. The basement is represented by Late Jurassic–Early Cretaceous age Horasançal Formation which consists of fractured, partly bedded, grey to beige coloured limestone. The Hocalıkova ophiolites, which tectonically overlies the Horasançal Formation, probably thrust into the area from north to the south during and/or after late Campanian. The Ulupınar Formation transgressively deposited to the edge of the basin (shallow marine-shore line sediments) during late Campanian–early Maastrichtian around the tectonically controlled basin. Upper Cretaceous Ulupınar formation consisting of conglomerate, sandstone, marl and limestone was deposited

¹ Sorumlu yazar (Corresponding author): Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, ulvican@cu.edu.tr

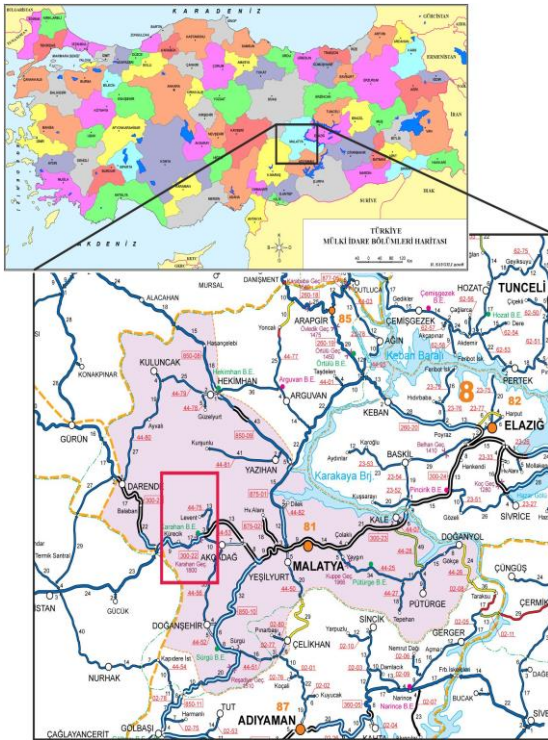
partly in a shoreline area and partly in very shallow marine environments. Middle-Upper Eocene age Tohma formation that generally deposited in lagoon, beach and shelf environments comprising mainly pebblestone, sandstone, limestone-marl rests on the Ulupınar Formation with an angular unconformity. Middle-Late Miocene age Yamadağ volcanics comprising mainly basalts unconformably rests on the Tohma Formation. Quaternary age alluvial fan and alluviums are the youngest sediments of the area and unconformably rest on all the older units.

Keywords: Levent-Akçadağ, Tectono-stratigraphy, Malatya basin

1.GİRİŞ

Yüksek Lisans tez çalışmasından türetilen bu makalede Levent (Akçadağ, Malatya batısı) ve civarının jeolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma bölgesi Malatya'nın yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer almakta olup, 120 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Bölgede yer alan başlıca yerleşim merkezleri; Levent nahiye merkezi, Ortaköy, Tataruşağı, Kadıruşağı, Büyükköy, Kolköy, İncecik, Mezraaköy mahalleleridir.

- Qal: Genç Alüvyon (Kuvaterner),
- Tyd: Yamadağ Volkanitleri (Orta-Üst Miyosen),
- Tt: Tohma Formasyonu (Orta-Üst Eosen),
- Tti: İriağaç Üyesi (Üst Eosen),
- Ttçi: Çivril Üyesi (Üst Lütésiyen),
- Ttç: Çorak Üyesi (Üst Lütésiyen),
- Tty: Yoğunsakız Üyesi (Alt-Orta Lütésiyen),
- krüu: Ulupınar Formasyonu (Mastrihtiyen),
- krüh: Hocalıkova Ofiyoliti (yerleşimi Geç Kampaniyen),
- J-Kh: Horasançal Formasyonu (Jura-Alt Kretase),
- Ttz: Zeynepoğlu Üyesi (Alt Lütésiyen).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bu çalışmada 1/25.000 ölçekli Malatya L39 b1, b4 topografik harita paftaları içerisinde yer alan inceleme bölgesinde yüzeyleyen kaya birimleri ve yapısal unsurlar incelenmiş, bu araştırma sonucunda, veriler topografik harita üzerine işlenerek, bölgenin jeolojik haritası yapılmıştır. İnceleme bölgesinden toplanan örnekler ince kesit haline getirilip, mikroskop altında mineralojik özellikleri ile tanımlanabilen fosil formları incelenerek yaşları belirlenmiştir.

Çalışma bölgesi, Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun yakın batı kesiminde bulunması ve bu fay zonundan etkilenildiği düşünülerek çalışma sahası olarak seçilmiştir. Araştırma bulgularında da belirtileceği üzere, yapılan arazi çalışmaları sırasında fazla sayıda tektonik etkileri gösterecek verilere rastlanılamamıştır. Öncelikli olarak arazide belirli yönlerde gelişmiş olan dikçe şevliklerin tektonik kontrollü olarak geliştiği düşünülmektedir. Ancak, yapılan jeolojik incelemelerde, üst kesimlerde kalan sert-katı kayaların alt kesimlerinde bulunan yumuşak birimlerin aşınıp boşalması nedeniyle kaya-blok

düşmeleri şeklinde gelişmiş sarplıklardan oluştukları belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

İnceleme alanı Doğu Anadolu Bölgesinde Malatya İli sınırları içerisinde yer almakta olup, Akçadağ İlçesinin yakın kuzeybatısında yaklaşık 120 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

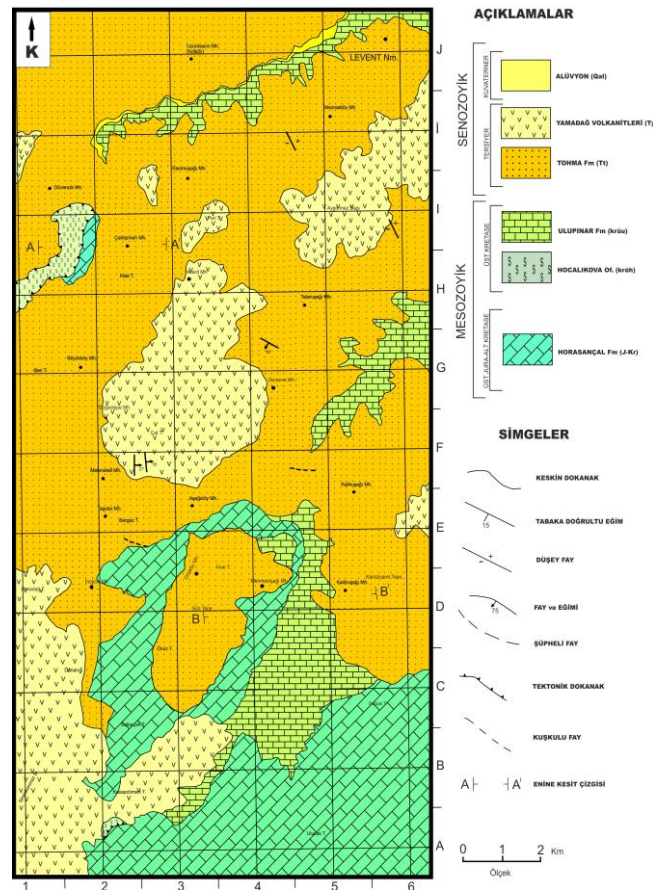
Bölge engebeli bir arazi yapısına sahiptir ve yer yer derin vadilere sahip olup, ağaçlık alanlar seyrekler. İnceleme alanının kuzey kesiminde Tohma Çayı akmaktadır. 1/25.000 ölçekli jeolojik haritanın, enine kesitlerin, örnek ve fotoğraf yerini gösteren haritanın, yapı haritasının ve diğer bütün şekillerin çiziminde bilgisayar destekli çizim

programı kullanılmıştır. Ayrıca makale içerisinde ve eklerinde kullanılan kısaltmalar, simgeler ve diğer işaretler toplu olarak aşağıda verilmiştir;

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

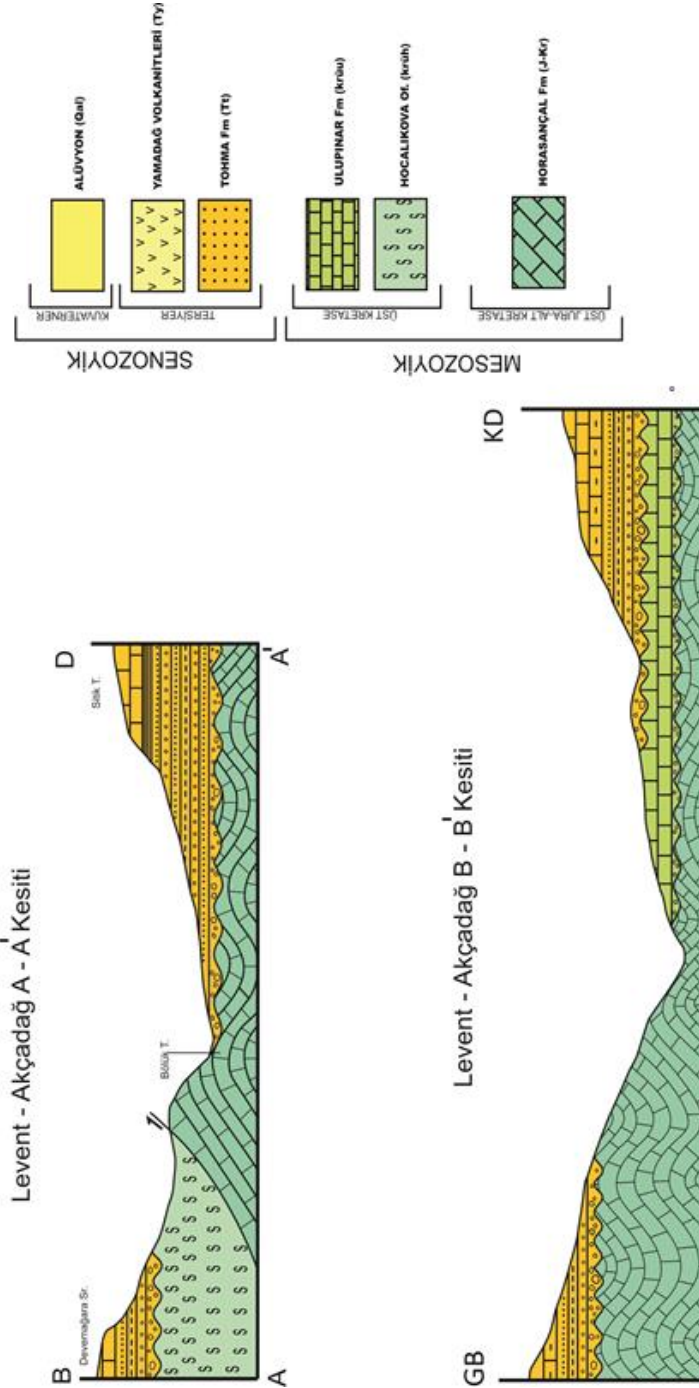
3.1. Stratigrafi

İncelenen alandaki stratigrafik istif Mesozoyik, Senozoyik ve Kuvaterner yaşlı formasyonlardan oluşmaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresinin temelinde Üst Jura–Alt Kretase yaşlı çörtlü ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Horasançal Formasyonu bulunmaktadır. Horasançal Formasyonu çalışma sahasının güney kesiminde geniş bir alanda mostra vermektedir (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası

Levent (Akçadağ-Malatya) Bölgesinin Tektono-Stratigrafisi

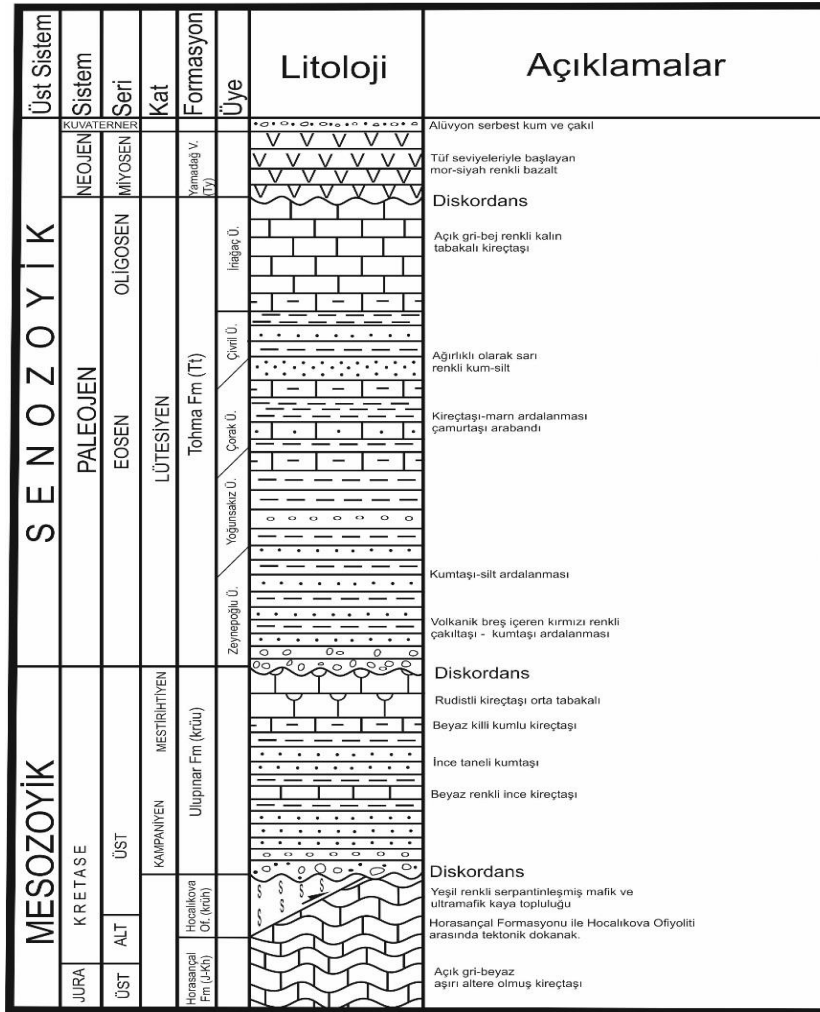


Şekil 3. İnceleme alanından alınmış enine kesitler (kesit güzergahları Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir)

HorasaŒal Formasyonun üzerine tektonik piroksenitlerden oluşan Üst Kretase yaşlı dokanakla serpantinitleşmiş serpantinitleşmiş Hocalıkova ofiyoliti gelmektedir. Üst Kretase yaşlı

Ulupınar Formasyonu ise bu birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 4). Geç Kretase'nin son evresinde oluşan bu birim ilk olarak Kırıkaya kalkerleri olarak adlandırılmıştır [1]. Kaba klastiklerden oluşan Ulupınar Formasyonu Horasançal Formasyonun üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedir. Ulupınar Formasyonu

genellikle alacalı, kırmızı renkli konglomera, kumtaşı, kumlu marn ve şeyl ardalanması halindeki kaba klastiklerden oluşmaktadır. Ulupınar Formasyonunun kaba klastiklerinin üst kesimlerinde birim dereceli olarak rudistli kireçtaşı fasiyesine geçmektedir.



Şekil 4. Levent Akçadağ bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz)

Ulupınar Formasyonu üzerine aşınma yüzeyi ile Tersiyer yaşlı Tohma Formasyonu gelmektedir. Tohma Formasyonu; Zeynepoğlu Üyesi, Yoğunsakız Üyesi, Çorak Üyesi, Çivril Üyesi ve İriağaç Üyesi olmak üzere 5 üyeden oluşmaktadır [2]. Bu çalışma kapsamında inceleme bölgesinde

yüzlek veren bazı üyelerin adları isim kargaşası yaratmamak üzere aynı şekilde kullanılmıştır. Tohma Formasyonu üzerine Tersiyer yaşlı Yamadağ Volkanitleri gelmektedir. Beyaz renkli tüfitler üzerinde koyu mor-siyah renkli bazaltlardan oluşan birimin alterasyona uğramış

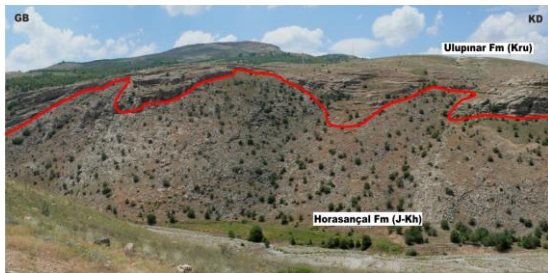
kısımları kahve renge sahiptir. Bölgedeki en genç birimler Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır [2]. Özellikle Tohma nehri kıyısında güncel çökelleri görmek mümkündür.

3.1.1. Horasançal Formasyonu (J-Kh)

İnceleme alanında temeli oluşturan Horasançal Formasyonu, çalışma sahasının özellikle güney kesimlerinde geniş mostralara vermektedir. Horasançal Formasyonu, masif yapıya aşırı derecede altere olmuş açık gri veya beyaz renkte olan kireçtaşı litolojisinden oluşmaktadır.

Çatlaklı bir yapıya sahip olan birimin bazı kesimlerinde gözlenen çatlaklar kalsitle doldurulmuştur. İnceleme sahasında temeli oluşturan bu formasyonun taban kesimi görülememektedir.

Horasançal Formasyonu, açık gri veya bej renkli, orta kalın tabakalanmalı, mikritik kireçtaşından ibaret olup, mostra veren yüzeylerinde genelde belirgin tabakalanma sunmamaktadır. Oldukça sert, sağlam ve dayanımlı görünen birim açılmış bulunan vadi boyunca sarp bir görünüm sunmaktadır. Birimin taban kesimi gözlenemediğinden dolayı kalınlığı bilinmemektedir. Jura-Kretase yaşlı Horasançal Formasyonunun üzerine çalışma sahasının güney kesiminde Mastrohtiyen yaşlı Ulupınar Formasyonunun kırıntılı çökelleri açısız uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 5). Ancak, yer yer yalnızca rudist içeren kireçtaşı seviyeleri onlar olarak temel birim üzerinde gözlenmektedir [3].



Şekil 5. Mehmetuşağı Mahallesi bölgesindeki Jura-Kretase yaşlı Horasançal Formasyonu üzerinde açısız uyumsuzlukla bulunan Mastrohtiyen yaşlı Ulupınar Formasyonu

3.1.2. Hocalıkova Ofiyoliti (krüh)

İnceleme alanında okyanusal kabuğa ait olan Hocalıkova Ofiyoliti (krüh) ultramafik ve mafik kayaların büyük çoğunluğu serpantinleşmiş harzburjit, piroksenit, gabro, split ve pelajik çökellerden oluşan kaya topluluğundan oluşmaktadır. Hocalıkova Ofiyolitini oluşturan ultramafik kayalar genellikle yeşil renkte olup, genelde kümülatif kayalarla temsil edilmekte ve genelde çalışma sahasının kuzey kesimindeki Bölük Tepe civarında yüzeylenmektedir. Birim, sahada belirgin rengi ve ana mineralleri ile diğer litolojilerinden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Hocalıkova Ofiyoliti (krüh) çalışma alanında genelde yeşil ve yeşilin diğer tonlarında gözlenmektedir [4]. Ayrışmamış yüzeylerde olivin ve piroksen kristalleri gözle seçilebilmektedir. Ultramafik kümülatlar ana minerallerini olivin ve piroksenin oluşturduğu dunit, harzburjit ve piroksenit ile temsil edilir. Birim genellikle çalışma sahasının kuzey kesimindeki Mollauşağı Mahallesi civarında geniş bir mostra sunmaktadır. Hocalıkova ofiyoliti, Büyükköy civarlarında sınırlı bir bölgede Jura-Alt Kretase yaşlı Horasansal Formasyonunu tektonik dokanak ile üzerlemekte olup (Şekil 6), Kampaniyen-Mastrohtiyen yaşlı Ulupınar Formasyonu tarafından uyumsuzlukla üzerlenmektedir.



Şekil 6. Mollauşağı bölgesinde Horasançal Formasyonu (J-Kh) ile Hocalıkova Ofiyoliti (krüh) arasındaki tektonik dokanak

3.1.3. Ulupınar Formasyonu (krüü)

Ulupınar Formasyonu genellikle alaca, kırmızı renkli konglomera, kumtaşı, kumlu marn ve marn ardalanmasından oluşmaktadır (Şekil 7). Konglomera ve kumtaşı tabakaları elle ufalanabilecek derecede gevşek çimentoludur. Konglomera ve kumtaşları yeşil kayaç ve masif kireçtaşı parçalarını içermektedir. Kırmızı rengi de kapsadığı yeşil kayaç tanelerinden ileri gelmekte olup, özel rengi ile sahada kolaylıkla tanınır. Kumtaşları orta (0,50-0,25 mm) ve iri (1,00-0,50 mm) tanelidir. Tane büyüklükleri ve tabaka kalınlıkları alttan üste doğru küçülür. Tane dizilişi ve tanelerin yuvarlaklaşması oldukça iyi gelişmiştir.



Şekil 7. Büyük Tepe civarı (F4) Ulupınar Formasyonunun (krüü) kireçtaşı seviyelerinde görülen monoklinal kıvrım

Formasyon, çalışma sahasının kuzey kesimlerinde ofiyolitik seri üzerine transgresif olarak gelmektedir. Konglomera ve kumtaşı tabakaları elle ufalanabilecek derecede zayıf çimentoludur. Birim, fosil kapsamı bakımından oldukça zengindir. Gerek inceleme alanımızdaki, gerekse çevredeki mostraları bol miktarda aşağıdaki fosilleri kapsar [1]:

- Hippurites (Vaccinites) ultimus* Milovanovic
- Cyclolites* sp.
- Actaeonella* sp.
- Orbitoides apiculata* Schlum.
- Orbitoides media* d'Arch.
- Loftusia* sp.

Ulupınar Formasyonu, tabanda Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Horasaçal Formasyonu üzerinde

açılmal uyumsuzlukla bulunur (Şekil 8). Birimin taban kesimlerinde gözlenen konglomera çakılları, alttaki Horasaçal Formasyonundan türemiş olup, birim üzerinde transgresif olarak bulunmaktadır [5].

Üst Sistem	Sistem	Seri	Kat	Formasyon	Üye	Litoloji	Açıklamalar			
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	MESTİRİHTİYEN	KAMPANİYEN	Ulupınar Fm (krüü)		<p>Rudist fosili içeren orta-kalın tabakalı beyaz-gri renkli kireçtaşı</p> <p>Kırmızı renkli kumtaşı marn ardalanması</p> <p>Beyaz renkli ince kireçtaşı seviyesi</p> <p>Pekışmemiş marn ile ince taneli kumtaşı ardalanması</p> <p>Orta kaba taneli kumtaşı</p> <p>Kırmızı-Yeşil renkli ofiyolitik kökenli çakıltaşı</p> <p>Yeşil renkli serpantinleşmiş mineraller içeren ofiyolit</p>			
								ALT	TURONİYEN	Hocalıkova Of. (krüh)

Şekil 8. Üst Kretase yaşlı Ulupınar Formasyonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti

Ulupınar Formasyonu Hocalıkova Ofiyolitinin üzerinde, tektonizmanın sıkışmalı rejimden gerilmeli rejime dönüşmesi sonucu faylarla denetlenen bir havzada çökelmiş olmalıdır. Kırıntı malzeme gelişiminin zayıf olduğu kıyı kesimlerinde ve yersel yükseltiler üzerinde Rudistli kireçtaşı seviyeleri çökelmiştir.

Gerek Foraminifer topluluğu ve gerekse içerdiği Ostrakod'lar Ulupınar Formasyonu'nun yaşını Mاستrihtiyen olarak vermektedir. Ulupınar Formasyonu, Hocalıkova ofiyolitinin bölgeye yerleşiminden sonraki dönemde meydana gelen bir kalınlaşım yükselme ve yükselmeyi izleyen erozyonun ürünü olarak oluştuğu düşünülmektedir [6].

3.1.4. Tohma Formasyonu (Tt)

Tohma Formasyonu içerdiği mikro ve makrofosil topluluklarının yaşama ortamları ve çökel özelliklerine göre lagün, kumsal, sığ ve açık şelf ortamlarında çökelmiştir [3].

Tohma Formasyonundaki üyeler alttan üste doğru; çakıltaş, kumtaşı çamurtaşı ardalanması (Zeynepoğlu üyesi); tabanı çakıltaş-kumtaşı seviyeli kireçtaşı-marn ardalanması (Yoğunsakız üyesi); çamurtaşı-kumtaşı-killi kireçtaşı ardalanması (Çorak üyesi); marn-kireçtaşı ardalanması (Çivril üyesi) ve alt düzeyi marn arakatlı masif kireçtaşından (İriağaç üyesi) ibaret 350-850 metre arasında kalınlık sunan istiftten oluşmaktadır [3].

3.1.4.1. Zeynepoğlu Üyesi (Ttz)

Birim tabanda kahverengi ve bordo rengin hâkim olduğu çakıltaşları ve kumtaşları ile başlamaktadır. Çakıl-blok türü bileşenlerin boyları 2-45 cm arasında değişmekte olup, çok kötü boylanmalı ve gevşek çimentolu bir yapı sunmaktadır. İçerdiği taneler bakımından genelde volkanik kökenli kayalardan türemiş (bazalt, andezit gibi) çakıllar ile çok az miktarda da Horasançal Formasyonuna ait çakıl parçalarını kapsamaktadır. Birim gevşek bir çimentolanma ile bağlandığından arazide kolaylıkla aşınmaya maruz kalmıştır. Ortaköy civarında onlap olarak gelen bu birimlerde bu çakıllı seviye bir temel olup bunların üzerine Lütisiyen yaşlı karbonat - kırıntılı karbonat içeren bir istif gelmektedir [7,8].

Birimin, Akkuş [1] tarafından Darende-Balaban havzalarında yapmış olduğu çalışmalar sırasında ayırtlanmış olduğu Alt Eosen yaşlı Korgantepe

Formasyonu ile litolojik ve yaş olarak eşdeğer olduğu düşünülmektedir [2].

3.1.4.2. Yoğunsakız Üyesi (Ttz)

Birim tabanda ardalanmalı olarak orta-iyi boylanmış, az pekişmiş yer yer çapraz tabakalanmalı açık gri renkli çakıltaşları ile başlamakta, üzerine az-orta pekişmiş, ince-orta tabakalanmalı, yer yer laminalı, sarımsı renkli gastropodlu ve lamellibranslı kumtaşları ile devam etmekte, üzerine ise bol foraminiferli iyi pekişmiş, orta-yer yer kalın tabakalı, sarı-kirli sarı renkli kireçtaşları ile istif tamamlanmaktadır. Kireçtaşları az pekişmiş, açık gri renkli ince-orta kalınlıkta marn tabakaları ile ardalanmalı olarak gözlemlenmiştir. Birim tabanda yanal ve düşey geçişli olarak Zeynepoğlu üyesini üzerler, tavanda ise konkordan olarak düşey geçişle Çivril üyesi ve yine yanal düşey geçişle Çorak üyesine geçiş gösterir.

Elde edilen fosillere göre birimin yaşını Orta Eosen (Alt-Orta Lütisiyen) olarak belirlenmiştir [2]. Birimin çökme ortamı fosil kapsamı, stratigrafik özellikleri ve sedimentolojik veriler ışığında plaj-sığ deniz ortamı olmalıdır. Birim içerisinde gözlemlenen çapraz tabakalı çakıltaşları ve kumtaşları muhtemelen plaj ortamını göstermektedir. Gastropod ve lamellibransların varlığı plaj ortamını destekler niteliktedir. Su derinliğinin artması ile birlikte kumtaşları yerini yanal geçişle kireçtaşı-marn ardalanmasına bırakır ve sığ deniz konumuna geçer. Kireçtaşları içerisindeki mikrofosiller (Nummulites ve Alveolina) resif gerisi fasiyesini karakterize etmektedir.

3.1.4.3. Çorak Üyesi (Ttç)

Çorak Üyesi 10-60 m arasında değişim gösteren bir kalınlık sunar. Çorak üyesi, tabanda az tutturulmuş, ince tabakalanmalı yer yer laminalanmalı kırmızı renkli jips mercekli çamurtaşları ile başlamaktadır. Üzerine az pekişmiş, orta tabakalanmalı, gri renkli yer yer açık sarı renkli kumtaşları ile devam eden istif, iyi pekişmiş ince-orta tabakalanmalı, sarı-kirli sarı

renkli killi kireçtaşlarının ardalanması ile devam etmektedir. Birim, Yoğunsakız üyesi üzerine uyumlu-geçişli olarak gelmektedir. Birim üste doğru ise Çivril üyesine de yanal ve düşey geçişle geçmektedir. Birim içerisinden alınan sistematik örnekler içerisinde sadece killi kireçtaşı içerisinde fosillere rastlanılmıştır [2].

Birim, sedimantolojik veriler ışığında lagünel bir ortamı karakterize etmekle birlikte muhtemelen yersel tektonik hareketlerin etkisi ile zaman zaman sığ deniz ortamına geçmesi ile birlikte karbonat çökeliminin gerçekleştiği düşünülmektedir. Kumtaşlarının çok ince çamurtaşı laminaları içermeleri, iki farklı çökeltme şekli bize bölgenin gelgit etkisi altında kaldığını göstermektedir.

3.1.4.4. Çivril Üyesi (Ttçi)

Birim, dayanımsız, yer yer laminalı, paralel tabakalanmalı, gri-açık sarı renkli marn ve iyi pekişmiş orta-kalın tabakalanmalı sarımsı renkli kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır.

Birimin yaşı Üst Lütésiyan olarak belirlenmiştir. Çivril üyesinin çökeltme ortamı, marn ve kireçtaşlarının varlığı, içerdiği fosil kapsamı göz önüne alındığında birim sığ deniz (resif gerisi) ortamında çökelmiş olduğu belirtilmektedir [2].

3.1.4.6. İriağaç Üyesi (Tti)

Birim, iyi pekişmiş masif, yer yer kalın-çok kalın tabakalanmalı, gri-sarımsı arası değişen renkte, fosilli kireçtaşları ile dayanımsız, ince-orta tabakalanmalı, açık sarımsı-kavrenge renkli killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birim özellikle sahada oluşturduğu yüksek tepeler ve bilhassa bu tepelerin düz olarak görülmesiyle kolay tanınabilmektedir.

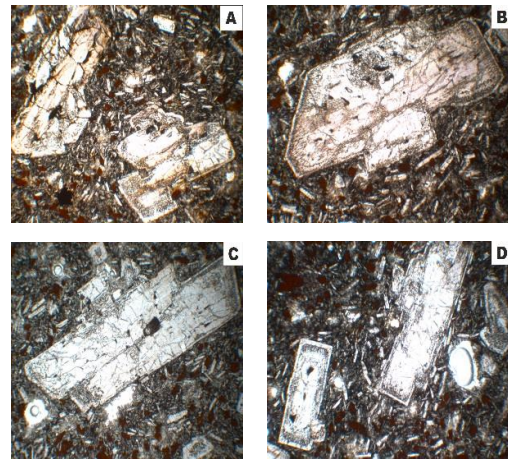
Altında konkordan olarak Tohma Formasyonunun (Tt) Çivril Üyesi (Ttçi) bulunmakta olup, üzerine ise uyumsuzlukla Yamadağ Volkanitleri (Ty) gelmektedir. Bu alan genellikle çalışma alanının kuzey kesimlerindeki en yüksek yerlerini oluşturmaktadır.

3.1.5. Yamadağ Volkanitleri (Ty)

Koyu mor-siyah renkli Yamadağ volkanitleri, açık renkli tüfitler üzerine gelen birim, tabanda bazaltik bileşimli lav akıntıları ile başlamakta olup, üste doğru piroklastikler ve bazaltik ve andezitik lav akıntıları ile son bulmaktadır.

Alteresyona uğramış kısımları kahverengi bir renge sahiptir. Oldukça sert ve dayanıklıdır. Genelde porfirik dokuludur. Yamadağ volkanitleri iki evrede oluşmuşlardır; birinci evre iri plajiyoklaz ve olivin fenokristalli bazaltlarla temsil edilirken, ikinci evre iri plajiyoklaz, olivin ve piroksen fenokristalli bazaltlarla karakterize edilmektedir [4].

Yamadağ Volkanitlerinden (Ty) alınan örneklerin ince kesit çalışmasında Prof. Dr. Fikret İŞLER bazalt örneğinin mikrolitik porfirik dokuda olduğunu belirtmiştir. Plajiyoklaslar mikrolitler şeklinde olup, ince uzun prizmatik şekildedirler. Diğer plajiyoklasların görünümü nadiren feno-kristal şeklinde görülmektedir. Bu feno-kristaller kırıklı bir yapı sunduğundan dolayı birimin yerleşmesi sırasında muhtemelen tektonizmadan etkilenmiş olduğu düşünülmektedir. Bazı plajiyoklaslarda zonlu yapı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Yamadağ Volkanitlerinden alınan ince kesit örnekleri içerisinde kırmızı renkli olivin, mikrolit şeklinde plajiyoklas ve fenokristal plajiyoklas

Olivin minerali genellikle küçük taneler şeklinde bolca görülmekte olup seyrek olarak iri tanedirler. Fakat bunların tamamı demirle ayrışım geçirerek iddingsit halini almışlardır, kırmızı renkte olmalarıyla dikkat çekmektedirler.

3.1.6. Alüvyon (Qal)

Genellikle Tohma Nehri boyunca görülen pekişmemiş silt, kil, kum kaba kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşmaktadır. Birim, çalışma sahasının özellikle kuzey kesimlerinde sık görülmektedir.

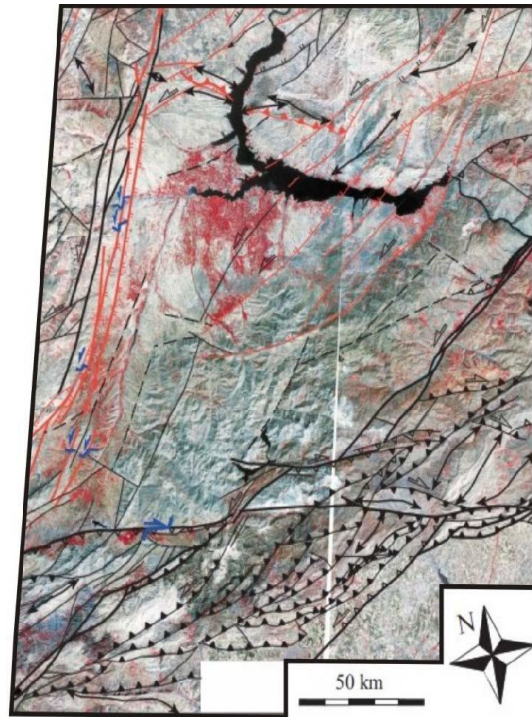
4. YAPISAL JEOLJİ

4.1. Bölgesel Tektonik

Çalışma alanı tektonik açıdan oldukça aktif bir bölge içerisinde yer almakta olup çok sayıda fay ve fay zonu içermektedir (Şekil 10). Çalışma alanı içerisinde en önemli fay Aktimur'un 1979 yılında uydu görüntülerinden ve hava fotoğraflarından yararlanarak "Malatya Fayı" olarak isimlendirdiği Malatya-Ovacık Fay Zonudur. Çalışma sahasında yaklaşık K30D doğrultulu olarak uzanan Malatya-Ovacık Fay Zonunun (Şekil 10) Pliyosen'den genç bir fay olduğu belirtilmekte [9-11] olup, fayın diri ya da pasif bir fay olduğu yönünde farklı görüşler ortaya atılmaktadır. Bu konuda, Aktimur [9] ile Koçyiğit ve Beyhan [10] Malatya-Ovacık Fay Zonunun halen aktif bir fay olduğu yönünde fikir öne sürerlerken, Westaway ve Arger [11] ise onlara tam zıt fikir öne sürüp, Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun diri fay olmadığını ve bu fayın 3-5 milyon yıl önce (Doğu Anadolu Fay Zonu'nun gelişiminden önce) aktif bir fay olduğunu belirtmişlerdir. Doğu Anadolu Fay Zonunun gelişmesi ile birlikte fayın etkinliğinin durduğunu öne sürmüşlerdir. Doğrultu atımlı sol yanal bir fay olarak uzanan Malatya-Ovacık Fay Zonu [9,12,13] Doğanşehir ilçesinin yaklaşık 5 km, güneybatısından başlamakta ve çalışma sahasının yaklaşık 10 km, doğusundan uzanımına devam ederek kuzeyde Arapkir İlçesi'nin 10 km, batısında çatallandığı ve birinci çatalın kuzeye doğru Iliç'in 15 km, güneybatısına kadar uzandığını ve diğer çatalın kuzeydoğuya doğru yaklaşık 25 km

uzanmakta olduğu Şaroğlu ve arkadaşları [13] tarafından da ileri sürülmektedir.

Malatya ili civarında olan deprem kayıtlarına bakıldığında da Malatya-Ovacık Fay Zonuna ve bölgedeki diğer küçük ölçekli faylara bağlı olarak gelişmiş olan küçük ölçekli deprem kayıtları bulunmaktadır. Bu verilere de dayanarak Malatya-Ovacık Fayının aktif bir fay olabileceği fikri öne çıkmaktadır [14].



Şekil 10. İnceleme alanının uzaktan algılama yöntemiyle çizgisellik analizleri ile birlikte yapısal unsurların işlenmesi sonucu elde edilmiş Malatya-Ovacık Fay zonunun bir kısmının uydu görüntüsü üzerinde işlenmiş yapısal haritası [12]

5. SONUÇLAR

Çalışma sahası içerisinde yüzeyleyen 6 farklı birim ayrırtlanarak incelenmiş ve bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası, jeoloji enine kesitleri ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti hazırlanmıştır.

Çalışma sahasındaki en yaşlı birimin Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Horasançal Formasyonu olduğu saptanmıştır.

Gürer, [5]'in Hekimhan-Hasançelebi yöresinde "Karapınar Formasyonu" olarak tanımladığı Üst Kretase yaşlı birimin çalışma sahasında ayrılmış olduğumuz Mastrihtiyen yaşlı Ulupınar Formasyonu karşılığı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, litolojik ve paleontolojik özellikler göz önüne alındığında Sevimli [2]'nin Yazıhan (Malatya) Batısında ayrılmış olarak tanımladığı ve Üst Kretase yaşını verdiği Hekimhan Formasyonun da bu çalışma kapsamında Akkuş [1]'un çalışmasında tanımladığı "Ulupınar Formasyonu"nun eşdeğeri olduğu ortaya konulmuştur.

Çalışma sahasında yaklaşık Kuzeydoğu-Güneybatı yönelimli olarak gelişmiş olan dikçe şevliklerin fay kontrollü olduğundan ziyade, üst kesimlerde kalan sert-dayanımlı kayaçların alt kesimlerindeki yumuşak birimlerin aşınıp, tabanlarının boşalması nedeniyle, kaya-blok düşmeleri şeklinde geliştiği sonucuna varılmıştır.

Gürbüz ve Gül [6]'ün Darende-Balaban bölgesinde ayrıtladıkları Üst Kretase yaşlı Ulupınar Formasyonunun taban seviyelerinde ayrıtlayarak haritaladıkları "Tohma resiflerinin", inceleme bölgesinde Üst Kretase yaşlı Ulupınar Formasyonunu uyumsuzlukla üzerlediği ve yaşının da Eosen-Alt Miyosen olduğu sonucuna varılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından MMF2009YL45 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. İnce kesitlerin mikroskopta değerlendirmesinde katkı koyan Prof. Dr. Fikret İŞLER; fosil tanımlamaları ve yaş tayinlerinde yardımcı olan Prof. Dr. Niyazi AVŞAR'a teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Akkuş, F.M., 1971. Darende-Balaban Havzasındaki (Malatya, DGD Anadolu) Litostratigrafik Birimler ve Jipsli Formasyonların Yaşı Hakkında Yeni Bilgiler, M.T.A. Dergisi No:76, 60, Ankara.
2. Sevimli, U.İ., 2009. Yazıhan (Malatya) Batısının Tektono-Stratigrafisi Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 159, Adana.
3. Örcen, S., 1984. Medik-Ebreme (KB Malatya) Dolayının Biyostratigrafisi ve Paleontolojisi, M.T.A. Raporu, Ankara.
4. Alparslan, M. ve Terzioğlu, N., 1996. Arguvan (Malatya K.) Yöresinde Üst Miyosen ve Pliyosen Yaşlı Volkaniklerin Karşılaştırılmalı Jeokimyasal Özellikleri, TJK Bülteni, 39, 2, 75-86, Ankara.
5. Gürer, Ö.F., 1994. Hekimhan-Hasançelebi yöresinin Üst Kretase Stratigrafisi ve Havza Evrimi: Türkiye Jeoloji Bült. 37/2, 135-149, Ankara.
6. Gürbüz, K., Gül, M., 2005. Evolution of and Factors Controlling Eocene Sedimentation in the Darende-Balaban Basin, Malatya (Eastern Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, vol. 14, p. 311-335.
7. Gürbüz, K., Taptık, A., 2001. Sedimentological Evolution of Southern Part of the Darende-Balaban Basin (Yenice Darende area, Malatya, Eastern Turkey). 4th International Turkish Geology Symposium, Abstracts, 24-28 September, 2001 Adana. p. 287.
8. Gürbüz, K. Kelling, G., 2001. Onlap Features of Eocene Carbonates in the Vicinity of Akçadağ (Malatya, Eastern Turkey). 4th International Turkish Geology Symposium, Abstracts., 24-28 September, 2001 Adana. p. 288.
9. Aktimur, S., 1979. Malatya-Sivas Dolayının Uzaktan Algılama Yöntemiyle Çizgiselliklerinin İncelenmesi., MTA Rapor No:66-51, Ankara.
10. Koçyiğit, A., Beyhan, A., 1998. A New Intracontinental Transcurrent Structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics, 284, 317-336.
11. Westaway, R., Arger, J., 2001. Kinematics of the Malatya-Ovacık Fault Zone. Geodinamica Acta, 14, 103-131.

12. Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili Bazı Gözlem ve Düşünceler, MTA Dergisi, 78, 44-50, Ankara.
13. Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA Rapor No: 8174, 377, (yayımlanmamış).
14. Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P., 2006. 3d-Architecture-End and Neogene Evolution of the Malatya Basin: Inferences for the Kinematic of the Malatya and Ovacık Fault Zones, T.J.E.S, Vol: 15, 123-124, Ankara.

Tuz Gradyentli Bölgenin Güneş Havuzunun Performansı Üzerine Etkisi

Mehmet KARAKILÇIK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 12.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, yüzey alanı 4 m², derinliği 1,5 m ve yan duvarları yalıtımlı bir güneş havuzunun tuz gradyentli (eğimli) bölgesinin havuzun ısı performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tuz eğimli bölge ısı depolama bölgesinden itibaren yukarıya doğru azalan yoğunluklarda 10 cm kalınlığında 6 farklı yoğunluklu tuzlu su tabakasının üst üste yığılmasıyla oluşturulan saydam ve konveksiyonsuz bir bölgedir. Konveksiyonsuz bölgeyi oluşturan tuzlu tabakalarının saydamlığı kadar kalınlığı ve yoğunluk dağılımları da havuzun ısı performansı üzerinde etkili önemli parametrelerdir. Bu etkinin belirlenmesi için, tabakaların sıcaklığa ve yoğunluğa bağlı olarak değişen öz ısıları yılın farklı ayları için hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre, havuzun iç bölgelerinde depolanan aylık ortalama ısı dağılım oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, ısı depolama bölgesinin aylık ortalama ısı depolama oranları, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için sırasıyla, 11,43 MJ, 212,42 MJ ve 320,95 MJ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuz gradyenti, Güneş havuzu, Güneş enerjisi, Isı depolama, Isı transferi

The Effect on Performance of the Salt Gradient Zone of the Solar Pond

Abstract

In this study, a solar pond of surface area 4 m² and depth 1.5 m is considered and the effect of the salt gradient zone with insulated side walls on the heat performance of the solar pond was investigated. Salt gradient zone is transparent and non-convective zone which was formed by stacking of 6 different density brine layers each of 10 cm thickness in decreasing intensity upwards from the heat storage region. The non-convective zone's thickness and density distributions as much as the transparency of brine layers are important parameters acting on the thermal performance of the pond. To determine this effect, the variation of specific heat as a function of temperature and density of the layer is calculated for various months. Using these parameters, the average monthly rates of heat distribution that is stored in the inner region of the solar pond were determined. As a result, the average monthly rates of heat storage are found to be 11.43 MJ for January, 212.42 MJ for May and 320.95 MJ for August.

Keywords: Salt gradient, Solar pond, Solar energy, Heat storage, Heat transfer

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet KARAKILÇIK, kkilcik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, kirlenmeyen, tükenmeyen, en temiz ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, alternatif temiz enerji kaynağı olarak güneş enerjisi gündemde önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi ile çeşitli türden enerji (ısı, elektrik, hidrojen) üretilebilmektedir. Ancak, en önemli konulardan birisi bu üretimin verimli bir şekilde yapılabilmesidir. Bunun için, güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde, birçok araştırmacı tarafından güneş enerjisi ile çalışan sistemler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; ısıtma, kurutma, saf su, buhar, elektrik ve hidrojen üretilmesinde güneş enerjisi ile çalışan sistemlerdir [1-4]. Bu sistemlerden birisi de güneş havuzlarıdır. Güneş havuzları gelen güneş enerjisinin yaklaşık %20'sini düşük sıcaklıklarda ısı enerji biçiminde depolama bölgelerinde depolayabilen sistemlerdir [5]. Depolanan bu enerji, yılın her mevsiminde çekilebilmektedir. Depolama bölgesinden itibaren yüzeye yaklaşıldıkça havuz sıcaklığında bir azalma olduğu görülür. Güneş havuzları ile yapılan bir deneysel çalışmada ise, verimliliğin yaklaşık %16 olduğu belirtilmiştir [6]. Güneş havuzlarında güneş ışının soğurulması, yansımaları, saçılması, geçirilmesi, havuzun alt ve üst konveksiyonlu bölgelerinde konveksiyonla ve difüzyonla ısı ve tuz transferi gibi olaylar olmaktadır. Havuz yüzeyi ile atmosfer arasındaki ısı ve kütle transferi, rüzgar ve yağmur etkilerinin bilinmesi önemlidir. Bu konuda şimdiye kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır [7-14]. Bu etkilerin belirlenmesi kadar havuz yüzeyinden içeri giren güneş enerjisinin artırılması da büyük önem taşımaktadır. Güneş havuzlarının ısı performansının artırılması ile ilgili önceki çalışmalarımızda havuza giren enerjinin artırılması ve havuzun üst yüzeyinden ve yan duvarlarından olan ısı kayıplarının en aza indirilmesinin önemli olduğu görüldü [15]. Güneş havuzları iç kısımları genellikle üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Her bölgenin kalınlık ve yoğunlukları farklı özelliklere sahiptir. Bu yüzden, güneş havuzlarının ısı depolama performansını etkileyen birçok parametrenin incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada, depolama bölgesindeki ısının havaya kaçması önlemek için bu bölgenin üstüne bir tuz gradyentli (eğimli) bölge tasarlanmıştır. Bu bölge farklı yoğunluklarda tuzlu su tabakalarının üst üste yığılması ile oluşturulmuştur. Tabakaların saydam olması ve konveksiyonun bozulmaması için tabakalar en uygun kalınlıklarda ve yoğunluklarda seçilmeye çalışılmıştır. Bu parametrelerden özellikle havuzun iç bölgesini oluşturan tabakaların kalınlıkları ve yoğunluk dağılımlarındaki değişimin havuzun ısı performansı üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Bunun için, tabaka kalınlıkları, yoğunluk ve sıcaklık dağılımları belirlenecektir. Elde edilecek ölçüm sonuçlarına göre de tabakaların öz ısı kapasitelerindeki değişiklikler belirlenecektir. Tabakaların öz ısı kapasiteleri ve tuzlulukları ampirik bağıntılar kullanılarak hesaplanacak ve havuzun iç bölgelerinin ısı performansı belirlenmeye çalışılacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

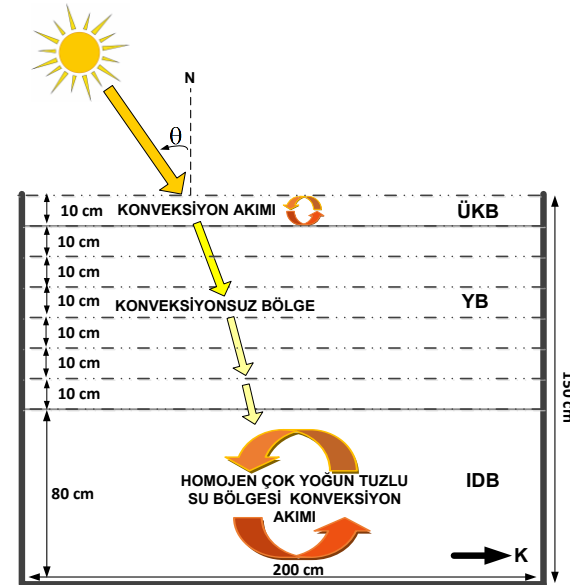
2.1. Materyal

Bu çalışmada, yalıtımlı bir güneş havuzunun üst yüzeyine gelen güneş ışınının güneş havuzunu oluşturan iç bölgelerde soğurulmasını ve ısı olarak depolanması sağlamak için tuzlu su tabakalı bir güneş havuzu oluşturulmuştur. Burada amaç, tuzlu su tabakalarından geçerek depolama bölgesine ulaşan ışınların depolama bölgesinde en verimli bir şekilde soğurulmasını ve burada ısı olarak depolanmasını sağlamaktır. Depolama bölgesinde depolanan ısının tutulması, yani iç bölgelerden havaya konveksiyonla ısı transferini önlemek için depolama bölgesinin hemen üst kısmından itibaren yukarıya doğru azalan yoğunluklarda tabakalar üst üste yığılmak suretiyle ısı yalıtımı görevi yapan bir konveksiyonsuz bölge oluşturulmuştur. Bu sayede, havuzun iç bölgesinde havaya, konveksiyonla ısı transferi önlenmeye çalışılmıştır. Depolama bölgesine ulaşan güneş ışınının maksimum olması, yani daha fazla güneş ışığının havuza girmesini sağlamak için tabakalar temiz tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, daha fazla güneş ışığının havuzun depolama bölgesine ulaşarak ısıya dönüşmesi sağlamak için en uygun tabaka kalınlıkları ve yoğunluk dağılımları belirlenmeye

çalışılmıştır. Doğal olarak, havuza giren toplam güneş radyasyonu ısıya dönüştürme oranlarının belirlenmesi için tabakaların öz ısı kapasitesi değerlerindeki değişimler ampirik bağıntılarla belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için farklı zamanlarda tabakaların tuz yoğunluğu dağılımlarını belirlemek için yoğunluk ölçümleri hidrometreler yardımıyla yapılmıştır. Tabakaların sıcaklık dağılımları ise saatlik olarak yapılmıştır. Böylece, havuzun iç bölgelerinin (üst konveksiyonlu, konveksiyonsuz ve düşük konveksiyonlu) yoğunluk ve sıcaklık dağılımlarındaki değişimler ve depoladıkları ısı oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 1'de 150×200 cm boyutlarında bir güneş havuzu görülmektedir. Havuzun iç kısmı üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgelerin yapıları ve işlevleri farklıdır. 1. Bölge; üst konveksiyonlu bölge (ÜKB) dir. Bu bölge havuz yüzeyini dış etmenlerden korumaktadır. Alt bölgelerdeki tabakalardan tuzun moleküler difüzyonla bu bölgeye ulaşması ile yoğunluğu zamanla bir miktar artabilir. Bakım gerektiren bir bölgedir ve zaman zaman temiz su ile değiştirilir. 2. Bölge; farklı yoğunluklu tuzlu su tabakalarından oluşan ara bölgedir. Yukarıdan aşağıya doğru artan yoğunluklarda olacak şekilde oluşturulmuştur. Konveksiyon akımları bu bölgede oluşmaz ve alt bölgeden üst bölgeye konveksiyonla ısı akışına engel olan bir ısı yalıtım bölgesi (YB)'dir. Tuz eğimini oluşturan tabakaların yoğunluk dağılımları, tuz eğimini koruma sistemi yardımıyla tuzlu su ile beslenerek korunmaktadır. Bu sayede tabakalar tuz difüzyonuna karşı korunabilmektedir. 3. Bölge ise, alt konveksiyonlu bölgedir. Bu bölge çok yoğun tuzlu çözeltiden oluşturulmuş homojen bir bölgedir. Bu bölgenin her tarafında sıcaklık hemen hemen aynıdır. Güneş ışınları son olarak bu bölgeye ulaşır ve burada ısıya dönüşerek depolandığı ısı depolama bölgesidir. Güneş havuzu enerjisini güneşten gelen ışınlardan almaktadır. Güneş ışınları doğrusal olarak dağılmaktadır ve havuz yüzeyine yüzeyin normali (N) ile θ açısı yapacak şekilde gelir. Yüze gelen ışınlarının bir kısmı havuz yüzeyinden yansır, geri kalan kısmı ise önce üst konveksiyonlu bölgedeki (ÜKB) suyun kırılma indisine bağlı olarak kırılır ve soğurur. Geri kalan kısmı konveksiyonsuz

bölgeyi (YB) oluşturan tabakalar tarafında kırılarak ve soğurularak taban bölgesi olan ısı depolama bölgesine (IDB) doğru ilerler. Isı depolama bölgesine ulaşan ışınlarda burada soğurur ve ısı biçiminde depolanır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, ÜKB 10 cm kalınlığında az yoğun tuzlu sudan oluşmaktadır. YB, her biri 10 cm kalınlığında ve yoğunluğu giderek artan 6 farklı tuzlu su tabakasından oluşmaktadır. IDB ise, 80 cm kalınlığında çok yoğun tuzlu su tabakasından oluşan konveksiyonlu bir bölgedir. Bu bölgede depolanan ısı hemen üst kısmında bulunan konveksiyonsuz tabakalar tarafında üst bölgeye kaçması engellenmektedir. Böylece, burada ısı uzun süre depolanabilmektedir.



Şekil 1. Güneş havuzunun iç bölgelerinin yapısı

Şekil 1'de verilen güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan tuz su tabakalarının konumu, kalınlıkları ve konveksiyonlu bölgeler görülmektedir. Bu bölgelerin tuz su yoğunluğu, tuz eğimini koruma sistemi ile korunmaktadır. Ancak sıcaklık artışına ve azalışına bağlı olarak tuzun moleküler difüzyonundaki artışlar yüzünden tabakaların yoğunluklarında da bazı artış ve azalmalar olmaktadır. Bu nedenle, yıl içinde çok sıcak aylarda özellikle çok yoğun tuzlu su tabakalarında artan difüzyonla oluşan bozulmalar yüzünden bazı

aşağıdan yukarıya doğru olacak şekilde tabakalarda kütleli değişimleri oluşmaktadır. Çizelge 1’de yılın en sıcak ayı olan Ağustos’ta tabakalardan oluşan bölgelerin yoğunluk değişimlerine bağlı olarak kütleli değişimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1. İç bölgeleri oluşturan tuzlu suyun Ağustos ayına ait kütleli değişimi

Bölge	Kalınlık l (m)	Hacim V (m ³)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Kütle m (kg)
ÜKB	0,10	0,4	1023,71	163,79
YB	0,60	2,4	1073,21	2578,10
IDB	0,80	3,2	1178,46	3771,07

2.2 Isı Depolaması

Güneş havuzu yüzeyine gelen güneş enerjisinin önemli bir kısmı tabakalar tarafından soğurulmakta ve ısıya dönüşerek orada bir süre tutulmaktadır. Tabakaların ısı performansı, havuz içindeki konumuna ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Bunlar: havayla teması, çevreyle ısı yalıtımı durumu, kalınlıkları, sıcaklıkları, ısı iletim ve ısı kapasitesi, yoğunlukları, tuz eğimi ve konveksiyon durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, tabakaların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlar iyi bilinirse, güneş havuzunun ısı depolama kapasitesi ve performansı hesaplanabilir.

Üst konveksiyonlu bölgede ısı depolaması: Üst konvektif bölgeye gelen güneş ışınlarının bir kısmının burada soğurulmasıyla, bu bölgenin sıcaklığı bir miktar artmaktadır. Aynı zamanda, bu bölgenin hemen altındaki daha sıcak bölge olan konveksiyonsuz bölgeden de iletim yolu ile ısı akışı olmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgeden her ne kadar havaya olan ısı kayıpları çok olsa da yine de az bir miktar ısı depolaması yapabilmektedir. Ancak, burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde çok önemli bir katkısı bulunmamaktadır. Aksine havayla teması dolayısıyla iletimle olan ısı kaybının büyük bir kısmı burada olmaktadır. Bu çalışmada, ÜKB’ in sıcaklık ve yoğunluk ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki eşitliklere göre de hesaplanmıştır. ÜKB’de depolanan ısı,

$$Q_{st,ÜKB} = m_{ÜKB} C_{p,ÜKB} [T_{ÜKB} - T_h] \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de verilen denklem ile bulunur. Burada, $m_{ÜKB}$ tabakanın toplam külesidir. $C_{p,ÜKB}$ ÜKB’in öz ısı kapasitesi (J/kg°C), $T_{ÜKB}$ tabakanın sıcaklığı (°C) ve T_h ise havuzu çevreleyen havanın sıcaklığıdır ve Ocak, Mayıs ve Ağustos ayı için sırasıyla, ortalama 9°C, 18°C ve 28°C olarak alınmıştır. ÜKB’deki az tuzlu çözeltinin kütlesi,

$$m_{ÜKB} = \rho_{ÜKB} V_{ÜKB} \quad (2)$$

Eşitlik (2) ile hesaplanır. Burada, $\rho_{ÜKB}$; ÜKB’in ortalama yoğunluğudur (kg/m³). $V_{ÜKB}$ ise, bölgenin toplam hacmidir (m³) ve değeri 0,4 m³’dür. Az yoğun tuzlu su tabakası olan ÜKB’in öz ısı kapasitesi,

$$C_{p,ÜKB} = 4180 - 4,396s_{ÜKB} + 0,0048s_{ÜKB}^2 \quad (3)$$

empirik bağıntısı ile bulunur. Burada $s_{ÜKB}$, ÜKB’in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{ÜKB} = \frac{\rho_{ÜKB} - 988 + 0,4[T_{ÜKB} - 20]}{0,65} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır [6]. ÜKB’in ısı depolama kapasitesinin, eşitlik (1) ile doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, Eşitlik (3) ile bölgenin sıcaklık ve yoğunluk değişimine bağlı olarak öz ısı kapasitelerinin doğru hesaplanması gerekmektedir. Benzer şekilde, bu eşitlikler havuzun diğer bölgeleri olan YB ve IDB için de yazılabilir.

Konveksiyonsuz bölgede ısı depolaması: Üst konvektif bölgede (ÜKB) soğurulduktan sonra konveksiyonsuz bölgeye (YB) gelen güneş ışınlarının bir kısmının burada soğurulmasıyla, bu bölgeyi oluşturan tabakaların sıcaklıkları yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır. Aynı zamanda, bu bölgenin hemen altındaki daha sıcak bölge olan ısı depolama bölgesinden bu bölgeye iletim yolu ile ısı akışı olmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgeden iletimle ÜKB’ye olan ısı kayıplarına rağmen yine de tabakalarda yukarıdan aşağıya doğru artan bir şekilde önemli miktarlarda ısı tutulmaktadır. Bu artış, YB’deki tuz eğimine benzer şekilde bir sıcaklık gradyenti biçimindedir.

Burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde önemli katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmada, YB'in sıcaklık ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlere göre, tabakaların toplam kütlesi, öz ısı dağılımları hesaplanmıştır. YB'de depolanan ısı;

$$Q_{st,YB} = m_{YB} C_{p,YB} [T_{YB} - T_h] \quad (5)$$

eşitliğine göre bulunur. Burada, m_{YB} tabakanın toplam kütlesidir. $C_{p,YB}$ tabakanın öz ısı kapasitesi, T_{YB} tabakaların sıcaklığıdır. YB'nin kütlesi;

$$m_{YB} = \rho_{YB} V_{YB} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, ρ_{YB} ; YB' in ortalama yoğunluğudur. V_{YB} ise, bölgenin toplam hacmidir ve değeri $2,4 \text{ m}^3$ 'dür. Az yoğun tuzlu su tabakası olan YB'in öz ısı kapasitesi ise,

$$C_{p,IDB} = 4180 - 4,396s_{YB} + 0,0048s_{YB}^2 \quad (7)$$

Burada s_{YB} , ÜKB' in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{YB} = \frac{\rho_{YB} - 988 + 0,4[T_{YB} - 20]}{0,65} \quad (8)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlere göre, öz ısı kapasiteleri bölgeyi oluşturan tabakaların yoğunluk ve sıcaklık dağılımlarına göre değişmektedir.

Alt konveksiyonlu bölgede ısı depolaması: ÜKB'den havuza giren güneş ışınları, YB'de soğurulduktan sonra geri kalan kısmı ısı depolama (IDB) ulaşır ve burada soğurular ve ısı biçiminde depolanır. Bu bölge konveksiyonlu bir bölge olduğu için, ısı dağılımı hemen hemen homojendir. Ancak, IDB'i çevreleyen yan duvarlar ve YB ile temasın olduğu kısımlarda iletimle az bir miktarda ısı akışı olmaktadır. Bu bölgelerdeki ısı kayıpları, sıcaklık dağılımı eğimine göre hesaplanmaktadır. Burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde önemli katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmada, IDB'nin sıcaklık ve yoğunluk dağılımı ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlere göre, tabakaların toplam kütlesi, öz ısı dağılımları hesaplanmıştır. Bu hesaplara göre de, IDB'de depolanan ısı,

$$Q_{st,IDB} = m_{IDB} C_{p,IDB} [T_{IDB} - T_h] \quad (9)$$

denklemlere göre bulunur. Burada, m_{IDB} tabakanın toplam kütlesidir. $C_{p,IDB}$ tabakanın öz ısı kapasitesi, T_{IDB} tabakanın sıcaklığıdır. IDB'in toplam kütlesi ise,

$$m_{IDB} = \rho_{IDB} V_{IDB} \quad (10)$$

eşitliği ile gösterilir. Burada, ρ_{IDB} ; IDB' in ortalama yoğunluğudur. V_{IDB} ise, bölgenin toplam hacmidir ve değeri $3,2 \text{ m}^3$ 'dür. Çok yoğun tuzlu su tabakası olan IDB'in öz ısı kapasitesi ise,

$$C_{p,IDB} = 4180 - 4,396s_{IDB} + 0,0048s_{IDB}^2 \quad (11)$$

s_{IDB} ise, IDB' in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{IDB} = \frac{\rho_{IDB} - 988 + 0,4[T_{IDB} - 20]}{0,65} \quad (12)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

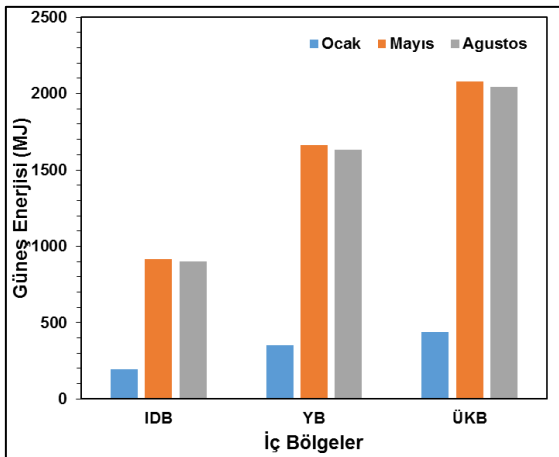
3. BULGULARI VE TARTIŞMA

Güneş havuzunun enerji kaynağı güneş enerjisidir ve birim yüzey alanına düşen güneş enerjisi oranı önemlidir. Havuz yüzeyine Güneşten gelen ışınlar, havuzun iç bölgesini oluşturan tuzlu su tabakaları tarafından kademe kademe soğurularak havuzun en önemli bölgesi olan ısı depolama bölgesine (IDB) ulaşmaktadır. Bu bölgeye ulaşan güneş ışınları soğurularak ısıya dönüşmektedir. Bu enerji dönüşüm işlemi havuzun iç bölgelerinin oluşturan tabakaların yapısına göre değişmektedir. Güneş ışınlarının özellikle IDB'de soğurulan kısmı ısı biçiminde depolanabilmekte ve daha uzun süre burada tutulmaktadır. Bu bölgenin üstündeki yalıtım bölgesinde (YB) daha az ısının tutulabildiği ve YB'den itibaren ÜKB'ye kadar sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Bu azalmalar tabakaların yapısına göre değişir. Bu bakımdan güneş havuzunun yapısı önemlidir.

Güneş havuzun iç ve dış bölgelerinin yapısı güneş havuzunun ısı depolama performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu yüzden, bu bölgelerin yapısı ile ilgili parametrelerin iyi bilinmesi

gerekmektedir. Özellikle, iç bölgeleri oluşturan tuzlu su tabakalarının kalınlıklarının, termofiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlardan özellikle tuzlu suyun tuz yoğunluğu, öz ısısı ve iletkenliği iç bölgelerin ısı performansı üzerinde etki eden önemli parametrelerdir. Bu parametreler, sistem performansının belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir. Şekil 1’de havuzunun iç bölgeleri, tuzlu su tabakalarının kalınlıkları ve yoğunluk dağılımları verilmektedir. Şekilde verilen güneş havuzunun sistem performansını havuz yüzeyine gelen güneş ışınının tabakalar tarafında bir kısmı soğurulmakta geri kalan kısmı ise alt tabakalar geçirilmektedir. Tabakalarda soğurulan ışınlar, tabakaların öz ısı kapasitesi, ısı iletim katsayısı, iletimle ısı transferi gibi özelliklerde olumlu ya da olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu neden, güneş havuzunu etkileyen bu parametrelerin sistemin ısı performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Güneş havuzun iç bölgelerine bulunduğu yerin iklimsel şartlarına ve coğrafi konumuna bağlı olarak farklı zamanlarda farklı oranlarda güneş enerjisi gelmektedir. Gelen güneş enerjisi havuzu oluşturan tabakalar tarafından soğurulmakta ve ısı biçiminde depolanabilmektedir. Dolayısıyla, Tabakaların sıcaklık dağılımları farklı zamanlarda farklı değerlere ulaşmaktadır.

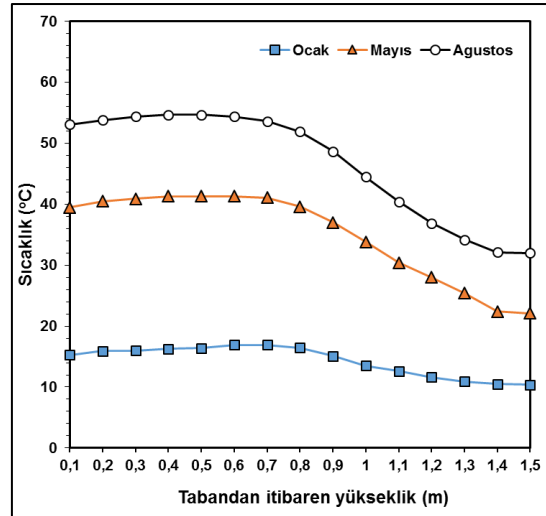


Şekil 2. Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi dağılımı

Şekil 2’de güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan ÜKB, YB ve IDB’nin yüzeyine düşen toplam güneş enerjisi dağılımı Ocak, Mayıs ve Ağustos ayı için verilmiştir.

En fazla güneş enerjisi en üst yüzey olan ÜKB’ye düşmüştür. Gelen güneş enerjisi tabakaların derinliğine, soğurma ve geçirgenlik özelliklerine göre ÜKB’den aşağıya doğru azalarak IDB’ye ulaşmıştır. Beklenildiği gibi, güneş enerjisi en düşük Ocak ve en yüksek ise Mayıs-Ağustos ayında olduğu görülmüştür.

Şekil 3’de model bir güneş havuzunun iç bölgelerinin Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için aylık ortalama sıcaklık dağılımları görülmektedir. Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisine bağlı olarak, küçük boyutlu ve yalıtımlı bir güneş havuzunun iç bölgelerinin Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için aylık ortalama sıcaklık dağılımları verilmiştir.



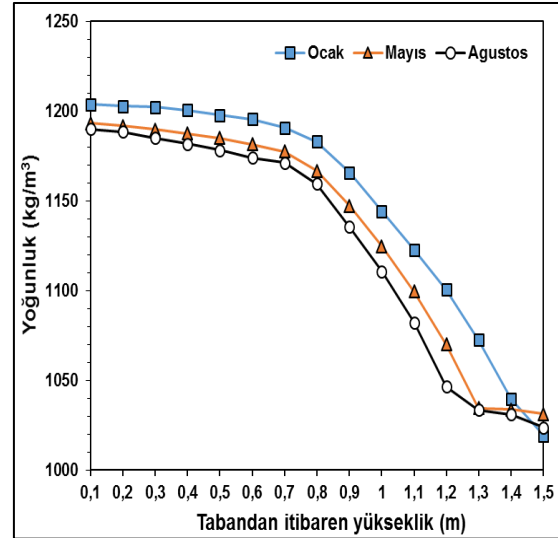
Şekil 3. Güneş havuzunun iç bölgelerinin sıcaklık dağılımı

Şekil 3’de görüldüğü gibi, ısı depolama bölgesinin sıcaklığı Ağustos ayında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Güneş havuzunun en alt bölgesindeki sıcaklık dağılımı tabandan itibaren 0,7 m’ye kadar hemen hemen aynı değerdedir. Çünkü bu bölge konveksiyonlu bir bölgedir ve ısı dağılımı IDB’de

yaklaşık homojendir. Ağustos'ta sıcaklık IDB'de yaklaşık 53°C ile en yüksek değerlere ulaşırken, 0,7 m'den itibaren 0,8 m arasında bir kavis yaparak azalmaya başlamıştır. Bu noktadan itibaren oluşan tuz eğimi ile birlikte aynı zamanda bir sıcaklık eğimi de oluşmaya başlamıştır. 0,8 cm'den 1,4 m'e kadar olan ısı yalıtım bölgesi (YB) denen tuz eğimli bölge aynı zamanda bir sıcaklık eğimi oluşmasını sağlamaktadır. Isı yalıtım bölgesinde oluşan bu sıcaklık eğimi 50°C, 47°C, 40°C, 35°C, 28°C, 23°C şeklinde azalmaktadır. Isı depolama bölgesi (IDB)'in sıcaklığı Mayıs ayında yaklaşık olarak 45 °C iken tuz eğimli bölgede ise 35°C, 30°C, 27°C, 19°C olarak kademe kademe azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde Ocak ayı için IDB' in yaklaşık sıcaklığı 15 iken, YB'in sıcaklığı ise kademe kademe azalmaktadır. Sıcaklığın Ağustos ayında en yüksek değerle çıkmakta, fakat Ocak ayında ise en düşük değerlere inmektedir. İç bölgelerdeki sıcaklık artışı ve azalması üzerinde başta bölgenin iklimsel değişimlerin önemli bir rol üslenmektedir. Ancak, uygun kalınlık ve yoğunluklarda bu değerle olumlu olarak geliştirmek mümkündür.

Şekil 4'te, Ocak, Mayıs ve Ağustos aylarında iç bölgelerin yoğunluklarının tabandan itibaren yükseklikle değişimi görülmektedir. Havuzun tabanından itibaren 0,7 m'ye kadar yoğunluk oranlarında gözle görülür bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın en önemli nedeni,

homojen tuzlu su yoğunluğuna sahip ve eğimsiz bir bölge olan IDB'nin sıcaklığındaki artışla birlikte tuz difüzyonunda da bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu IDB'nin yoğunluk dağılımında tabandan yukarıya doğru az bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Tuz moleküllerinin difüzyonla birlikte üst kısımlara doğru taşınması özellikle YB'de bir yoğunluk artışına neden olmuştur. YB'de tuz eğimin mevsimsel değişimlerden etkilendiği görülmektedir. Bu değişimler tuz eğimi dışardan yoğun tuzlu su ile beslenerek yeniden onarılabilmektedir.



Şekil 4. Güneş havuzu yoğunluğu dağılımı

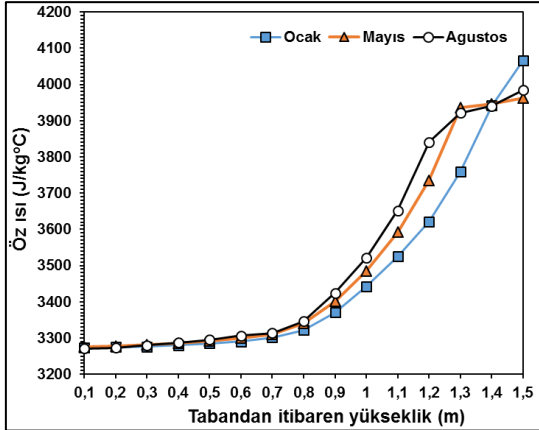
Cizelge 2. İç bölgelerin ortalama öz ısı kapasiteleri

Aylar	Sıcaklık (°C)			Yoğunluk (kg/m ³)			Öz ısı (J/kg°C)		
	$T_{ÜKB}$	T_{YB}	T_{IDB}	$\rho_{ÜKB}$	ρ_{YB}	ρ_{IDB}	$C_{p,ÜKB}$	$C_{p,YB}$	$C_{p,IDB}$
Ocak	10,4	12,36	16,26	1019,20	1107,50	1197	4066,01	3588,82	3287,47
Mayıs	23,3	29,66	40,68	1031,33	1084,97	1184,10	3959,27	3659,39	3294,65
Ağustos	32	39,46	53,82	1023,71	1073,21	1178,46	3984,20	3696,92	3295,55

Şekil 5'te ise, güneş havuzunun iç bölgelerinin öz ısı kapasite değerlerinin mevsimsel değişimleri görülmektedir. Eşitlik 3, 7, 11 kullanılarak, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için bölgelerin öz ısı

kapasiteleri hesaplanmıştır. Yoğunluk dağılımlarının öz ısı kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Özellikle, en yüksek yoğunluğa sahip depolama bölgesinde,

sıcaklığın etkisi yok denecek kadar azdır. Ancak yoğunluk burada çok etkilidir.



Şekil 5. Güneş havuzunun iç bölgelerinin öz ısı dağılımı

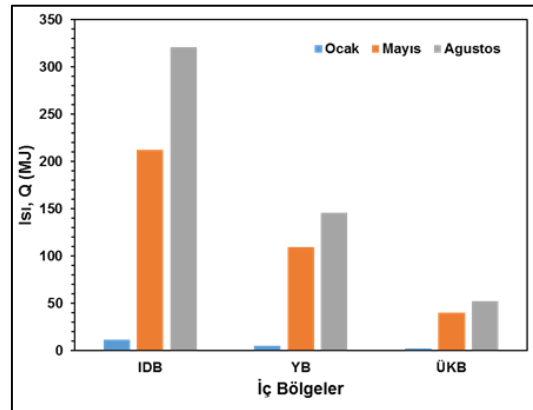
Havuzun iç bölgelerinin öz ısı kapasitelerinin ortalama değerleri Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için hesaplanmıştır. IDB'nin öz ısı kapasitesi yaklaşık olarak 3287,91, 3295,42 ve 3296,62 J/kg°C'dir. YB'in öz ısı kapasiteleri 3610,05, 3682,57 ve 3716,90 J/kg°C'dir. ÜKB'de ise, yoğunluk dağılımları ile birlikte sıcaklık dağılımlarının da etkisi görülmektedir. ÜKB'nin öz ısı kapasitesi, Ocak ayında 4066 J/kg°C iken Mayıs ve Ağustos aylarında ise 3962,15 ve 3984,20 J/kg°C olarak hesaplanmıştır.

Güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan tuzlu su tabakalarının zamanla değişen sıcaklık ve yoğunluk dağılımları ölçülmüştür. Elde edilen bu ölçüm değerlerine göre de, sıcaklık ve yoğunluk dağılım profilleri çıkarılmıştır (Şekil 3 ve 4). Bu ölçüm değerlerinin her bölge için ortalamaları alınmak suretiyle ÜKB, YB ve IDB'nin ortalama sıcaklık, yoğunluk ve öz ısı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2'deki veriler göre, havuzun iç bölgelerde depolanan ısı oranları Eşitlik 1-5-9 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen oranlar Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için hesaplanmıştır (Şekil 6). Güneş havuzunun iç bölgelerinde mevsimsel değişimle birlikte ısı depolama oranlarında önemli değişimler

görülmektedir. Şekil 2'ye göre en fazla güneş enerjisi ÜKB'ye gelmesine rağmen, Şekil 6'da görüldüğü gibi en az ısı enerji ÜKB'de tutulabilmektedir. Mayıs ve Ağustos aylarında güneş enerjisindeki artışla birlikte hızlı bir şekilde çok az miktarda ısı tutabilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için, IDB, YB ve ÜKB'in ısı depolama kapasiteleri belirlenmiştir. Buna göre, IDB'de depolanan ısı, Ocak ayında en düşüktür ve 11,42 MJ'dir. Ağustos ayında ise en yüksek 320,94 MJ değerine ulaşmıştır. Şekil 6'da ısı depolama özelliğinin en yüksek olduğu bölge IDB olup, YB'den itibaren ÜKB'ye kadar azaldığı ve ÜKB'de önemli düzeyde ısı depolamanın mümkün olmadığı görülmektedir. Ocak ayında çevre sıcaklığındaki ani düşüşler yüzünden özellikle ÜKB'de hemen hemen hiç ısı depolanamazken, çevre sıcaklığındaki artışla birlikte Mayıs ve Ağustos aylarında bir miktar ısı depolanabildiği görülmüştür.



Şekil 6. Farklı aylarda güneş havuzunun iç bölgelerinde depolanan toplam ısı oranları

ÜKB'de tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerine önemli bir katkısı yoktur. Fakat ara bölge olan YB'deki ısı artışları önemlidir ve bu bölge aynı zamanda bir yalıtım görevi yapmaktadır ve IDB'in ısı performansını etkilemektedir. Bu yüzden YB, IDB'den ÜKB'ye iletimle olan ısı kayıplarının azalmasında önemli bir ara bölgedir ve havuzun ısı performansı üzerine çok önemli katkısı olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş havuzlarında en önemli konularda birisi ısı performansının artırılmasıdır. Bunun için iç bölgelerinin yapısı çok önemlidir. Özellikle, tuz gradyentli (eğimli) bölge olan ve yalıtım bölgesi de (YB) denen ara bölgenin tabandan üst bölgeye (IDB'den ÜKB'ye) doğru konveksiyonla ısı akımlarını önlediği görülmüştür. Bu bölge, güneş ışınlarının sadece ısı depolama bölgesine ulaşmasına yardım etmediği aynı zamanda ısının ısı depolama bölgesinde uzun süre tutulmasında yardımcı olan önemli bir bölgedir. Böylece, havuz yüzeyine gelen ışınlarının önemli oranda tuzlu su tabakaların bulunduğu YB ve IDB tarafında soğurularak ısıya dönüştürüldüğü ve uzun süre depolanabildiği görülmüştür. Ancak, bu iki bölgenin tuz yoğunluğundaki artışla birlikte öz ısı kapasitesinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmayla birlikte güneş havuzunun ısı depolama performansı da olumsuz bir etkilemiştir. Bu da havuzun ısı performansının azalmasına neden olmuştur. Bu azalmayla birlikte, YB'de depolanan ısı miktarı da düşmüştür. YB'deki bu düşüş, aynı zamanda IDB'de depolanan ısı miktarını olumsuz bir şekilde etkileyerek havuzda depolanan ısı miktarının azalmasına ve dolayısıyla havuzun ısı performansının da düşmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, özellikle tuz gradyentli bölgeyi oluşturan tabakaların kalınlık ve yoğunluklarının güneş havuzunun ısı performansı üzerinde çok önemli etkisi olduğu görülmüştür. Geliştirilecek yeni model güneş havuzu sistemleri sayesinde, güneş havuzlarının ısı performanslarının artırılacağı ve daha verimli bir güneş enerjisi sistemi haline dönüşebileceği kanaatindeyiz.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma FBE 96.1, FEF 96.1 ve FBA-2014-3195 nolu projeler kapsamında hazırlanmıştır. Katkılarından dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Styris, DL., Harling, OK., Zaworski, RJ., Leshuk, J., 1976. The Nonconvecting Solar Pond Applied to Building and Process Heating, *Solar Energy*, 18; 3, 245-251.
2. Bozkurt, I., Karakilcik, M., 2015. The Effect of Sunny Area Ratios on the Thermal Performance of Solar Ponds, *Energy Conversion and Management*, 91; 323-332.
3. Ding, L.C., Akbarzadeh, A., Date, A., 2016. Transient Model to Predict the Performance of Thermoelectric Generators Coupled with Solar Pond. *Energy*, 103; 271-289.
4. Erden, M., Karakilcik, M., Dincer, I., 2016. Performance Investigation of Hydrogen Production by the Flat-Plate Collectors Assisted by a Solar Pond, *International Journal of Hydrogen Energy* (In Press, Corrected Proof.) doi:10.1016/j.ijhydene.2016.04.116.
5. Karakilcik, M., Dincer I., Rosen, MA., 2006. Performance Investigation of a Solar Pond, *Applied Thermal Engineering*, 26; 7, 727-735.
6. Wang, Y.F., Akbarzadeh, A., 1982. A Study of the Transient Behaviour of Solar Ponds. *Solar Energy*, 7; 12, 1005-1017.
7. Hawlader, M.N.A., 1980. The Influence of the Extinction Coefficient on the Effectiveness of Solar Ponds. *Solar Energy*, 25; 461-464.
8. Alcaraz, A., Valderrama, C., Cortina, JL., Akbarzadeh, A., 2016. Enhancing the Efficiency of Solar Pond Heat Extraction by Using Both Lateral and Bottom Heat Exchangers. *Solar Energy*, 134; 82-94.
9. Bansal, PK., Kaushik, ND., 1981. Salt Gradient Stabilized Solar Pond Collector. *Energy Conversion and Management*, 21; 81-95.
10. Akbarzadeh, A., MacDonald R.W.G., 1982. Introduction of a Passive Method for Salt Replenishment in the Operation of Solar Ponds. *Solar Energy*, 29; 1, 71-76.
11. Wang, Y.F., Akbarzadeh, A., 1983. A Parametric Study on Solar Ponds, *Solar Energy*, 30; 6, 555-562.
12. Akbarzadeh, A., 1984. Effect of Sloping Walls on Salt Concentration Profile in a Solar Pond. *Solar Energy*, 33; 2, 137-141.

13. Cengel, YA., Özişik, M.N., 1984. Solar Radiation Absorption in Solar Ponds, *Solar Energy*, 33; 6, 581-591.
14. Beniwal, S., Singh, R., Saxena, N.S., Bhandari, R.C., 1987. Thermal Behaviour of Salt Gradient Solar Ponds. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 20; 1067-1071.
15. Karakılçık, M., 1998. Yalıtımlı Prototip Bir Güneş Havuzunun Performansının Saptanması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

Bronz Yapıtların Atmosferik Korozyonunda Hava Kirleticilerin Etkisi ve İnhibitörle Korunması

Gözde TANSUĞ^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi Ceyhan Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Arkeolojik ve modern yapıtlarda sıkça karşılaşılan bronz malzemenin atmosferik korozyonu, havada bulunan kirleticiler ve diğer meteorolojik verilerle ilişkilendirilerek çalışılmıştır. Bronz yüzeyinin atmosferik korozyona karşı uzun süreli korunmasını sağlamak için organik inhibitör etkinlikleri test edilmiştir. İnhibitörün kimyasal adsorpsiyonu ile oluşan polimerik filmin oksit birikintisi ile uyumlu olduğu ve bu yolla atmosferik korozyona karşı etkin bir koruma sağlanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik korozyon, Bronz, Hava kirleticiler, İnhibitör

The Influence of Air Pollutants on the Atmospheric Corrosion of Bronze Artefacts and Protection with Inhibitor

Abstract

Atmospheric corrosion of bronze has been investigated in presence of air pollutants, since this material is widely preferred for construction of artefacts, in relation with meteorological parameters. The data showed that bronze surface could be protected with organic thin film which is also compatible with natural oxides. Polymer-like organic films were obtained on the surface, thanks to chemisorption of organic inhibitor molecules. The said layer was shown to exhibit high protection efficiency against atmospheric corrosion.

Keywords: Atmospheric corrosion, Bronze, Air pollutants, Inhibitor

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Gözde TANSUĞ, gtansug@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bakır ve alaşımlarından üretilmiş olan kültürel yapıtlar, şehir atmosferine maruz kaldıklarında zamanla korozyona uğramakta ve tahrip olmaktadır. Atmosferik korozyon hem estetik kaybına hem de kalıcı deformasyona neden olmaktadır [1]. Bu süreçte, endüstriyel gazların atmosferdeki varlığı ve partikül halinde havada bulunan kirliliklerin önemi çok büyüktür. Her türlü yakıtların evsel ve endüstriyel kullanımı sonucu havaya karışan SO_x ve NO_x 'lerin suyla tepkimesi sonucu oluşan asit yağmurları, atmosferik korozyonu doğrudan hızlandıran bir etkiye sahiptir. Duman, toz benzeri kirleticilerle birlikte bu asitlerin tahrip edici etkisi çok daha artmaktadır. Bir diğer önemli etken ise ozon gazının kendisidir, bu gaz fotokimyasal sisin temel bileşenidir. Atmosferik kirlilikler metallerin yüzeyinde kararlı (koruyucu) patina oluşmasını engellerken, çukurcuklara, şekil bozukluklarına, varsa yüzeydeki kaplamaların tahrip olmasına neden olurlar. Sıcaklık ve güneş ışığının etkisi ile termal ve fotokimyasal hasarın da ortaya çıktığı bilinmektedir [2-5].

Partikül madde (PM) boyut, oluşum mekanizması, köken, kimyasal bileşim, atmosferik davranış ve ölçüm yöntemi ile tanımlanan kimyasal ve fiziksel olarak farklı maddelerin karışımlarıdır. Atmosferde bir kez yer aldıktan sonra çeşitli etkilerle (sanayileşme, nüfus artışı, vs.) konsantrasyon ve boyutları değişir. Çevresel atmosferdeki kirleticilerin derişim dağılımı, emisyonun yöre, yerden yükseklik, hız, sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Hava faktörlerinin sinerjistik etkileşimleri de göz önüne alınmalıdır; yapıtlar üzerinde hacimsel değişimlere ve malzemede bozunmalara, çatlakların yayılmasına neden olmaktadır. Aşındırıcı partiküller ve rüzgâr yüzeyi tahrip etmekte, nem + rüzgâr + su + kirleticiler zayıf asitleri oluşturarak, bunların malzemelerin içine işlemesine neden olmaktadır [6,7].

Birçok kirliliğin ve meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, nem, rüzgâr, güneşlenme süresi vb.) olası etkilerinin açıklanmış olmasına rağmen, metalin

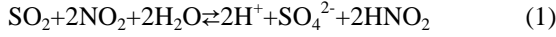
türüne bağlı olarak atmosferik korozyon sürecinin mekanizma, hız açısından aydınlatılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Atmosferdeki su buharının malzeme yüzeyinde fiziksel adsorpsiyonu sonucu oluşan nem tabakası atmosferik korozyonun başlaması için gerekli ilk adımdır [8,9]. Bu nem tabakasının yüzeyde kalma süresi ve kimyasal bileşimi (iyonlar, çözünmüş gaz vb.) çevresel faktörlere ve meteorolojik parametrelere bağlıdır [10]. Nem tabakası (film) içerisindeki korozif bileşenler ve diğer türlerin yüzeyle etkileşimleri doğrudan oransal miktarları ile ilgili olup, atmosferik korozyonun hızı ve mekanizması açısından belirleyicidir [8]. Havadaki nem oranı belli bir değerin üzerinde olduğunda, hava sıcaklığındaki ani değişimler sonucu ortaya çıkan çığ, metalik yüzey üzerinde ince bir nem tabakası (film) oluşturur. Atmosferdeki kirlilik derişimi göreceli yüksek olduğu durumda, yağmura göre bu koşullar çok daha koroziftir [10].

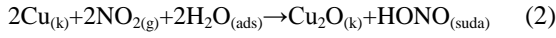
Literatürde bakır korozyonu üzerinde atmosferik NO_2 ve/veya SO_2 kirleticileri ile bağlı nemin etkisi sıklıkla incelenmiştir [11-13]. SO_2 gazının varlığı bakırın korozyonunu hızlandırmakta, metal yüzeyindeki nem tabakası içinde oluşan sülfüröz (H_2SO_3) ve sülfürik (H_2SO_4) asit patinanın kompozisyonunu etkilemektedir [14]. Açık atmosfer koşullarında uzun süreli kalan patina içinde sülfütlere ve sülfatlar bulunmaktadır. pH'ın 4 den büyük olduğu durumlarda bakır sülfat ($Cu_4(SO_4)(OH)_6$) tabakası kararlı halde yüzeyde oluşmaktadır. NO_2 gazı suda az da olsa çözünebilir bir gaz olmasına rağmen nitroz ve nitrik asit olarak bakır yüzeyinde indirgenmektedirler. $800 \mu g/m^3$ SO_2 ve NO_2 'nin varlığı, %90 bağıl nem koşullarında patinanın üzerinde belirgin bir renk değişikliğine neden olmamaktadır. %90 bağıl nem koşullarında NO_2 , %90 ve %50 bağıl nem koşullarındaki SO_2 den daha az koroziftir. Ancak %50 bağıl nem koşullarındaki NO_2 'nin korozifliğinin SO_2 'ninkinden yüksek olduğu gösterilmiştir.

$2000 \mu g/m^3$ değerinden yüksek SO_2 ve NO_2 'nin, %90 değerinden yüksek bağıl nem korozyon hızı üzerine sinerjik etki yarattığı tespit edilmiştir. Bu durumda Cu_2O filmi zamanla çözünmektedir ve

sülfür bileşikleri bakır yüzeyinde oluşmaktadır. SO₂ ve NO₂'nin Eşitlik 1'deki reaksiyonu bağlı nemin fazla olduğu ortamlarda gerçekleşmektedir [12].



Literatürde ozonun (O₃) 1 mg/L değerini aşması bakır alaşımlarının korozyon hızını 5-10 kat artırdığı bildirilmiştir [15]. Bakır ve alaşımları üzerinde yapılan başka bir çalışmada, ozonun 0.05 mg/L varlığının ise metal yüzeyinde koruyucu oksit tabaka oluşumunu katalizleyerek, korozyona karşı direnci arttırdığı bulunmuştur [16]. Başka bir çalışmada, atmosferik korozyonda en etkili parametre olarak rapor edilen NO₂, taşıt motorlarından yanma ürünü olarak açığa çıkarak, bakır malzeme üzerindeki nem ile birleşerek nitroz asit oluşumuna dair meydana gelen tepkimeler aşağıda verilmiştir. Ortamdaki oksijenin varlığı ile nitroz asit yükseltgenerek nitrik asite dönüşmektedir (Eşitlik 2 ve 3) [3].

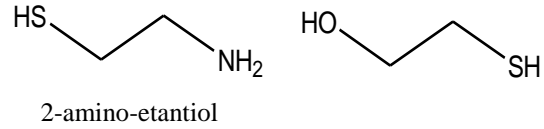


Bu çalışmada, şehir atmosferinde (Adana-Sarıçam bölgesinde), 7 aylık periyotta gözlemlenen meteorolojik parametrelerdeki değişim ve bunların bronz materyal korozyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak, doğrudan açık atmosferde organik ince film ile koruma yönteminin uygulanabilirliği çalışılmıştır. Merkaptto-etanol (ME) ve amino-etantiol (AET) organik molekülleri, sahip oldukları -SH grubu üzerinden bakır metalinin boş d orbitalleri ile koordinasyona girerek, yüzeyde polimer benzeri çok ince bir film oluşturabilirler. Tarihi bir eser yüzeyinde uygulanacak ince organik filmin mümkün olduğunca homojen olması estetik görünüm açısından tercih edilirken, koruyuculuk açısından da kusurların (çatlaklar, gözenekler vb.) az olması gereklidir. ME, AET ve bu iki bileşiğin karışımı ile hem yüzeyde iyi tutunan hem de moleküller arası etkileşmeler sayesinde kompakt yapıya sahip organik koruyucu film geliştirilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Atmosfere açık ortama bırakılan bronz örnekler, 18 mm yarıçapa 2 mm kalınlığa sahip olup bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Örneklerin yüzeyi önce 1200 gritlik zımpara kâğıdı ile parlatılmıştır. 1:1 etanol/su karışımı ve destile su ile yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutulmuştur. İnhibitörler Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. İnhibitörlerin yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnhibitör moleküllerinin kimyasal yapıları

2.2. Metot

Atmosferik korozyon testleri: ASTM G50 standardına göre yuvarlak kesilmiş bronz örnekleri şehir atmosferinde güneye bakan cepheye 45 derece açı ile yerleştirilmiştir. Etanol içerisinde hazırlanan 50 mM derişimdeki inhibitör çözeltileri bronz yüzeylerine 10 cm uzaklıktan plastik bir spreyci şişesi yardımıyla püskürtülerek uygulanmıştır. Her bir püskürtme işleminde, yüzeye uygulanan inhibitör miktarı 2,8 mg/cm² olacak şekilde ayarlanmıştır.

Yüzey morfolojisi analizleri: Bronz örnekleri, simüle asit yağmuru çözeltisinde (pH=5) ve 50 mM derişime sahip ME, AET ve ME/AET (1:1) karışımı çözeltilerinde bir hafta bekletildikten sonra SEM-EDS cihazı ile görüntülenmiştir. Ayrıca atmosfere bırakılan yüzeyler bifokal optik mikroskop (Leica EZ4HD) ve SEM-EDS (A Carl Zeiss Evo 440 SEM) cihazı ile 2 ve 7 aylık süreçlerde incelenmiştir, aynı örneklere ait kesit analizleri ile yüzeydeki değişiklikler aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Meteorolojik ve çevresel verilerin eldesi: Meteorolojik ve çevresel irdelemeler için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Adana Sarıçam

İstasyonu ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Adana Meteoroloji hava kalitesi izleme istasyonunun düzenli olarak yayınladıkları veriler kullanılmıştır. Ülkemizde ve Avrupa Birliğine üye ülkelerde 2015 yılında uygulanan hava kalitesi sınır değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir [17]. Deneylerin yapıldığı Adana il merkezindeki hava kalitesi değerleri Çizelge 2’de verilen standart değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Elektrokimyasal ölçümler ve korozyon hızının belirlenmesi: Potansiyodinamik ölçümler CHI 660B potansiyostat-galvanostat cihazı ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Üç elektrot sisteminde çalışma elektrotu bronz, karşı elektrot platin ve referans elektrot Ag/AgCl (KCl) kullanılmıştır. Bu deneylerde test çözeltisi olarak, şehir atmosferinde gerçekleşen asit yağmurlarını simüle eden bileşime ($0,2 \text{ g L}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ g L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$) sahip sulu çözelti (pH=5) kullanılmıştır. Potansiyodinamik ölçümler korozyon potansiyelinden başlamak üzere 1 mV/s tarama hızında alınmıştır. Elektrokimyasal parametrelerden korozyon akımı, korozyon potansiyeli hesaplanmıştır. Metal, korozyon potansiyeli dolayında dengeye ulaştıktan sonra (1 saat sonra) bu ölçümlere başlanmıştır. Ölçümler, yüzeyine inhibitör çözeltisi püskürtülmüş ve püskürtülmemiş bronz örnekler atmosferik ortamda 2 ay bekletildikten sonra elde edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Meteorolojik Veriler

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Adana Sarıçam İstasyonu’ndan elde edilen veriler Çizelge 3’te gösterilmiştir. Türkiye’nin güneyinde yer alan Adana 35-38 enlemleri ile 34-46 doğu boylamları arasında konuma sahip 2.300.000 nüfuslu bir şehirdir. Yazları sıcak ve nemli havası ile diğer illerden ayrılmaktadır. Deneyin yapıldığı nokta N37°04’54’’ ve E35°18’57’’, yükseklik 90 m’dir.

Çizelge 1. Bronz elektrotların % bileşimi

Bronz	Cu	Sn	Zn	Fe	Ni	Sb	S	Al	Si	P
Bileşim	86,45	6,27	5,97	0,32	0,48	<0,002	0,067	<0,001	<0,005	<0,005

Sıcaklık, reaksiyonları ve iyon hareketliliğini artırarak ve yoğunlaşmayı azaltarak iki farklı rol oynar. Genel olarak, sıcaklık değerinde gerçekleşen her 10°C ’lik artış bir kimyasal tepkimenin hızını iki katına çıkarmaktadır [18].

Bağıl nemin %60’dan daha yüksek olduğu durumda atmosfere açık metalik yüzeylerde ince bir film tabakası oluşmaktadır. Yağışın yüksek olduğu aylarda, havada bulunan partiküllerin ve SO_x , NO_x gibi gazların da malzeme yüzeyine taşınması artmaktadır. Rüzgâr, aynı zamanda metal yüzeyindeki oluşan nem tabakasının yüzeyde kalma süresi açısından da (ıslak-kuru periyotlar) önemlidir. Nem tabakası, içerisinde çözünmüş bileşenlerin varlığında, korozyon hücresinin oluşması için gerekli elektrolit ortamı sağlar. Bu nedenle, yüzeyin ıslak ve kuru periyotlar arasındaki geçiş süresi ve sıklığı korozyon açısından son derece önemlidir. Bu noktada, güneşlenme süresi kadar rüzgârın da etkisi vardır. Meteorolojik verilerde, bağıl nemin en yüksek ve en düşük değerleri verilmekle birlikte, gün içerisinde (gece ve gündüz arasında) sıcaklıklar önemli ölçüde değiştiğinden, atmosferdeki nemin yüzeye etkisi de sürekli değişir. Bu sırada, ıslak-kuru periyotlar, kuruma hızı ve kuruma sırasında nem tabakası içinde, iyon vb. derişiminin anlıkta artması söz konusudur. Dolayısıyla, korozyon süreçleri ve hızı da bu olaylardan direkt etkilenir. Görüldüğü üzere, ilgili parametrelerin hiç birisi tek başına, atmosferik korozyonu açıklama veya modelleme için yeterli değildir.

Çizelge 3’te bağıl nemin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde bağıl nemin yüksekliğinin bakır ve alaşımlarının korozyon hızını artırdığı belirtilmektedir [19]. Bağıl nemin artması bakır(I)oksit (Cu_2O) oluşum hızını artırarak, patina oluşumunu sağlamaktadır. Bu da bronz malzemenin korozyondan korunmasına neden olmaktadır.

3.2. Hava Kalitesi Verileri

Adana İli kent merkezi hava kalitesi, sanayi, evsel ısınma, trafik emisyonlarını da içeren birçok kaynak tipinden olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca hava akımları dolayısı ile Mısır, Tunus, Libya gibi ülkelerden gelen tozlara maruz kalmaktadır. Adana kent merkezinde PM₁₀ değerlerinin yüksekliğinde, iklim ve arazi koşullarının uygunluğundan kaynaklanan yoğun tarım faaliyetleri sonucu oluşan anız yangınlarının katkısı büyüktür. Özellikle Eylül, Ekim, Kasım aylarında yüzbinlerce dekar alanda mısır hasatı yapılmasından sonra özellikle şehrin güneyinden ve meteorolojik şartların etkisiyle Mersin ilinin doğusundan anız yangınları sonucu gelen yoğun partikül madde kentte ciddi şekilde hissedilmektedir. Hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınan altı yıllık veriler değerlendirildiğinde PM₁₀ değerinin her geçen yıl limit değeri aştığı görülmektedir. Deneyin yapıldığı dönem içinde hava kalitesi PM₁₀ değeri AB ülkelerinin tabi olduğu sınır değerlerinin üstünde kalmaktadır. Sadece ocak ve mart aylarında ülkemizde uygulanan sınır değerinin altındadır. Ancak SO₂ ve O₃ için yıllık ya da yıllık bazda günlük ortalama limit değer aşım sayısı yönünden herhangi bir durum söz konusu görünmemektedir [17]. NO_x değerleri kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında limit değerleri aşarak, korozyonun hızlanmasına neden olacaktır. İl merkezi Akdeniz'e yaklaşık 50 km uzaklıkta olduğu için tuz rüzgârları ve klorür iyonlarının korozyona etkisi üzerinde durulmamıştır. Adana Sarıçam meteoroloji istasyonu hava kalitesi değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir. Atmosferdeki partikül madde (PM₁₀) değeri çapı 10 mikrometre'ye eşit ya da 10 mikrometre'den küçük olan parçacıkların konsantrasyonunu göstermektedir. Dolaysız kaynaktan atmosfere verilebildikleri (birincil) gibi atmosferde de oluşabilmektedirler (ikincil).

Çizelge 2. Hava kalitesi sınır değerleri

Yıllık	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³) (8 saat)
Ülkemizde uygulanan (2015 yılı)	56	20	56	30	120
AB üye ülkelerde uygulanan	40	20	40	30	120

Dolaysız kaynaklar; toprak, deniz, volkan tozu ve biyolojik parçalar gibi doğal kaynaklar ve endüstriyel toz ve is gibi insan kökenli kaynaklardır. İkincil kaynaklar; biyolojik ve volkanik gazlardan oluşan sülfatlar, NO₂'den oluşan nitratlar, uçucu organik bileşiklerden (VOC) oluşan organik maddeler doğal kaynaklardır. Toplam ince partiküllerin %60'ı insan yapımıdır. Atmosferde kalış süreleri boyutlarına ve hidrofobik/hidrofilik karakterine bağlı olarak birkaç gün ya da birkaç hafta olabilmektedir.

Hava kirleticilerinin birbirleriyle ve bağıl nem ile olan sinerjik etkileşimleri için lineer korelasyon katsayılarının kareleri (R²) hesaplanmış ve Çizelge 5'te gösterilmiştir. Benzer kaynaklardan (her türlü yakıt emisyonu) elde edilen SO₂, NO_x ve PM₁₀ arasında korelasyon saptanmış, ozonun ise diğer kirleticilerle arasında önemli bir korelasyon olmadığı görülmüş, ikincil kirletici olduğu sonucuna varılmıştır. Bağıl nem ile hava kirleticileri arasında ise bir korelasyon saptanmamıştır. Bu durum literatür ile uyumludur.

3.3. Optik Mikroskop Verileri

Atmosfere açık ortamda bekleyen bronz ile ME, AET ve AET/ME karışım inhibitör çözeltileri püskürtülen bronz örneklerin yüzeylerinde meydana gelen değişiklikleri gözlemek için optik mikroskop kullanılmıştır. Metallerin yüzeyinden 2 ve 7 ay sonra 264 büyütme ile alınan görüntüler Çizelge 6'da görülmektedir. Herhangi bir işlem uygulanmamış bronz yüzeyindeki patinanın görüntüsü, çeşitli inhibitör çözeltileri püskürtüldükten sonra değişmektedir. Bu da inhibitörün patina üzerinde, ya da patina ile birlikte yüzeyde koruyucu bir örtü oluşturduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Adana Sarıçam istasyonu meteorolojik verileri

Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Maksimum sıcaklık (°C)	Minimum sıcaklık (°C)	Maksimum bağıl nem	Minimum bağıl nem	Ortalama toplam yağış (kg/m ²)
Ekim'15	23,6	34	15,1	97	15	1,2
Kasım'15	17,7	27	5,1	99	8	0,2
Aralık'15	11,9	15,7	1,3	91	9	0,0
Ocak'16	8,6	12,8	4,7	79	42	2,3
Şubat'16	14,0	19,7	9,0	92	41	1,6
Mart'16	15,3	21,1	9,9	89	35	1,2
Nisan'16	19,9	31,6	9,1	89	28,6	0,2

Çizelge 4. Adana Sarıçam meteoroloji istasyonu hava kalitesi değerleri

Aylar	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
Ekim'15	55	4	9	22	30	28
Kasım'15	66	5	18	30	48	28
Aralık'15	86	8	24	31	55	27
Ocak'16	49	6	9	28	37	30
Şubat'16	60	6	12	21	34	25
Mart'16	44	3	5	25	18	39
Nisan'16	73	2	4	17	19	37

Çizelge 5. Hava kirlenmelerinin korelasyon katsayıları kareleri

R ²	Bağıl nem	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	O ₃
Bağıl nem	1	0,01	0,21	0,41	0,46
PM ₁₀		1	0,66	0,80	0,28
SO ₂			1	0,67	0,29
NO _x				1	0,22
O ₃					1

İnhibitör uygulamaları ile yüzeydeki birikintinin oksit ağırlıklı olmaktan daha çok, organik moleküllerin yüzeyde kimyasal adsorplanması ile

oluşan ince bir organik kaplamaya doğru gittiği görülmektedir. Öte yandan, çalışılan atmosfer koşullarında, yüzeyin genellikle homojen bir

görünümüne sahip olduğu ve oyuklanma benzeri hasarların meydana gelmediği de görülmektedir.

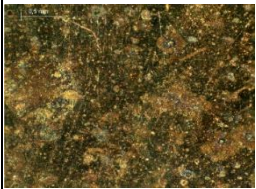
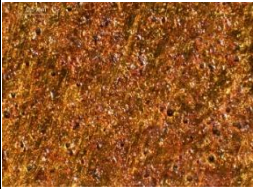
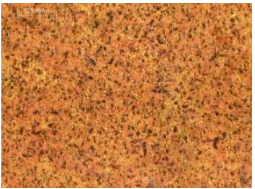
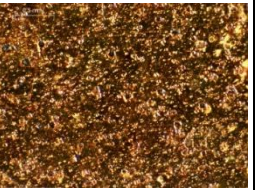
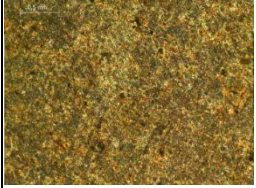
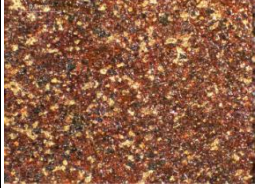


3.4. SEM-EDS Verileri

Aynı yüzeylerde daha detaylı veri sağlamak için yapılan SEM analiz sonuçları, 7 aylık deney süresi sonunda elde edilen örnekler için Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2a'da atmosfere açık alanda 7 ay bekleyen bronz yüzeyinde oluşan patina filmini morfolojisi görülmektedir.

Şekil 2b'de görüldüğü gibi 50 mM ME çözeltisi püskürtülen bronz yüzeyindeki kaplamanın morfolojisi tamamen farklıdır. İnce de olsa bir patina tabakası oluşması kaçınılmaz olmakla birlikte, organik moleküllerin meydana getirdiği film tabakası açıkça görülmektedir. Organik moleküllerin metal yüzeyinde kimyasal adsorplanması ile oluşabilecek bu film, alttaki metali oksitlenmesini sürdürerek patinanın gelişmesine izin vermemektedir. Söz konusu organik film kararlı ve sürekli olmasına rağmen yer yer çatlakların da bulunduğu görülmektedir. Bu durum, bu türden organik filmlerin doğası gereğidir, korozyon ancak bu kusurlu bölgeler (defective area) üzerinden sürebilir.

50 mM AET ile yine püskürtme yöntemi ile yüzeyde oluşturulan koruyucu filmin morfolojisi son derece homojen (uniform) bir kaplamanın varlığına işaret etmektedir. Şekil 2c'de verilen 20.000 büyütmede görülen çatlaklar, örtünün koruyuculuğunun sınırlı olduğunu göstermektedir. Öte yandan, polimer benzeri yüzeyi pürüzsüz bir film tabakasının oluşması organik moleküllerin birbirleri arasında ve yüzeyle etkileşimini çok kuvvetli olduğunu göstermektedir. Makroyapı tamamen homojen ve kusursuz görünmesine rağmen, 20.000 büyütme ile mikro yapıda kusurların görünmesi, moleküler arası etkileşimlerin ve metal yüzeyine tutunmayı sağlayan adhezyon kuvvetlerine bağlı ortaya çıkan olağan bir durumdur. Hem ME hem de AET, sahip oldukları -SH grubu üzerinden metal atomların (özellikle bakır) boş d orbitalleri ile koordinasyona girerek, yüzeyde polimer benzeri çok ince bir film oluşturabilirler [20]. Ancak, AET sahip olduğu amin grubu elde edilen polimerik ince filmlerin morfolojisi üzerinde önemli fark yaratmaktadır. Bu -NH₂ grubunun moleküller arası etkileşmeyi güçlendirerek bu olumlu etkiyi yaratmış olduğu anlaşılmaktadır. Tarihi bir eser yüzeyinde uygulanacak ince organik filmin mümkün olduğunca homojen (AET'de olduğu gibi) olması estetik görünüm açısından tercih edilir.

Çizelge 6. İnhibitör çözeltisi püskürtülmemiş bronz ile inhibitör çözeltisi püskürtülmüş bronz örneklerin 2. ve 7. ayda optik mikroskop görüntüleri

Örnek	Bronz	+ME	+AET	+ME/AET
2 ay sonra				
7 ay sonra				

Ayrıca AET/ME karışımı hazırlanmış ve yüzeye uygulanmıştır. Şekil 2d'de görüldüğü gibi ME püskürtülmüş yüzeye göre daha homojen ve

kusurlardan arındırılmış bir organik film elde edilmiştir. Homojen olması, daha önce de vurgulandığı gibi estetik kaybı gerçekleştirmez

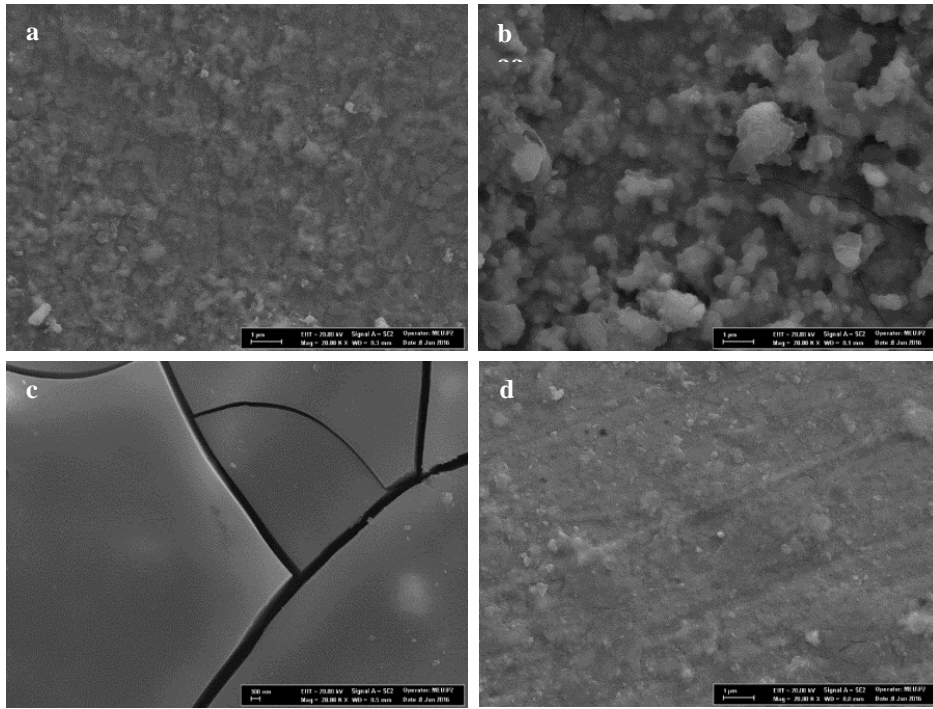
koruma sağlanması mümkün görünmektedir. Ancak bu örtü AET püskürtülmüş yüzey kadar homojen ve kompakt değildir.

Şekil 3'te yer verilen kesit SEM mikrograflarından, inhibitör uygulanmış yüzeyde daha ince bir birikinti tabakasının varlığı görülmektedir. Bu durum, yüzeyin inhibitör filmi ile korunduğunu ve korozyona bağlı oksit oluşumunun kısmen engellendiğini göstermektedir. Kendi halinde korozyona uğrayan malzemenin yüzeyinde daha yoğun bir oksit tabakası oluşurken, inhibitör filmi uzun süre kararlılığını sürdürerek, az miktarda oksit ile birlikte, yüzeyi korozyona karşı koruyabilmektedir.

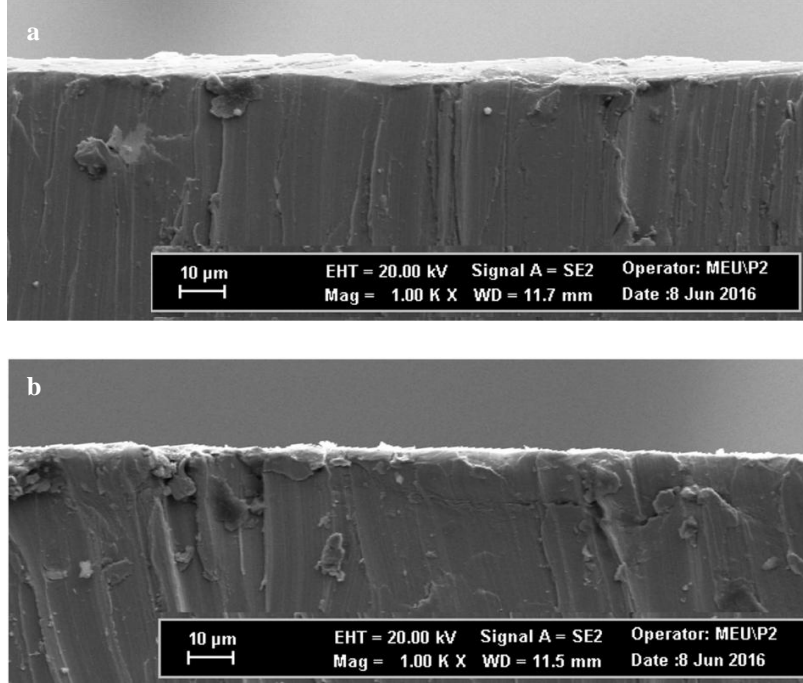
Şekil 2'de SEM sonuçlarına yer verilen örneklerin, yüzeyinin tamamını taramak suretiyle elde edilen EDS analiz sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Bu yöntemle, yüzeyde var olan bileşenlerin (birikinti, organik film, korozyon ürünü vb.) türleri hakkında

daha detaylı bilgi elde edilmiştir. Yüzeyine inhibitör filmi uygulanmış yapılmamış (şahit) örnek yüzeyinde, zamanla kararlı Cu (I ve II) oksit bileşiklerinin meydana geldiği oksijen miktarından anlaşılmaktadır. Öte yandan, Sn ve Zn miktarlarının, çalışılan bronz numunedeki gerçek yüzdelere kıyasla daha düşük çıkması tamamen yüzeyde biriken Cu (I, II) oksit filminin varlığıyla ilişkilidir.

EDS ölçümü sırasında, gönderilen X-ışını yüzeyden ancak sınırlı bir derinliğe (yaklaşık 1 mikron) kadar ulaşabilir, dolayısıyla alınan sinyaller de ona göre şekillenir. Yüzeydeki örtünün (filmin) kalınlığı, homojenliği ve kompakt olup olmasına bağlı olarak, alttaki baz metalden alınacak sinyaller zayıflayabilir, hatta gözlenemeyebilir. Bu çerçevede, elde edilen sonuçlar genel olarak yüzeydeki örtünün (birikinti, film vb.) karşılaştırmalı değerlendirilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 2. Bronz örnekler için 7 ay atmosferik şartlarda beklemiş yüzeye ait SEM görüntüleri; a: şahit yüzey, b: 50 mM ME püskürtülen yüzey, c: 50 mM AET püskürtülen yüzey, d: 50 mM AET/ME karışımı püskürtülen yüzey.



Şekil 3. Bronz örnekler için 7 ay atmosferik şartlarda beklemiş yüzeye ait kesit görüntüleri; a: Şahit yüzey, b: 50 mM AET püskürtülen yüzey

Çizelge 7. Bronz örnekler için 7 ay atmosferik şartlarda beklemiş yüzeyin EDS sonuçları

Örnek	Şahit (% wt)	+ME (% wt)	+AET (% wt)	+AET/ME (% wt)
Cu	78,41	77,11	31,16	67,85
Sn	5,68	1,27	1,42	3,35
Zn	5,42	1,16	2,07	2,50
S	1,82	5,49	36,79	13,34
N	1,26	0	4,67	2,63
O	7,41	13,46	14,15	7,77
C	0	1,51	9,74	2,56

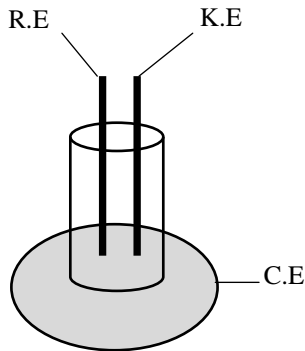
Şahit numunede, karşılaşılan kükürt ve azota ait sinyaller, atmosferde yer alan kirleticilerin zaman içerisinde, yüzeyle etkileşmelerinin sonucudur. Bu süreçlerin neticesinde, yüzeyde oluşan bakır (I, II) oksit birikintisinin azot ve kükürt içeren anyonları da içere daha kompleks yapıdaki patina türleri ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$, $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$, Yüzey organik film ile korunduğundan, patina gelişimi yavaşlamış ve sonuç olarak bakır miktarı

$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4$ olduğunu düşündürmektedir [21-23]. Yüzeye ME filmi uygulanan bronz örnek yüzeyindeki örtü/tabaka içinde bakır miktarının azalmış olması ve aynı zamanda kükürt miktarının arttığı görülmektedir. Bunlara ek olarak gözlenen karbon miktarı da, yüzeyde organik filmin varlığına işaret etmektedir. düşük çıkmıştır. AET filmin uygulandığı örnekte ise, bakır miktarının çok daha düşük çıkması, daha

önceki kısımda SEM görüntülerinin sağladığı ipuçları ile son derece uyumludur. Yine beklendiği gibi organik bileşiğin yapısında bulunan azotun da yapıya girmesi ile azot miktarı yüksek gözlenmiştir. AET/ME karışımı yüzeye uygulandığında, patina gelişiminin önemli oranda yavaşladığı ve yüzeyin organik film tarafından korunduğu görülmektedir. Oksijen miktarının, tüm inhibitör uygulanmış örneklerde yüksek çıkması organik molekülde (ME) bulunan oksijen varlığıyla ilgilidir. Doğal olarak, az miktarda olsa bakır oksitler de bulunacağından, oksijen miktarı hep yüksek gözlenmiştir.

3.5. Elektrokimyasal Testler

Korozyon hızı hakkında sayısal veri elde edebilmek amacıyla, örnekler üzerinde elektrokimyasal testler de yapılmıştır. Bu doğrultuda aşağıda şematik olarak verildiği gibi bir hücre tasarlanmış ve ölçümler, alttaki bronz örnek çalışma elektrotu olacak şekilde bu hücrede gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Hücreye doldurulan korozyon test çözeltisi; $0.2 \text{ g L}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0.2 \text{ g L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ (H_2SO_4 ile pH 5 olacak şekilde ayarlanmıştır) olarak tercih edilmiştir. Şehir atmosferinde gerçekleşen yağmur suyunu temsil etmektedir. Bu çözelti, metalik malzeme yüzeyinde atmosferik korozyonun gerçekleşmesine yol açan, nem tabakası ile aynı işlevi görmektedir.



Şekil 4. Elektrokimyasal hücrenin şematik gösterimi (K.E: karşı elektrot, R.E: referans elektrot, C.E: çalışma elektrotu)

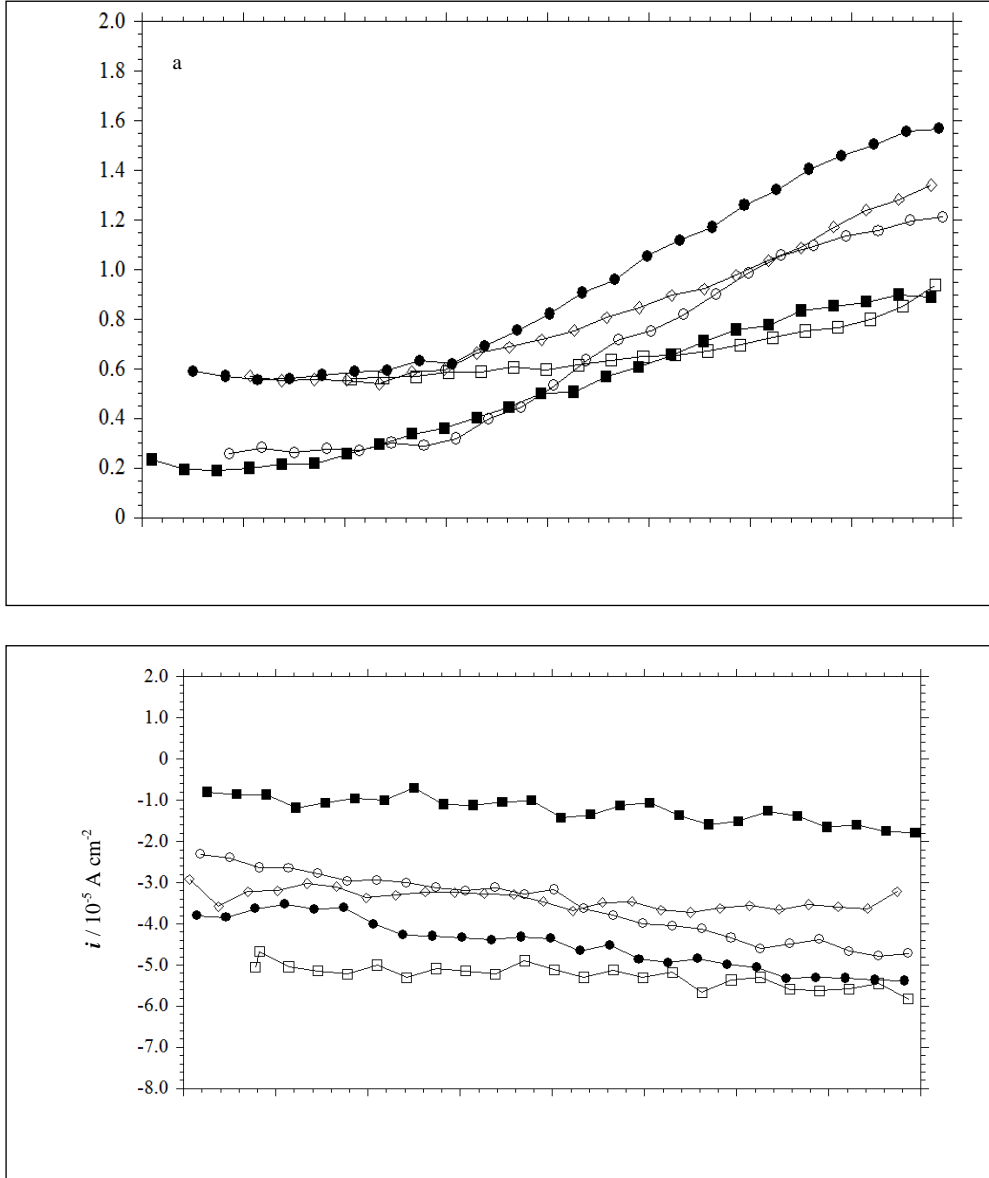
Bu çözeltilde, hiçbir ön işlem yapılmamış bronz örnek (şahit) 1 saat bekletildikten sonra alınan

anodik polarizasyon eğrisinden açıkça görüldüğü gibi, elektrot yüzeyi oldukça kararlı bir oksit filmi ile hızla kaplanmaktadır (Şekil 5a). Bu örtü, daha önce SEM-EDS analizlerinden açıkça görüldüğü üzere Cu (I, II) oksit bileşiklerinden oluşmaktadır. Ancak bu film gözenekli yapıda olduğu ve yer yer kusurlar barındırdığından (tamamen homojen ve kompakt olmadığından) yüzeyin açık kalan yerlerinde anodik çözünme (diğer deyişle korozyon) gerçekleşebilmektedir. Öte yandan, ortam pH'sı ve içerdiği iyonların da etkisi ile oksit film yer yer deforme olabilmektedir. Bunların sonucunda, anodik yönde (korozyon potansiyelinden daha pozitif) yapılan potansiyel taraması sırasında, geniş bir potansiyel aralığında neredeyse sabit akım gözlenmektedir. Metal yüzeyinin korunaklı olmaması halinde, bu tarama sırasında potansiyele bağlı olarak akım değerinin sürekli artması gözlenirdi [24]. Diğer deyişle, anodik potansiyel altında çözünmenin çok daha hızlı olması gerekirken, uygulanan potansiyele rağmen çözünme hızlandırılmamaktadır. Korozyon potansiyeli (E_{korr}) değerinden 200-250 mV daha pozitif değerlere ulaşıldığında ancak yüzeydeki oksit tabakası zarar görmekte ve açılan yüzeyde çözünme hızlanmaktadır. Geniş bir aralıkta yüzeyi oksit filmi ile pasifleşmiş bir malzemenin tipik davranışı gözlenmektedir. Bu çerçevede, yüzeyden geçen akımın pasiflik akımı (i_p) büyüklüğünde bir anodik çözünme (diğer deyişle korozyon) gerçekleşebileceğinden, bu i_p değeri korozyon hızı olarak değerlendirilebilir. Dikkat edilirse, yüzeyin pasif durumda olması korozyonun hiç olmayacağı anlamına gelmemektedir, yavaş da olsa korozyon devam etmektedir. Korozyon ürünlerinin sürekli oluşması yüzeyde giderek estetik kaybına ve uzun periyotlarda kalıcı deformasyonlara yol açacaktır.

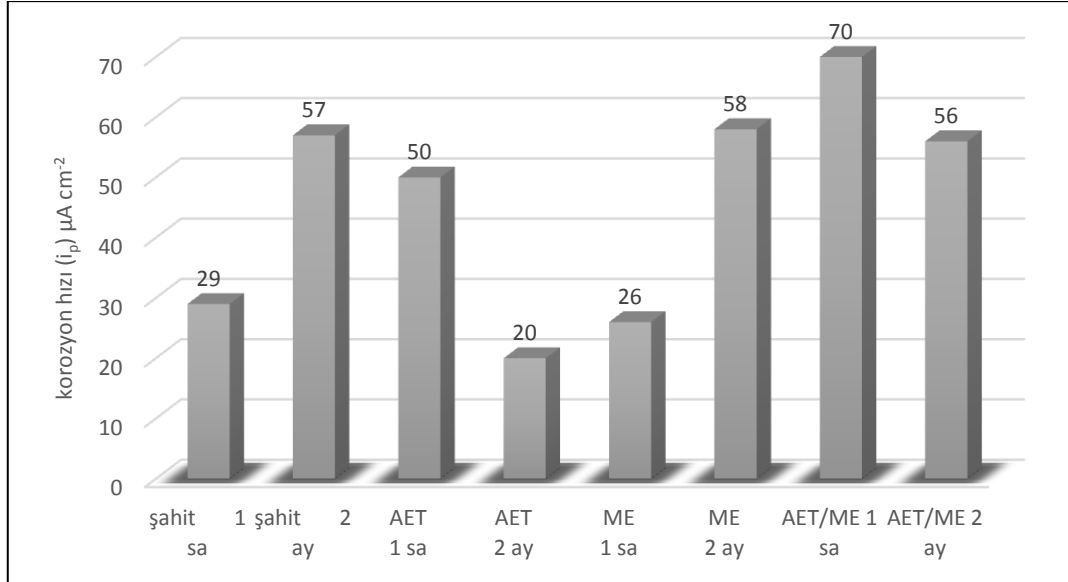
Katodik polarizasyon eğrileri incelendiğinde, akım değerlerinin her bir örnek için farklı seviyelerde sabit kalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 5b). Potansiyel negatif (katodik) yönde değiştirilirken, akım değerinin sabit kalması "sınır akımı" olarak değerlendirilir ve yüzeyde gerçekleşen katodik indirgenme tepkimesinin (oksijen indirgenmesi) difüzyon hızı ile sınırlı

olduğunu gösterir. Bu durumda, yüzeydeki birikinti (oksit veya organik film) oksijenin alttaki malzeme yüzeyine ulaşmasını engelleyici bariyer gibi davranmaktadır. En düşük akım AET filmi varlığında ölçüldüğünden, bu filmin katodik olayı da yavaşlattığını göstermektedir. Doğal şartlarda

koroziona uğrayan malzemede katodik olay (oksijen indirgenmesi) ile anodik olay (metalin çözünmesi) birbiriyle eşlenik ve aynı hızda gerçekleşmek zorunda olduğundan, AET filmi katodik olayı yavaşlatarak da korozyon hızını düşürmektedir.



Şekil 5. Bronz için potansiyodinamik a) anodik b) katodik polarizasyon eğrileri ; ○: 1 saat şahit, ●: 2 ay şahit, □: 2 ay asit yağmuru çözeltisinde ME püskürtülmüş, ■: 2 ay asit yağmuru çözeltisinde AET püskürtülmüş, ◇: 2 ay asit yağmuru çözeltisinde AET/ME püskürtülmüş



Şekil 6. İnhibitör uygulanmış ve uygulanmamış bronz örneklerin korozyon hızlarının zamanla değişimi

Yüzeyde inhibitör uygulaması yapılmamış bronz örneklerde korozyon hızının zaman içerisinde dikkate değer bir değişim sergilemediği de net olarak görülmektedir (Şekil 6). Organik film uygulandığı durumda, korozyon hızlarının biraz daha düşük gerçekleştiği, bu elektrokimyasal test sonuçlarından görülmektedir. Önceki kısımda yer verilen SEM-EDS sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda, yüzeyde ince bir organik koruyucu film oluşturularak, yüzeyde korozyona bağlı patina oluşumu önlenmektedir. Bu sonuçlara göre, bronz yüzeyi doğal oksit tabakası yerine, kolayca uygulanabilen ve istenilen sıklıkta yenilenmesi mümkün olan organik film ile korunması mümkündür. Doğal bakır oksit ile karşılaştırıldığında, organik filmin daha hidrofobik yapıda olması da korozif bileşenlerin, su ile birlikte yüzeye taşınmasını zorlaştırması beklenmelidir [25,26]. AET/ME karışımı uygulandığında korozyon hızı, şahit numuneye kıyasla biraz daha yüksek ölçülmüştür. Bu durumun, bronz yüzeyinde doğal olarak meydana gelen koruyucu özellikte oksit benzeri korozyon ürünleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Şahit numune yüzeyinde oluşan bu tabaka malzemeye belirli bir koruma zaten sağlamaktadır. Başlangıçta hızla oluşan bu oksit tabakası, uzun vadede güvenilir olmadığı için oksit fazı ile uyumlu

çalışacak ve kolayca uygulanabilen organik bir inhibitör ile koruyuculuğun artırılması planlanmıştır. AET/ME karışımı uygulandığında, olumlu bir etki gözlenmediği gibi, bu karışımın yüzeyle etkileşimi sonucu, oksit filminin koruyuculuğuna da olumsuz etki yapabildiği anlaşılmaktadır. Öte yandan, uzun süreli performanslar dikkate alındığında AET inhibitörü kullanılması durumunda, en düşük korozyon hızı ölçülmüştür. Korozyon hızlarındaki değişimden görüldüğü gibi AET uygulaması ile en düşük korozyon hızı gerçekleşmektedir. ME ile AET inhibitörlerin molekül yapıları karşılaştırıldığında her ikisinde -SH grubu ortak iken, ME molekülünde -OH, AET molekülünde -NH₂ grubu yer almaktadır. AET molekülünde bulunan amin grubu, yüzeyde film oluşturabilmekte ve metal/metal iyonu ile daha kuvvetli etkileşim sağlamaktadır. Bu etki deneysel sonuçlardan açıkça görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Açık havada tutulan bronz yapıtların, atmosferde bulunan kirleticilerin türüne ve miktarına bağlı olarak, yüzeyde farklı tip patinalar oluşmaktadır. Bu patina tabakası sınırlı bir koruma

sağlayabildiğinden, zaman içerisinde yüzeyde hem estetik kaybı hem de kalıcı tahribat meydana gelebilmektedir. Kendi doğal korozyon ürünleri yerine, yüzeye basit bir püskürtme işlemi ile uygulanabilen organik inhibitörlerin oluşturduğu polimerik film ile daha etkin bir koruma sağlanabilmektedir. Bronz yüzeyinde kimyasal olarak adsorplanan bu moleküllerin oluşturduğu organik film, kendiliğinden oluşan az miktardaki oksit ile birlikte nem filmi oluşumunu sınırlandırmakta ve havadaki kirleticilerin etkisini de azaltmaktadır. Numunelerin yerleştirildiği Sarıçam bölgesi için meteorolojiden sağlanan ayrıntılı bilgiler yardımıyla, atmosferik korozyon yedi ay süre ile incelenmiştir. 2-merkapt-etanol (ME), 2-amino-etanetiol (AET) bileşikler ve AET/ME (1:1) karışımının inhibitör etkinlikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve 2-amino-etanetiol'un (AET) en etkin korumayı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. SEM sonuçlarından görüldüğü üzere, karışım ile elde edilen organik filmin homojen ve sıkı olması yanında organik moleküllerin yapısı itibarıyla yüzeyde sağlanan hidrofob etki önemlidir. Atmosferik korozyonun gerçekleşmesi için havadaki su buharının malzeme yüzeyinde yoğunlaşması gerekmektedir ve nem filmi oluşması sınırlandırıldığı ölçüde korozyon da yavaşlamaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Yazar çalışmaya sağladığı destekten dolayı ÇÜBAP (Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, FBA-2015-4034)'a teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

1. Tidblad, J., Kucera, V., Mikhailov, A.A. 1998. UN/ECE International Co-operative Programme on Effects on Materials, Including Historic and Cultural Monuments, Swedish Corrosion Institute, Sweden.
2. Mendoza, A.R., Corvo, F., 2000. Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion of Non-ferrous Metals. *Corrosion Science* 42: 1123-1147.
3. Arroyave, C., Morcillo, M., 1995. The Effect of Nitrogen Oxides in Atmospheric Corrosion of Metals. *Corrosion Science* 37: 293-305.
4. Fabjan, E. S., Kosec, T., Kuhar, V., Legat, A., 2011. Corrosion Stability of Different Bronzes in Simulated Urban Rain, *Materials and Technology* 45: 585-591.
5. Syed, S., 2006. Atmospheric corrosion of Materials, *Emirates Journal for Engineering Research* 11: 1-24.
6. Watt, J., Tidblad, J., Kucera, V., Hamilton, R., 2009. The Effects of Air Pollution on Cultural Heritage, Springer, New York, USA.
7. Yatkin, S., Bayram, A., 2007. İzmir Havasında Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm ve Değerlendirme, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 9: 15-27.
8. Fenger, J., Hertel, O., Palmgren, F., 1998. Urban Air Pollution-European Aspects, Springer Science+Business Media Dordrecht, Denmark.
9. Liao, X., Cao, F., Chen, A., Liu, W., Zhang, J., Cao, C., 2012. In Situ Investigation of Atmospheric Corrosion Behavior of Bronze under Thin Electrolyte Layers Using Electrochemical Technique, *Transaction Nonferrous Metals Society of China* 22: 1239-1249.
10. Mendoza, A.R., Corvo, F., 1999. Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion of Carbon Steel. *Corrosion Science* 41: 75-86.
11. Gerengi, H., Bereket, G., Kurtay, M., 2016. A Morphological and Electrochemical Comparison of the Corrosion Process of Aluminum Alloys under Simulated Acid Rain Conditions, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58: 509-516.
12. Feliu, S., Mariaca, L., Simancas, J., Gonzales, J. A., Morcillo, M., 2003. Effect of NO₂ and/or SO₂ Atmospheric Contaminants and Relative Humidity on Copper Corrosion, *Revista Metal Madrid* 39: 279-288.
13. Wadsak, M., Aastrup, T., Odnevall Wallinder, I., Leygraf, C., Schreiner, M., 2002. Multianalytical in Situ Investigation of the Initial Atmospheric Corrosion of Bronze, *Corrosion Science* 44: 791-802.
14. Nord, A.G., Tronner, K., Boyce, J., 2001. Atmospheric Bronze and Copper Corrosion as

- an Environmental Indicator, Water, Air, and Soil Pollution 127: 193-204.
15. Hettiarachchi, S., 1991. The Effects of Ozone on Corrosion of Steel and Copper in Cooling Water Systems, Corrosion'91, Paper 206 (edited by NACE International) Houston, TX.
 16. Brown, B.E., Duquette Rensselaer, D.J., 1993. The Effects of Dissolved Ozone on the Corrosion Behavior of 304 Stainless Steel, Monel 400 and Naval Brass in Artificial Sea Water, Polytechnic Institute Materials Engineering Department Final Report to the Office of Naval Research, Troy, New York.
 17. Yüksek, A., Can, J., Dinçer, K. V., Oğuzhan, S., Sabah, I., 2013. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Adana Büyükşehir Belediyesi, Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu, Adana.
 18. Portella, M.O.G., Portella, K.F., Pereira, P.A.M., Inone, P.C., Brambilla, K.J.C., Cabussu, M.S., Cerqueira, D.P., Salles, R.N., 2012. Atmospheric Corrosion Rates of Copper, Galvanized Steel, Carbon Steel and Aluminum in the Metropolitan Region of Salvador, BA, Northeast Brazil, Procedia Engineering 42: 171-185.
 19. Liu, B., Wang, D.W., Guo, H., Ling, Z.H., Cheung, K., 2015. Metallic Corrosion in the Polluted Urban Atmosphere of Hong Kong, Environmental Monitoring and Assessment, 187:4112-4122.
 20. Zerjav G., Lanzutti A., Andreatta F., Fedrizzi L., Milosev I., 2016. Characterization of Self-Assembled Layers Made with Stearic Acid, Benzotriazole, or 2-Mercaptobenzimidazole on Surface of Copper for Corrosion Protection in Simulated Urban Air. Materials and Corrosion, in Press.
 21. FitzGerald K.P., Nairn J., Skennerton G., Atrens, A., 2006. Atmospheric Corrosion of Copper and the Colour, Structure and Composition of Natural Patinas on Copper. Corrosion Science 48: 2480-2509.
 22. He, L., Liang, J., Jiang, B., 2011. Corrosion Behavior and Morphological Features of Archeological Bronze Coins from Ancient China, Microchemical Journal, 99: 203-212.
 23. Robiola, L., Blengino, J.M., Fiaud, C., 1998. Morphology and Mechanisms of Formation of Natural Patinas on Archeological Cu-Sn Alloys, Corrosion Science 40: 2083-2111.
 24. Chiavari, C., Bernardi, E., Balbo, A., Monticelli, C., Raffo, S., Bignozzi, M.C., Martini, C., 2015. Atmospheric Corrosion of Fire-Gilded Bronze: Corrosion and Corrosion Protection During Accelerated Ageing Tests. Corrosion Science, 100: 435-447.
 25. Kosec, T., Legat, A., Milosev, I., 2010. The Comparison of Organic Layers on Bronze and Copper. Progress in Organic Coatings 69: 199-206.
 26. Zerjav, G., Milosev, I., 2015. Protection of Copper Against Corrosion in Simulated Urban Rain by the Combined Action of Benzotriazole, 2-Mercaptobenzimidazole and Stearic Acid, Corrosion Science 98: 180-191.

Characterisation of Tufanbeyli (Adana) Lignite Ashes

Abdulkadir ÜRÜNVEREN*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

The mineralogical, physical and chemical properties of three different type ashes from Tufanbeyli (Adana) coalfield are investigated in this study. The mineral matter in the ashes, determined by means of X-ray diffraction, is dominated mainly by anhydrite, lime, and quartz. The low-calcium ash sample has the typical crystalline phase quartz. The medium and high-calcium ash samples have the complex assemblage of crystalline phases. The presence of anhydrite in all samples indicates that the high activity of calcium not only promotes the formation of sulphates from calcite, but also the dehydration of gypsum during and after combustion. Chemical analysis of the ashes showed that they were mainly composed of CaO, SiO₂ and Al₂O₃. It is very important to understand the interaction of ash with water. The tests show that the all the type of Tufanbeyli/Adana ashes can be conditioned with water to permit dust and fume free transport back to the dumping area.

Keywords: Tufanbeyli power plant, Ash, Humidification; Ash handling

Tufanbeyli (Adana) Linyit Küllerinin Karakterizasyonu

Öz

Bu çalışmada, Tufanbeyli (Adana) kömür havzasından alınan üç farklı kül içeriğine sahip linyit örneklerinin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. X-ray difraksiyon analizine göre; kül numuneleri anhidrit, kireç ve kuvars minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Düşük kalsiyum içeriğine sahip kül numuneleri kristalin yapıda kuvars minerallerine sahiptir. Orta ve yüksek kalsiyum içeriğine sahip kül numuneleri ise kompleks kristalin yapıya sahiptir. Numunelerin içerdiği anhidrit mineralinin varlığı kalsit minerallerinin sülfat formuna dönüşmesinin yanı sıra, yanma işlemi sonucunda jips minerallerinin dehidrasyona işaret etmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından kül numuneleri CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ elementlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Yanma sonrası elde edilen külün su ile etkileşimi çok önemlidir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Tufanbeyli linyitlerinin yanması sonucunda oluşan küllerin su ile taşınabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Tufanbeyli termik santrali, Kül, Nemlendirme, Kül taşıma

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdulkadir ÜRÜNVEREN, aurunveren@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

It has been estimated that Turkey's electrical energy demand, which at present is approximately 80.000 GWh, will exceed 150,000 GWh in ten years' time [1]. The full potential of both fossil fuel and hydroelectric resources will have to be exploited to sustain such fast development. The known lignite reserves of Turkey are 7.300.000.000 t, and the Tufanbeyli (Adana) basin contains 300.000.000 t the total reserve. Within the coming ten years and thereafter a boom in lignite production has to be expected.

The Tufanbeyli (Adana) lignite is best suited to use in thermal power generation and are capable of supplying 2 X 300 MW power stations. The Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey first investigated the area in 1986 [2]. Exploratory drilling started from in 1989 and is still underway [3].

This study is carried out by the data supplied from core samples drill holes numbered Z11 that had been drilled vertically from the surface down to the lignite. It is intended of this study to show how widely Tufanbeyli (Adana) lignite ashes vary in their physical, chemical and mineralogical properties. Knowledge of the physical and chemical properties of ash is consider necessary for identifying and preventing problems concerning the construction of power station planned to install at Tufanbeyli (Adana).

2. MATERIAL AND METHOD

Approximately 60 kg of the sample used in this study was collected from Tufanbeyli coalfield, Adana.

X-ray diffraction (XRD) analyses were performed on a Shimadzu XRD-6000 type diffractometer employing Cu K_{α} radiation in the range $2\theta=0^{\circ}$ - 60° at a goniometer rate of $2\theta=2^{\circ}/\text{min}$. Particle size measurement of ash sample was carried out by sieving technique.

A pycnometer was used to determine the specific gravities of ash samples. Development of pH in suspensions of each ash in water was monitored by a universal glass pH probe and pH meter. Ash samples of weigh 2 g were suspended in 100 mL of deionized water by continuous stirring. The immediate pH of the solution and pH values each hour thereafter for a period of 24 h was recorded.

Elemental analysis of samples, named H-L4, H-M21 and H-H36, taken from the plant scale humidification tests were carried out by X-ray fluorescence (XRF) spectrometry technique.

XRD and XRF analysis were carried out at the laboratories of The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK), Marmara Research Center (MRC). In order to determine free CaO content 1 g sample was mixed intensively in 1 liter of deionized water for an hour using the agitator. After the precipitate was settled, 100 mL of the clear solution was drawn with a pipette then titrated potentiometrically with 0.05 N HCl until pH 7 is obtained.

For the wet quenching curve analysis, ash sample of weigh 500 g placed into a Dewar flask, and cold tap water of weigh 600 g was added in ash sample of weigh 500 g by continuous stirring. Stirrer speed was set to 350 rpm. The temperature was recorded every minute for the first ten minutes, then at intervals of about 5 minutes for a period of one hour.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Elemental Composition

Analysis results of total CaO, free CaO and SO_3 contents of the ash samples are presented in Table 1. Total CaO content of samples varies from 6.20% to 74.12%. The ash samples are classified to three categories referring to their total CaO content.

The total CaO content of low, medium and high-calcium ashes range from 6% to 20%, 21% to 49% and 50% to 75, respectively. The chemical analysis results of the samples named H-L4, H-M21 and

H-H36, taken from the plant scale humidification tests, are presented in Table 2. There is a positive relationship between total and free CaO content (Figure 1). The chloride contents were between 0.01% and 0.06%. These values are too low for corrosion.

Table 1. Total CaO, free CaO and SO₃ contents of the ash samples

Sample No	Total CaO (wt%)	Free CaO (wt%)	SO ₃ (wt%)	Ash Type
L1	6.20	3.50	4.26	Low-calcium
L2	8.90	4.20	7.88	Low-calcium
L3	14.06	5.10	12.44	Low-calcium
H-L4	14.16	4.20	12.05	Low-calcium
L5	15.70	5.90	14.62	Low-calcium
L6	16.70	7.30	11.80	Low-calcium
L7	16.72	7.50	3.75	Low-calcium
L8	17.92	9.50	12.86	Low-calcium
L9	19.20	9.60	18.55	Low-calcium
L10	19.60	10.35	14.70	Low-calcium
M11	21.64	13.70	15.66	Med-calcium
M12	22.51	12.70	18.63	Med-calcium
M13	23.91	9.60	15.82	Med-calcium
M14	25.72	14.20	13.69	Med-calcium
M15	26.00	14.50	16.38	Med-calcium
M16	27.66	15.30	15.82	Med-calcium
M17	29.54	15.90	19.47	Med-calcium
M18	30.26	14.80	14.05	Med-calcium
M19	32.59	17.10	15.94	Med-calcium
M20	34.16	17.60	12.16	Med-calcium
H-M21	35.43	21.50	19.30	Med-calcium
M22	37.32	20.30	17.03	Med-calcium
M23	41.87	22.10	19.10	Med-calcium
M24	42.00	20.00	24.20	Med-calcium
M25	43.62	29.3	21.64	Med-calcium
M26	44.36	25.00	18.12	Med-calcium
M27	46.68	30.50	15.20	Med-calcium
M28	46.87	28.00	15.36	Med-calcium
M29	47.32	30.00	19.46	Med-calcium
M30	48.30	33.10	15.38	Med-calcium
M31	49.73	32.60	14.63	Med-calcium
H32	50.49	34.05	12.12	High-calcium
H33	53.00	35.00	19.00	High-calcium
H34	56.23	38.50	18.65	High-calcium
H35	61.71	44.20	12.86	High-calcium
H-H36	62.20	51.30	12.40	High-calcium
H37	67.10	58.10	15.00	High-calcium
H38	70.97	52.60	9.86	High-calcium
H39	71.19	60.50	11.07	High-calcium
H40	72.05	48.80	9.10	High-calcium
H41	73.72	59.50	10.03	High-calcium
H42	74.12	61.50	9.02	High-calcium

Table 2. Chemical analysis results of the ash samples numbered H-L4, H-M21 and H-L36

Element Oxide (wt%)	H-L4	H-M21	H-H36
Total CaO	14.16	35.40	62.20
Free CaO	4.20	21.50	51.30
TiO ₂	0.66	0.20	0.20
Al ₂ O ₃	17.10	9.55	4.60
Fe ₂ O ₃	8.56	4.10	5.40
MnO	0.09	0.16	0.02
MgO	2.68	3.65	2.60
SiO ₂	42.66	26.81	10.30
Na ₂ O	0.71	0.20	0.20
K ₂ O	0.67	0.20	0.20
P ₂ O ₅	0.34	0.46	0.10
SO ₃	12.05	19.30	12.40
Cl	0.01	0.02	0.06

3.2. Mineralogy

The mineral matter in the ashes is dominated mainly by anhydrite, lime, and quartz. The low-calcium ash sample has the typical crystalline phase quartz. A similar pattern has been identified in some Turkish ashes from Soma, Seyitomer and Catalagzi coal fields [2].

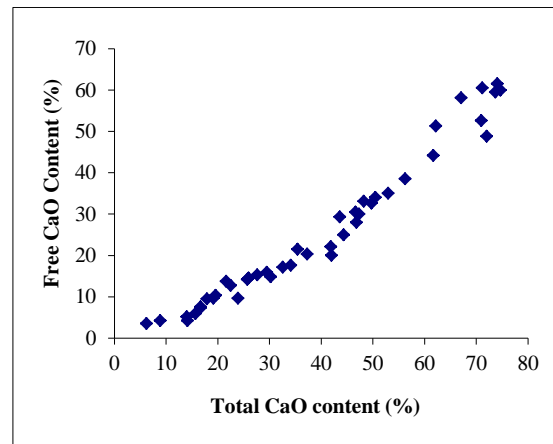


Figure 1. Relationship between total and free CaO contents

The medium and high-calcium ash samples have the complex assemblage of crystalline phases. High calcium concentrations in these samples result in the formation of lime (CaO) and anhydrite. The presence of anhydrite in all samples

indicates that the high activity of calcium not only promotes the formation of sulphates from calcite (in the presence of sulphur oxygen), but also dehydration of gypsum during and after combustion, which occurs at temperatures greater than 400-500°C [3-4]. It is very important to understand the interaction of ashes with water, in order to determine their optimum humidification level.

For that reason, normative analysis was used to estimate the various amounts of anhydrite and lime based on their oxide percentages [5]. The result of these calculations is presented in Table 3.

Table 3. The amount of anhydrite and lime contents of the ash samples

Type of ash	Anhydrite (wt%)	Lime (wt%)
Low-Calcium Ash (H-L4)	20.5	5.7
Medium-Calcium Ash (H-M21)	24.8	29.9
High-Calcium Ash (H-H36)	21.1	53.5

3.3. Fineness Variation

The particle size range for the samples H-L4 and H-M21 show no significant difference, whereas H-L4 is significantly finer. Figure 2 presents the range of the particle size distribution of the Tufanbeyli (Adana) ash samples.

It indicates that the ash contains important proportion of (31 to 68 wt%) clay and silt size. These results agree with this found by Bayat [2], who reported that clay and silt size proportion of four different Turkish coal ashes including Afsin-Elbistan ash vary from 40 to 70 wt%. The fineness of ash reflects its permeability.

3.4. pH Development

Data on the development of pH with time of solutions of ashes in water are presented in Figure 3. Ash samples except H-L4 are highly alkaline at around 12.5. In the cases of ashes

numbered H-M21, H-H36 and H42, the pH of the solution reached a peak value of 12.5 and 12.8 at 6 h and 13 at 4 h respectively, and then remained at the same level for the period of 24 h. In the case of ash numbered H-L4, the pH value reached a peak value of 9.3 at 2 h and decreased 7.1 at 4 h, and then remained almost constant at approximately 7.

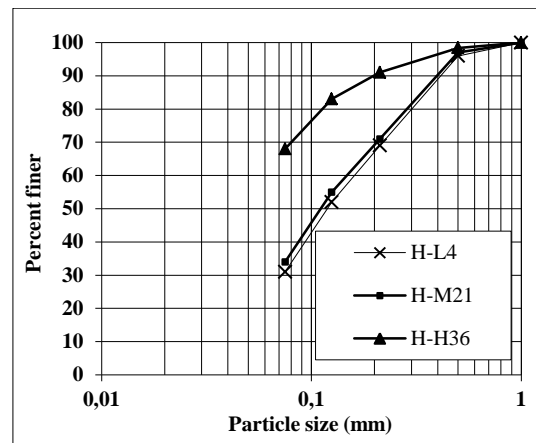


Figure 2. Particle size distribution of the Tufanbeyli (Adana) ash samples

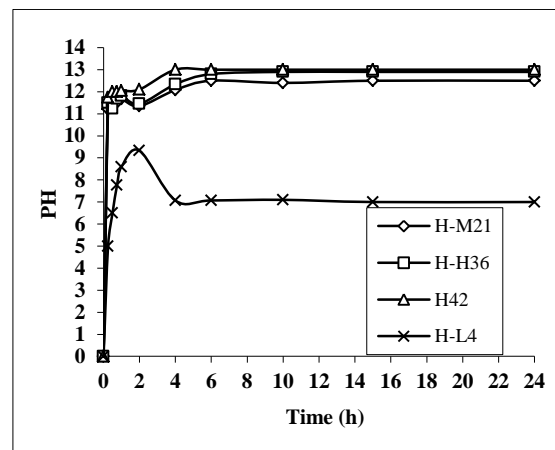


Figure 3. pH development of Tufanbeyli (Adana) ashes

3.5. Wet Quenching Curve

Wet quenching curve analyses were carried out for the samples H-L4, H-M21 and H-H36. The residual moisture content of 0.3 wt% measured for

the samples H-L4 and H-M21 and 0.4 wt% for H-H36 has no bearing on the observations that follow. This confirmed by the existence of a clear gradation of reactivity between the individual ash samples in the wet quenching curves (Figure 4). These wet quenching curves reveal only slight difference between the samples H-L4 and H-M21. In both instance, only a very slight temperature increase from the initial temperature of 17°C to 25°C or 32°C is observed after one hour. A temperature of 55 °C was measured after ten minutes and ultimate temperature of 68 °C after 24 minutes.

3.6. Density Distribution

As seen from Table 4, the bulk density of the ash samples ranged from 0.56 to 1.36 g/cm³, and specific gravity ranged from 2.55 to 3.27 g/cm³.

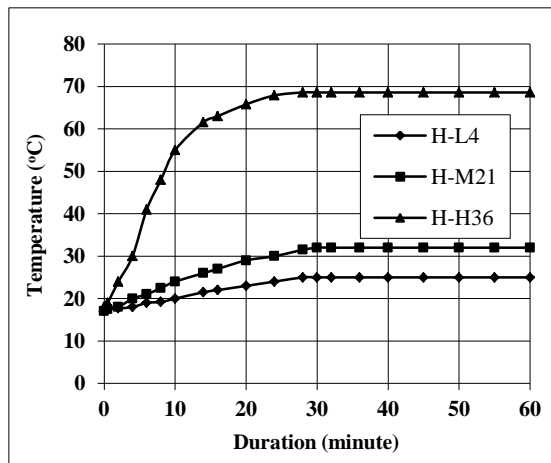


Figure 4. Wet quenching curve analyses results

Table 4. Density distribution of Tufanbeyli (Adana) ashes

	Bulk density (g/cm ³)	Specific gravity (g/cm ³)
L1	1.34	3.16
H-L4	1.36	3.27
M11	1.10	2.97
H-M21	1.07	3.03
H32	0.81	2.84
H-H36	0.79	2.80
H42	0.56	2.55

It was evident that both bulk density and specific gravity values increase as the particle size and total CaO content of the ash samples decrease. In addition, due to the big range of the density of ash samples, particular attention has to be paid for the design and construction of ash handling system.

4. CONCLUSIONS

In this study, the characterisation of Adana/Tufanbeyli lignite ashes was evaluated using chemical analysis, density wet quenching curve, mineralogical elemental composition analyses. It was determined that all the type of Adana/Tufanbeyli ashes can be conditioned with water to permit dust and fume free transport back to the dumping area

5. REFERENCES

1. Gold O., 1969. Lignite Deposit Afsin Elbistan Feasibility Report. Volume I, Cologne.
2. Bayat, O., 1998. Characterisation of Turkish fly Ashes. Fuel, 77, (9-10), 1059-1066.
3. Mitchell, R.S., Gluskoter, H.J., 1976. Mineralogy of Ash of Some American Coals: Variations with Temperature and Source. Fuel, 55, 90-96.
4. Pearson, D.E., Kwong, J., 1979. Mineral Matter as a Measure of Oxidation of a Coking Coal, Fuel, 58, 63-66.
5. Raask, E., 1985. Mineral Impurities in Coal Combustion: The Behavior, Problems and Remedial Measures. New York: Hemisphere Publishing.

Rins Yıkamanın Denim Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

R. Tuğrul OĞULATA^{*1}, Ahmet NERGİS¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 10.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Rins yıkama, denim kumaşlarda en sık kullanılan yıkama uygulamalarından biridir. Bu çalışmada, rins yıkamanın, denim kumaş özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Seçilen bir denim kumaşa, rins yıkama esnasında farklı sıcaklık ve süre seviyelerinde yıkama denemeleri yapılmıştır. Yapılan araştırmada, yıkamaların kumaşlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, tekstil kumaşlarının performans tayininde kullanılan test metotları uygulanarak elde edilen sonuçlar istatistiksel metotlarla analiz edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ile; rins yıkama prosesinde yıkama süresinin gramaj, en, sertlik, çözgü uzama, dönme, atkı kopma ve çözgü kopma sonuçları üzerinde etkili iken, sıcaklığın ise sadece atkı ve çözgü kopma mukavemet sonuçları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Denim, Rins yıkama, Mukavemet, Katılık, Gramaj

Investigation of Effects of Rince Washing on Performance for Denim Fabrics

Abstract

Rince wash is one of the most common washing application method on denim fabrics. In this study, the effects of the rince wash on denim fabrics has been researched. During rince wash processes, with different temperature and duration levels, some washing trials have been applied to a selected denim fabric. For the aim of investigation of the washing effects on denim fabrics, the obtained test results, by using the test methods which are performed for determination the performance of textile fabrics, have been analysed with statistics methods in this study. After the evaluation of experimental work results, it has been observed that the washing duration is very effective on weight, width, stiffness, warp elongation, movement, weft and warp tensile strength, while the temperature results were only shown to be effective on the warp and weft tensile strength results.

Keywords: Denim, Rince wash, Strength, Stiffness, Weight

* Sorumlu yazar (Corresponding author): R. Tuğrul OĞULATA, ogulata@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde, denim kumaştan yapılan giyim eşyaları, her yaştan ve her kesimden insanın “yüksek moda ürünü giysiler” olarak algıladığı tekstil ve konfeksiyon mamulleridir. Ortaya çıktığı 19. Y.Y.’dan beri devamlı gelişme kaydeden ve moda yaratımında lider akımlardan olan denim kumaşlar, şu anda modanın vazgeçilmez bir parçasıdır. Ünlü moda markaları, değişik ve şaşırtıcı bir koleksiyon yapmak istediklerinde denim kumaşı tercih etmektedirler. Bunun asıl nedeni, genç kitlelerin denim ürünlere olan talebinin artırılması ve bu sayede, değişen yaşam tarzlarının denim ürünlere uygulanarak yeni moda eğilimlerinin yaratılmasıdır. Yaratılan yeni moda akımları, müşterilerin denim ürünlere daha fazla yönelimini sağlamakta ve üretici firmaların yıllık cirolarında önemli ölçüde artışlar sağlamaktadır [1].

Denim kumaş ürünleri için önemli işlemlerden biri yıkama operasyonudur. Dikilmiş denim giysinin, özel yıkama makinelerinde belirli reçete ve tekniklere göre yıkanarak üzerinde bulunan haşılların sökülmesi, değişik renk ve tuşe kazandırılması işlemidir. Jeans yıkama teknolojisi tüketici istekleri ve modanın etkisi ile yeni renk tonları ve efektler yaratma amacına yönelmiştir. Blue jeans’in temel özelliği, yıkandıkça rengi açılan indigo boyar madde ile boyanmış olmasıdır [2]. Rins yıkama, denim kumaşlarda kullanılan yıkama uygulamaları içinde en sade olanıdır. Kumaş kısa bir süre suda durulama işlemine tabi tutularak mümkün olduğu kadar az efekt verilir. Genelde kuru ve parlak görünümün elde edilmek istenen durumlarda uygulanır. İngilizcede “rinse” ya da “one wash” olarak geçen bu yıkama çeşidinde, ürünler soğuk ya da ılık suda, kısa ya da orta süreli olarak yıkanılır.

Rins yıkama hafif bir yıkama prosesi olması nedeniyle kumaşların fiziksel özellikleri üzerinde çok büyük değişimlere neden olmamakla birlikte, en yaygın kullanılan yıkama proseslerinden biri olması ve kumaştaki yıkama sonrası en küçük değişimlerin bile dikilmiş ürün üzerinde büyük sonuçlar doğurması nedeniyle dikkatle incelenmesi ve iyi analiz edilmesi gereken bir proses olduğu

şüphesizdir. Burada önemli bir konu ise, genel olarak literatürde yer alan çalışmaların büyük bir çoğunda, rins yıkama ile diğer yıkama türleri arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Bu nedenle tek başına rins yıkama prosesi içindeki değişimlerin incelenmesi ve bunun istatistiksel olarak geniş bir perspektifte değerlendirilmesi, etkili faktörlerin ortaya çıkarılması önem arz etmektedir. Özellikle kumaş üzerinde yapılan en önemli ve dikilmiş üründe en fazla etki edebileceği düşünülen fiziksel testlerin büyük bir çoğunu ortaya koyarak kumaşa yıkama sonrası ortaya çıkan değişimlerin tespit edilmesi ve bir bütün olarak ilişkilerin istatistiksel olarak incelenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda rins yıkama prosesindeki en etkin parametreler olan yıkama sıcaklığı ve süre faktörlerinin belirli seviyelerde değişimlerle, kumaş performans sonuçları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu değişimlerin kumaştaki etkileri incelenmiş, önemli çıkarımlar elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde denim yıkama işlemiyle ilgili yapılan çalışmalardan bazıları bu bölümde özetlenmiştir. Card, Moore ve Ankeny [3], jean hazır giyim ürünlerinde yıkama işlemlerinin fiziksel özelliklere etkisini araştırmıştır. %100 pamuk denim kumaştan hazırlanan jeanlere enzim ve taş yıkama işlemleri uygulanmış, yıkama öncesi ve yıkamalar sonrasında boncuklanma ve aşınma dayanımları incelenmiştir. Yıkama öncesinde bulunan boncuklanma ve aşınma oranlarının, enzim ve taş yıkama sonrası bulunan oranlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Aslan ve Körlü [4] tarafından yapılan çalışmada, haşıl sökme işlemi uygulanmış ve uygulanmamış çeşitli denim kumaş tipleri üzerinde farklı koşullarda uygulanan enzim ile yıkama işlemlerinin neden olduğu değişimler boyut, sıklık, renk ve ağırlık değişimleri, geri boyama, yırtılma dayanımı gibi parametreler açısından incelenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, denim kumaşlara enzimatik yıkama işlemi öncesinde haşıl sökme uygulamasının, söz konusu parametreler üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Khedher, Dhouib, Msahli ve Saklı [5], endüstriyel bitim işlemlerinin denim kumaşların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Çalışmada orta ve ağır gramajlarda 4 farklı denim kumaş kullanılmıştır. 4 farklı yıkama (rins, enzim, taş, enzimli taş) ve 5 farklı özel uygulama (firçalama, zımpara, reçine, ağartma, permanganat sprey ile yumuşatma) üzerinden kombin çalışmalar yapılmıştır. İşlemler sonrasında denim kumaşın yırtılma mukavemeti ve kopma mukavemeti testleri yapıp yıkama öncesi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, yıkama işlemlerinin kumaşın mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüş istatistiksel olarak da aynı sonuç elde edilmiştir. Yi [6], çalışmasında, enzim yıkama, enzimli ağartma, enzimli taş yıkama ve enzimli taş ve ağartma gibi yıkama proseslerinde optimum yıkama efektinin yakalanması amacıyla farklı yıkama sürelerinde yıkamalar yapılmıştır. Çalışmada %100 pamuk ve %99 pamuk %1 elastan olmak üzere iki farklı kompozisyonda denim kumaş kullanılarak elde edilen yıkamaların kumaş kopma mukavemeti ve elastikiyet değerleri üzerine etkileri incelemiştir. Bağırın [1], çalışmasında, denim ürünlere son görüntüsünü kazandıran yıkama işlemlerinin ayrıntılı incelemesini yapılmıştır. Yıkama işlemleri öncesinde ortaya çıkabilecek sorunlara karşı önlemlerin alınması ile bu işlemler sırasında ortaya çıkabilen sorunlara çözümler bulunması amacıyla incelemelerde bulunulmuştur. Yapılan farklı yıkamalar ve işlemler sonrasında kumaş renk ve mukavemet performanslarının değişimleri incelenmiştir. Khan, Mondal ve Uddin [7], denim ürünlerde yapılan ağartma yıkamasında kullanılan ağartıcı miktarı, sıcaklık ve süre gibi parametrelerin kumaş kopma mukavemeti, stiffness, elastikiyet, gramaj, renk kirlenme, nem alma gibi özelliklerini ne yönde etkilediğini incelenmişlerdir. Yapılan çalışmada, kopma mukavemeti, stiffness, gramaj ve renk gibi değerlerde azalma görülmüştür. Ağartma işlemi uygulanmış kumaşın mikroskopla yapılan inceleme neticesinde yüzeyinde daha fazla çatlama ve ayrışma tespit edilirken, iplik bünyesinde bulunan liflerin ağartma sonrasında azalması sonucunda, yüzeyin daha pürüzlü ve zayıf görüntüye sahip olduğu görülmüştür. Yıkanmamış kumaşın ise daha pürüzsüz, düz bir görüntüye sahip olup, yüzeyin daha sert ve su emiciliğinin artırılmış kumaşa göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yapılan yıkamalarda en çok üretilen temel tiplere örnek olması amacıyla gramaj olarak özellikle 10-12 oz/yard² aralığında olan bir kumaş tipi seçilmiştir (1 oz/yard² = 33,91 gr/m²). Bu gramaj aralığında bulunan kumaşlar, denim piyasasında her türlü yıkama ve kullanıma uygun olup, dayanım, konfor ve konstrüksiyon özelliklerine baktığımızda da yaygın olarak kullanılan %98 pamuk %2 elastan elyaf içeriğine ve 3/1 Z dimi konstrüksiyona sahiptir. Ayrıca her türlü yıkama işlemine dayanabilecek mukavemete sahip olması nedeniyle de giysi tasarımında farklı yıkamaların kullanılmasına da imkan vermektedir. Çalışma yapılan kumaşın genel özellikleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Numune iplik ve kumaş özellikleri

Örgü	3/1 Z Dimi
Hammadde	%98 Pamuk %2 Elastan
Gramaj	11,2 oz/yard ² (380 gr/m ²)
Çözgü sıklığı	30 tel/cm
Atkı sıklığı	17,5 tel/cm
Çözgü numarası (Ne) N(Ne)	8,1 Ring Karde Şantuk
Atkı numarası (Ne)	10 Ring Karde + 78 dtex Elastan
En	153 cm
Tarak	60/4
Boyama Türü	Slasher Boyama

Çalışmada kullanılan numune kumaş, slasher boyama ünitesinde boyanıp haşılanaştırılmaktadır. Sırasıyla boyama esnasında uygulanan proses adımları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Boyama sülfür bottom tekniği uygulanarak yapılmıştır. Bu teknikte kumaşa indigo boyamadan önce ilk adımda tek teknede sülfür boyama yapılmaktadır. Yapılan sülfür boyama sonrası, çözgülerin (ipliğin) üzerinde bulunan uçuntuları ve pislikleri temizlemek, fazla kimyasallardan arındırmak

amacıyla 3 tekneli ön yıkama yapılmıştır. Yıkamadan sonra kurutma silindirlerinden geçen çözgü iplikleri, boyanmak üzere içinde indigo boya bulunan teknelere girerek indigo boyama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Boyamada uygulanan proses adımları

Adım	Proses
1	Sülfür boyama
2	Ön yıkama
3	İndigo boyama
4	Son yıkama
5	Haşıl

Bu adımla birlikte renkte derinlik sağlanmaktadır. Bu sayede elde edilen renk, koyu ve sarı nüanslı olmaktadır. Bundan sonraki adımda boyamadan çıkan çözgüler son yıkama teknelerine girerek üzerindeki fazla boyadan arındırılmaktadır. Son adımda ise çözgülerin haşıl işlemi gerçekleştirilmektedir. Numune kumaşa uygulanan kimyasal ve fiziksel bitim işlemleri adımları Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Uygulanan bitim proses adımları

Adım	Proses
1	Yakma
2	Merserize
3	Yıkama
4	Apré
5	Sanfor

Kumaşın öncelikle üzerinde bulunan hav ve tüycüklerin yok edilmesi için çift yüz yakma işleminden geçirilmiştir. Daha sonra kumaş yüzeyinde parlaklık elde etmek ve kumaşa ekstra mukavemet kazandırmak amacıyla NAOH (sodyumhidroksit) verilerek merserizasyon işlemi yapılmıştır. Sonrasında kumaş üzerindeki kimyasalları uzaklaştırmak için yıkama işlemi uygulanmıştır. Temizlenen kumaş; yumuşaklık ve dolgunluk verilmesi amacıyla yumuşatma apresinden geçirilmiştir. Son aşamada ise kumaşa çekmezlik vermek amacıyla sanfor işlemi uygulanmıştır.

3.2. Metot

Fiziksel test laboratuvarında yapılan bu kontroller test esaslı olup, kumaşın fiziksel özelliklerinin kontrolünü sağlar. Yapılan çalışmada yıkamaların kumaş üzerinde etkisini görmek amacıyla uygulanacak testler ve metotlar Çizelge 4’de verilmiştir. Ayrıca testlerin her birine verilen kısaltmalar da Çizelge 4’de yer almaktadır. Yapılan test sonuç çizelgelerinde ve istatistik analizlerde bu kısaltmalar kullanılmıştır. Uygulanan testler bu alanda en çok kullanılan ASTM D, ISO, LS & CO gibi uluslararası standartlara uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 4. Denim kumaşlara uygulanan test metotları ve kısaltmalar [8-14]

Kısalt.	Test Adı	Birim	Test Metodu
G	Kumaş gramajı [8]	g/m ²	ASTM D 3776
EN	En kontrolü [9]	cm	ASTM D 3774
S	Katılık [10]	kg	ASTM D 4032
WE	Çözgü uzaması [11]	%	ASTM D 3107
M	Dönme [12]	%	LS&CO Method 2
AK	Atkı kopma mukavemeti [13]	kg	ASTM D 5034
ÇK	Çözgü kopma mukavemeti [13]	kg	ASTM D 5034
ÇÇ	Çözgü çekme [14]	%	TS EN ISO 5077
AÇ	Atkı çekme [14]	%	TS EN ISO 5077

Yapılan denemeler ve rins işlem adımları Çizelge 5’de yer almaktadır. Bu yıkama türünün kısa bir işlem olması nedeniyle uygulanan işlemler 4 adımdan oluşmaktadır. İlk adımda yıkama işlemi yapılmakta, sonrasında ise boşaltma, sıkma ve kurutma işlemi uygulanarak işlem sona ermektedir.

Çizelge 5. Rins yıkama reçetesi

İşlem	Flotte oranı (kg/l)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	pH
Rinse Yıkama	1/14	D1*: 25 D2*: 45 D3*: 65	D1*: 5 D2*: 15 D3*: 30	6-7
Boşaltma				
Sıkma				
Kurutma				

D*: Deneme

Çizelge 6. Rins yıkama denemelerinde kullanılan parametreler

Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
25	5
25	15
25	30
45	5
45	15
45	30
65	5
65	15
65	30

Çalışmalarda yapılan analizler için rins yıkamada süre ve sıcaklık parametreleri üzerinde değişiklikler yapılarak fiziksel testler uygulanmıştır. Yıkamalar 5 dk, 15 dk ve 30 dk sürelerinde yapılmış olup, eş zamanlı olarak sıcaklıklar 25°C, 45°C ve 65°C olarak uygulanmıştır. Denemelerde kullanılan parametreler Çizelge 6'da verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan rins yıkama denemeleri sonrasında, kumaşlara en, gramaj, çözgü, çekme, atkı çekme, dönme, çözgü uzama, katılık, çözgü kopma, atkı kopma testleri uygulanmıştır. Çalışmada testler hassasiyeti artırmak amacıyla 3 tekrarlı olarak uygulanmıştır. Sonuçlar deneylerin sütunları

üzerinde gruplandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde veriler SPSS 21 istatistiksel analiz programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Test sonuçlarının normal dağılıma uygunluğunu tespit etmek için uygulanan Kolmogrov Smirnov test sonuçları Çizelge 7'de gösterilmiştir. Kolmogrov Smirnov normallik testinin sonuçlarına göre P önemlilik değerinin 0,05'ten yüksek olması durumunda verilerin normal dağılıma uygun olduğu kabul edilir.

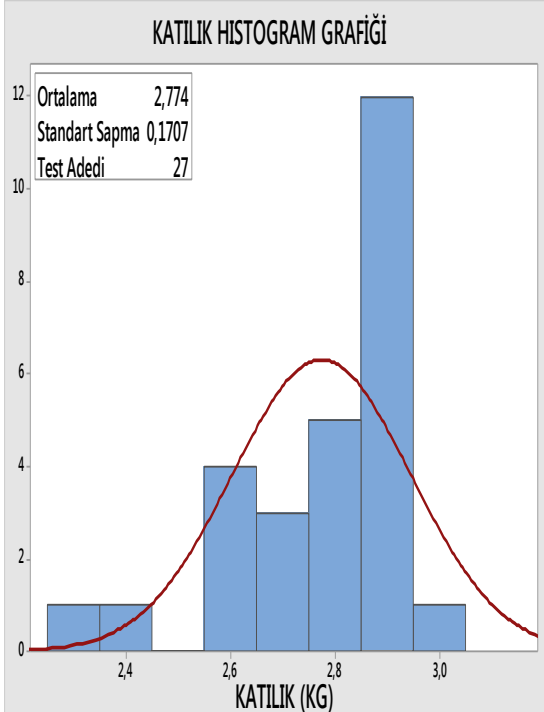
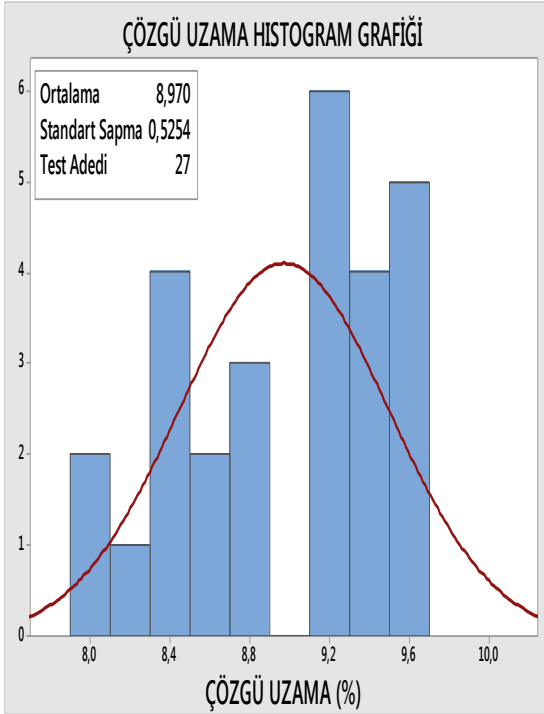
Çizelge 7. Normal dağılıma uygunluk sonuçları

	GR	EN	ÇÇ	AÇ	M	WE	S	ÇK	AK
N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
P	0,2	0,2	0,2	0,05	0,2	0,0	0,03	0,2	0,2

Çizelge 7 incelendiğinde özellikle katılık ve çözgü uzama testlerinde önemlilik değerinin 0,05'den küçük olduğu ve normal dağılıma uygun olmadığı görülebilmektedir. Diğer değerlerin ise 0,05'den büyük ve normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. İlgili parametrelerin histogram grafikleri incelendiğinde (Şekil 1) çözgü uzama ve stiffness test sonuçlarının çan şekline oldukça yakın, tek tepe noktasına ve geniş bir dağılıma aralığına sahip olduğu görülebilmektedir. Merkezi limit teoremi, normal olmayan dağılımların normale yakın kabul edilmesini sağlamakta, dolayısıyla Şekil 1'deki faktörlerin de normal dağılım gösterdiği kabul edilmektedir [15].

Çizelge 8'deki hata varyanslarının eşitliği test sonuçlarına bakıldığında atkı kopma değerlerinin varyanslarının homojen dağılım göstermediği yani P değerinin 0,05'ten küçük olduğu, diğer değerlerin varyanslarının ise homojen dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır ($p > 0,05$). Atkı kopma mukavemeti varyansları homojen dağılmadığından Tamhane çok değişkenli varyans analizi testleri uygulanmıştır (Çizelge 19). Diğer değişkenler homojen dağılım gösterdiğinden Tukey HSD testi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir (Çizelge 11,13,15,17).

Bu analizlerde, süre faktörü için 5, 15 ve 30 dk'da elde edilen sonuçlar, sıcaklık faktörü için ise 25, 45 ve 65°C ortalamaları arasındaki farklardan yola çıkarak ikili olarak mukayeseler yapılmıştır.



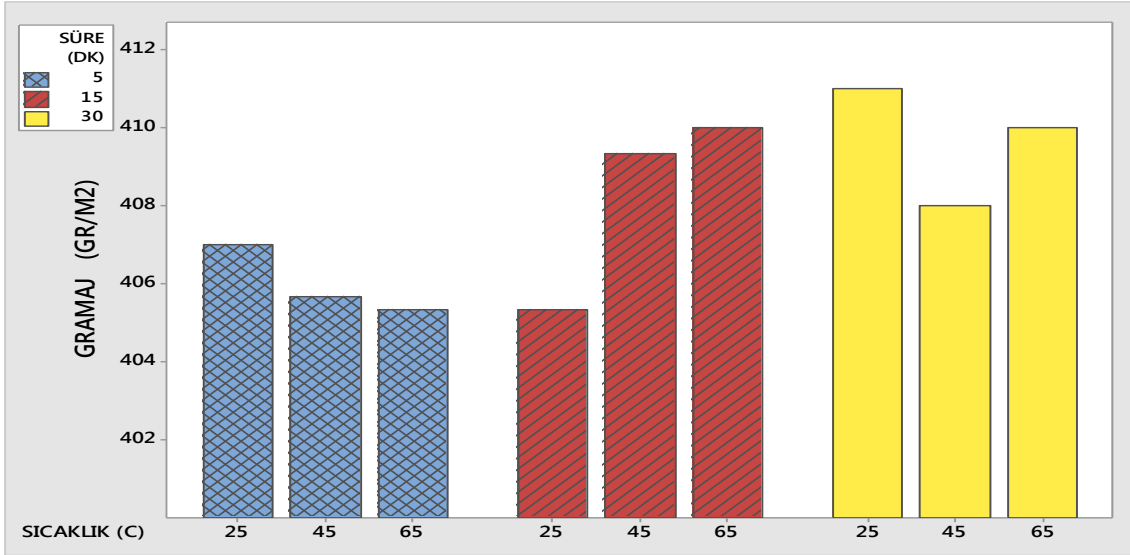
Şekil 1. Katılık ve çözgü uzama histogram

Çizelge 8. Hata varyanslarının eşitliği sonuçları levene's test of equality of error variances^a

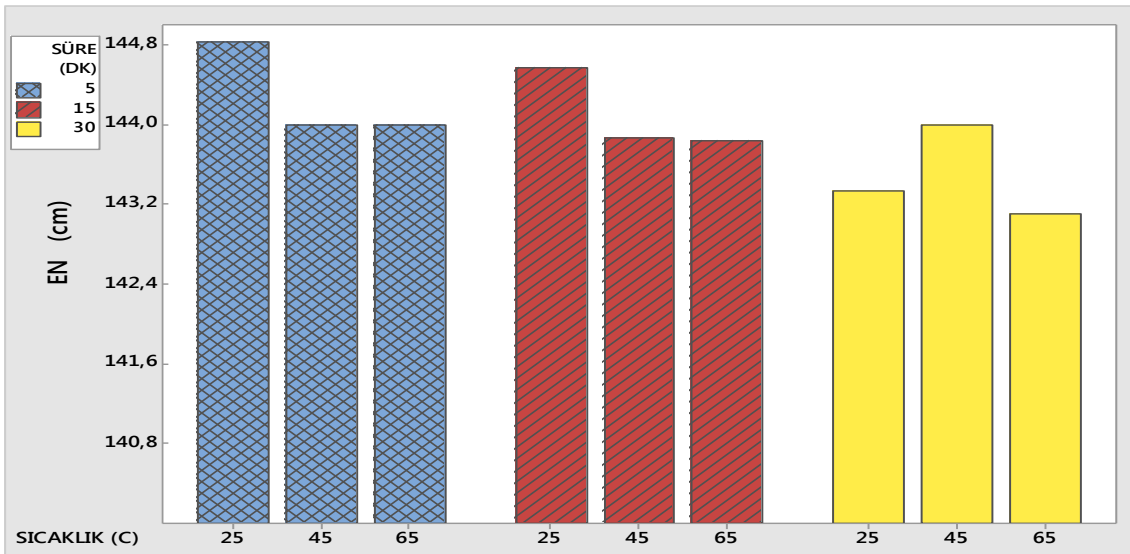
	F	df1	df2	P
GR	1,411	8	18	0,258
EN	1,284	8	18	0,312
ÇÇ	0,872	8	18	0,557
AÇ	1,988	8	18	0,108
M	1,23	8	18	0,337
WE	1,298	8	18	0,305
S	1,689	8	18	0,169
ÇK	1,477	8	18	0,233
AK	3,058	8	18	0,023

4.1. Kumaş Gramaj, En, Atkı Çekmesi ve Çözgü Çekmesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Aralarındaki ilişkiden dolayı, rins yıkama sonrası elde edilen gramaj, en, çözgü çekmesi ve atkı çekmesi testlerinin ortalama sonuç grafikleri, Şekil 2,3,4 ve 5'de toplu olarak verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, sıcaklık faktörünün, gramaj, en, çözgü çekmesi ve atkı çekmesi test sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. İstatistiksel olarak bakıldığında da Çizelge 9'da yer alan etkileşim sonuçlarında önemlilik değeri 0,05'den büyük olması nedeniyle sıcaklık ve sıcaklık*süre etkileşiminin etkili olmadığı teyit edilmektedir. Süre sonuçlarının etkisine bakıldığında ise, hem grafikteki eğilimden hem de etkileşim analizi sonuçlarında, önemlilik değerlerini incelediğimiz dört bağımlı değişken için de değerin 0,05'den küçük olması nedeniyle, süre faktörünün bu değişkenler üzerinde anlamlı ve etkili olduğu sonucuna varmaktayız. Yıkamayla birlikte ipliklerin birbirlerine yaklaşmaları sonucu çözgü ve atkı ipliklerinin sıklıklarında artış olması beklenir. Bu nedenle sürenin uzamasıyla belirli miktarda sıklık artışına bağlı olarak yıkama sonrası birim alana düşen ağırlıklarda artış gerçekleşmiştir. Gramaj değerleri sürenin kısa olması nedeniyle 5 dk'da düşük değerlerde seyrederken, süre 15 dk'ya uzadıkça gramaj yükselmekte, fakat 30 dk'da artışın çok fazla olmadığı, 15 dk'ya yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir (Şekil 2).



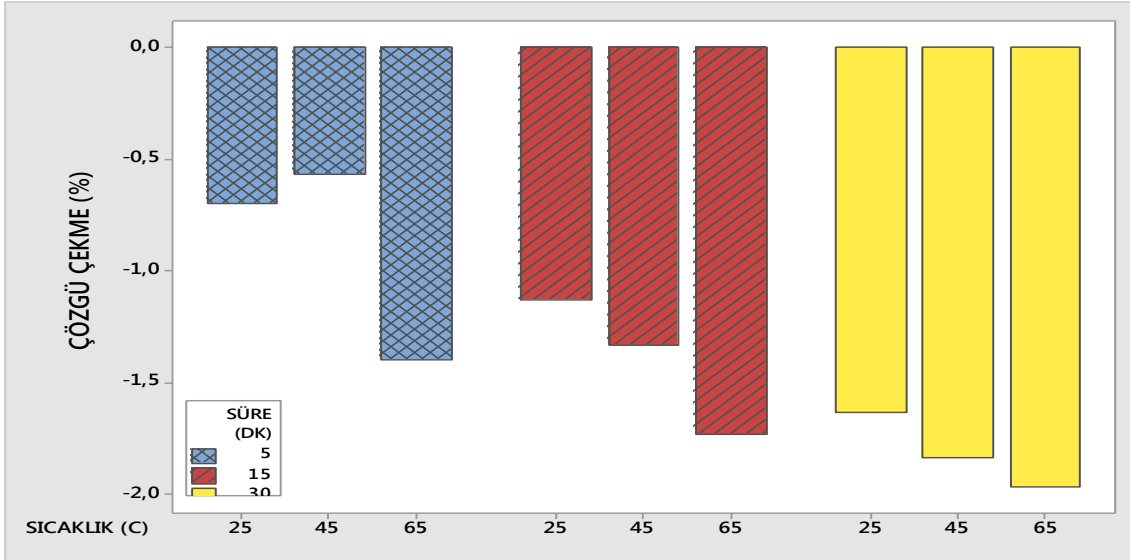
Şekil 2. Rins yıkama sonrası gramaj test sonuçları



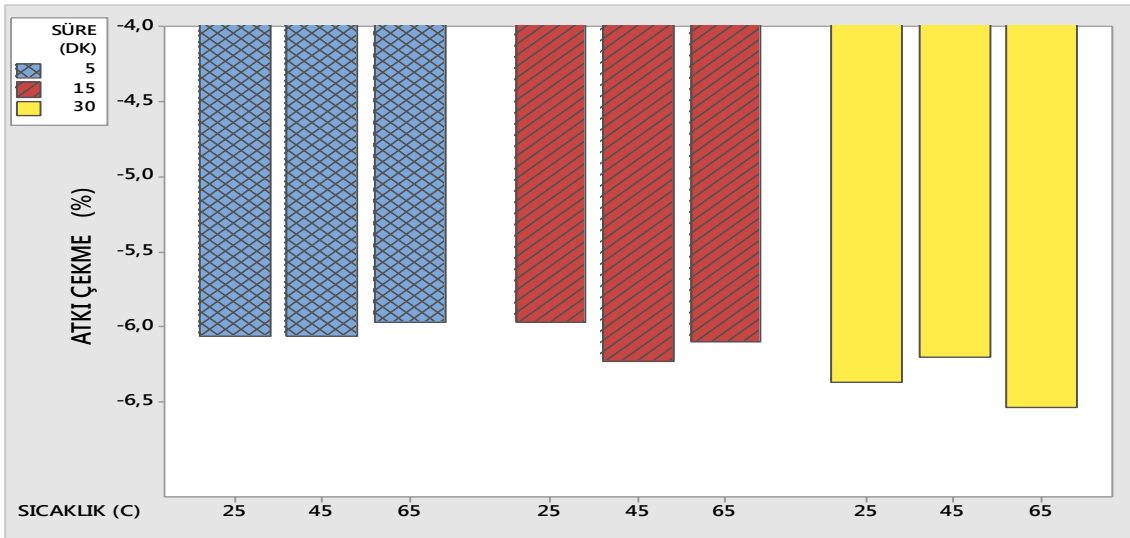
Şekil 3. Rins yıkama sonrası en testi sonuçları

Kumaş en değerlerinin yıkama süresinin uzamasının etkisiyle bir miktar daraldığı görülmektedir. Atkı yönünde elastan iplikle üretilmiş olan kumaşın yıkamanın etkisiyle birlikte ipliklerin bir araya toplanarak ende daralmaya yol açtığı görülmektedir. Bu nedenle kumaş eninde daralmanın olması beklenen bir durumdur. Özellikle 5 dk sonra ve 15 dk sonrası en değerlerinin birbirine daha yakın çıktığı, süre

uzadıkça 30 dk'da elde edilen sonuçlarla en düşük değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Sıcaklık sonuçlarında ise 5 ve 15 dk sürelerinde yapılan yıkamalarda, 45 ve 65°C sıcaklıklarda, enlerde daralma görülürken, 30 dk'da ise sıcaklığa bağlı anlamlı bir değişim görülmemektedir. Bu nedenle test sonuçlarına göre, sıcaklığın en üzerinde etkisinin süreye göre daha az olduğu görülmektedir (Şekil3).



Şekil 4. Rins yıkama sonrası çözgü çekme test sonuçları



Şekil 5. Rins yıkama sonrası atkı çekme test sonuçları

Kumaşlar yıkanarak kumaş bünyesinde bulunan liflerin şişmesiyle birlikte, iç gerilimlerden kurtulurlar. Böylece boydan daralma gerçekleşir. Çözgü çekmesi için Şekil 3'e baktığımızda, 5 dk değerleri %0,5-1,5 aralığında ve en az çekme miktarına sahip iken, 30 dk'daki değerlere baktığımızda %1,5-2 aralığında değiştiği görülmektedir. Sıcaklık değerlerinin ise süre 5dk'da iken çok fazla etkili olmadığı görülürken,

15 ve 30 dk'larda sıcaklığın artmasıyla birlikte kumaştaki daralmanın da kademeli olarak arttığı görülmektedir. Şekil 4'de yer alan atkı çekmesi test sonuçlarını incelediğimizde süre parametresinin artmasıyla birlikte yine hafif de olsa bir değişim göze çarpmaktadır. Özellikle 5 ve 15 dk değerleri birbirine yakın olmasıyla birlikte 30 dk'daki atkı çekme test sonuçlarının bunlardan daha yüksek olduğunu görülmektedir.

Çizelge 9. Süre ve sıcaklık faktörlerinin gramaj, en, çözgü çekmesi ve atkı çekmesine etkisi

	Faktör	F	Önemlilik
GR	Süre	4,433	0,027
	Sıcaklık	0,23	0,797
	Süre * Sıcaklık	1,939	0,148
EN	Süre	5,413	0,014
	Sıcaklık	2,787	0,088
	Süre * Sıcaklık	1,811	0,171
ÇÇ	Süre	6,591	0,007
	Sıcaklık	2,634	0,099
	Süre * Sıcaklık	0,339	0,848
AÇ	Süre	8,308	0,003
	Sıcaklık	0,297	0,747
	Süre * Sıcaklık	2,027	0,133

Yıkama süresi arttıkça atkı yönünde daha önce ende bir daralma olduğunu görmüştük. Buna bağlı olarak beklendiği gibi atkı çekme oranında da bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Elde edilen sonuçlar ikili olarak kıyaslandığında, rins yıkama sonrası gramaj için 5 ve 30 dk arasındaki farkın yüksek olduğu ve yıkama süresinin kumaşın daralmasından dolayı birim alana düşen iplik sayısının da artmasıyla gramajda yükselmeye yol açtığı buradan da görülmektedir. En, çözgü çekmesi ve atkı çekmesi değerleri için de yine benzer durum tespit edilmiştir. Yıkama süresinin uzamasıyla birlikte özellikle 5 ve 30 dk arasındaki ortalama farkın fazla olması kumaşın boydan ve enden daralmasının süreye bağlı olarak artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bütün bu ilişkileri toparlayacak olursak, yıkama sonrası en ve boydaki daralmayla beraber atkı ve çözgü

çekmesindeki artışla birlikte gramaj değerlerinde de artış görüldüğü sonucuna varılmaktadır.

4.2. Dönme (Skew Movement) Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Rins yıkama sonrası elde edilen kumaş dönme ortalama sonuçları Şekil 6'da yer almaktadır. Bu sonuçlara göre sıcaklık parametresiyle dönme değerleri arasında çok fazla etkileşim olmadığı görülmektedir. Süre parametresine göre ise yıkamanın uzamasıyla birlikte dönme değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir. Dönme değeri atkının hareketine bağlı olduğundan yıkama süresinin artmasıyla birlikte atkı daha az hareket ederek dönme değerindeki değişimin de azalmasına yol açmıştır. Çizelge 10'da yer alan etkileşimlerden de görüldüğü üzere önemlilik değerinin 0,05'den düşük olması nedeniyle sürenin dönme üzerinde etkili olduğu görülmekte iken, sıcaklık ve sıcaklık-süre etkileşiminde etkili ve anlamlı bir sonuca varılamamaktadır.

Çizelge 10. Süre ve sıcaklık faktörlerinin dönme üzerindeki etkisi

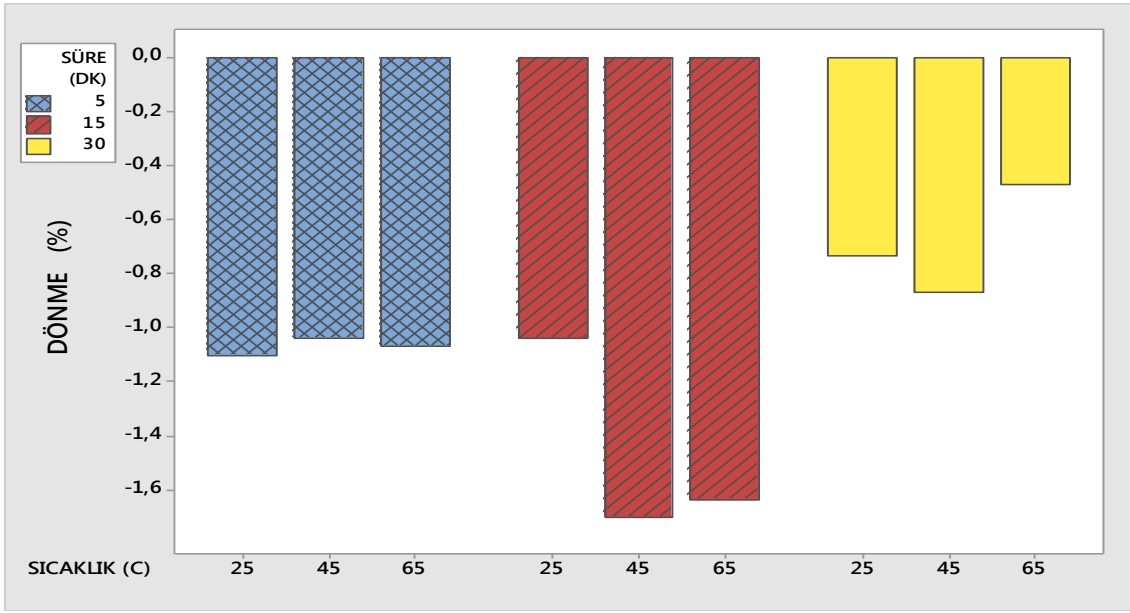
Faktör	F	Önemlilik
Süre	4,186	0,032
Sıcaklık	0,43	0,657
Süre * Sıcaklık	0,627	0,649

Çizelge 11. Dönme değişkeni toplu karşılaştırma sonuçları (TUKEY HSD)

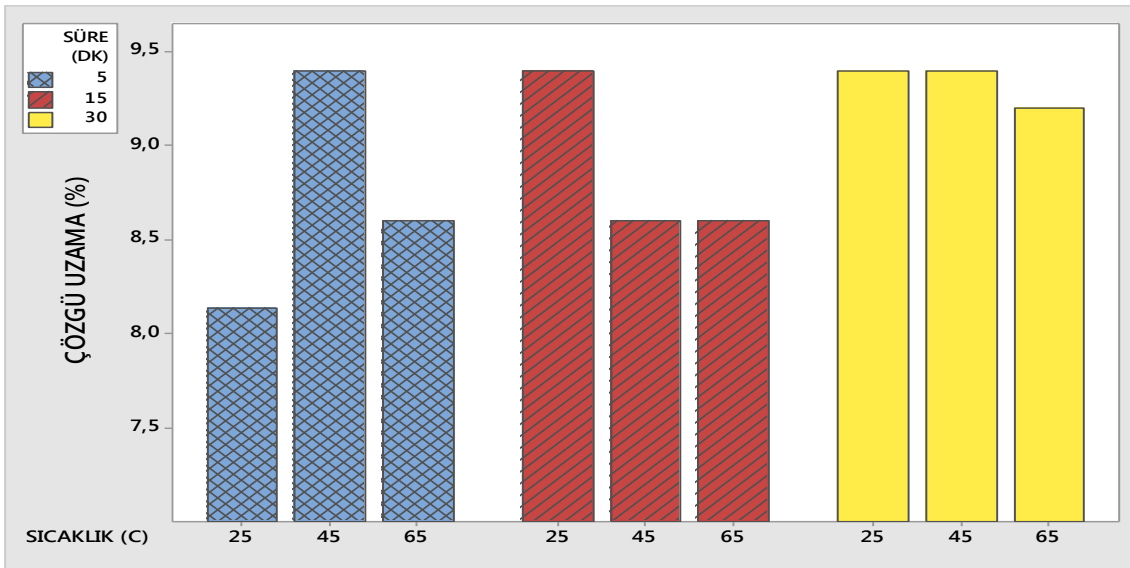
Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Süre)	J (Süre)	Fark (I-J)	Önem.
SÜRE	M	5	15	0,389	0,329
			30	-0,378	0,349
		15	5	-0,389	0,329
			30	-,767*	0,025
		30	5	0,378	0,349
			15	,767*	0,025

Genelde 2/1 ya da 3/1 dimi örgü yapısında olan denim kumaşlarda, yıkama sonrası atkı eğimi değeri ile yıkama öncesi verilen atkı eğimi değeri arasında fark, atkının yapacağı toplam hareketi, yani dönme değerini ifade etmektedir. Çizelge 11’de yer alan dönme bağımlı

değişkeninin süreye göre karşılaştırma sonuçlarına göre, 15 ve 30 dk arasındaki farkın anlamlı olduğu, atkının 15 dakika’ya kadar bir miktar hareket ettiğini, fakat 15. dakikadan 30. dk’ya kadar geçen sürede ise hareketin daha fazla olduğu ve bu hareketin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Rins yıkama sonrası dönme test sonuçları



Şekil 7. Rins yıkama sonrası çözgü uzama sonuçları

4.3. Çözgü Uzama Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7’de sıcaklık ve süreler göre elde edilen çözgü uzaması test sonuçlarının ortalama değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre sıcaklıkla çözgü uzaması değerleri ilişkilendirilememektedir. Sıcaklık değerinin artışına bağlı olarak çıkan sonuçların aynı doğrultuda ilerlemediği görülmektedir. Çizelge 12’deki önemlilik değerine göre de sıcaklığın çözgü uzaması üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Süreye göre değerlerdeki değişimlere bakıldığında ise etkileşim çizelgesinden de görüldüğü üzere önemlilik değerinin 0,001 olması nedeniyle etkili ve anlamlı bir faktör olduğu, özellikle 30 dakikada değerlerin 5 ve 15 dk’da elde edilen sonuçlara göre çok daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Çizelge 13’deki toplu karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında da zaten 30 dakika ile 15 ve 5 dakika arasındaki farkın anlamlı olduğu tespit edilmektedir.

Çizelge 12. Süre ve sıcaklık faktörlerinin çözgü uzama üzerindeki etkisi

Faktör	F	Önemlilik
Süre	11,582	0,001
Sıcaklık	3,073	0,071
Süre * Sıcaklık	10,191	0,000

Çizelge 13. Çözgü uzama değişkeni toplu karşılaştırma sonuçları (TUKEY HSD)

Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Süre)	J (Süre)	Fark (I-J)	Önem.
Süre	WE	5	15	-0,156	0,494
			30	-,622*	0,001
		15	5	0,156	0,494
			30	-,467*	0,007
		30	5	,622*	0,001
			15	,467*	0,007

Çizelge 13’e göre sürenin uzamasıyla çözgü yönünde daralan kumaşın daha fazla esneme kaydedebildiği sonucuna varılmaktadır. 30 dk’da en fazla daralma yaşandığı için esnemenin de buna göre fazla çıktığı rahatlıkla söylenebilmektedir.

4.4. Sertlik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

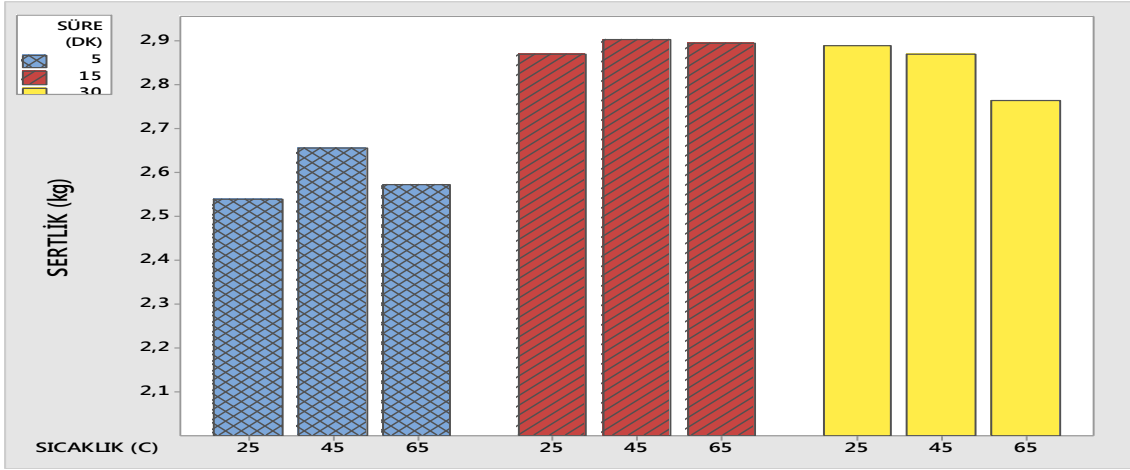
Şekil 8’de sunulan sertlik test sonuçlarına göre sürenin uzamasıyla birlikte sertlik değerinin de arttığı görülmektedir. Özellikle 5 dk’dan daha uzun sürelerde sonuçlarda yükselme olduğu fakat sonuçların daha yukarı çıkmadığı görülmektedir. Çizelge 14’de yer alan etkileşim sonuçlarında da önemlilik değerinin süre için 0,05 sınır değerinin altında etkili ve anlamlı olduğu, sıcaklık faktörü için ise 0,05 değerinin üzerinde ve etkili olmadığı görülmektedir. Sertlik için kumaşın 5 dk ile 15 ve 30 dk sonuçlarının ortalama farklarının fazla ve anlamlı olduğu, 5 dk’daki değerlerin daha uzun süreler göre daha düşük olduğu Çizelge 15’de görülmektedir.

Çizelge 14. Süre ve sıcaklık faktörlerinin sertlik üzerindeki etkisi

Faktör	F	Önemlilik
Süre	17,429	0
Sıcaklık	0,737	0,493
Süre * Sıcaklık	0,561	0,694

Çizelge 15. Sertlik değişkeni için süre ve sıcaklık faktörleri toplu karşılaştırma sonuçları (TUKEY HSD)

Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Süre)	J (Süre)	Fark (I-J)	Önem.
Süre	S	5	15	-,2994*	0
			30	-,2522*	0,001
		15	5	,2994*	0
			30	0,047	0,668
		30	5	,2522*	0,001
			15	-0,05	0,668



Şekil 8. Rins yıkama sonrası sertlik sonuçları

Ortaya çıkan bu sonuçlar, kumaşa apre aşamasında verilen yumuşatıcının 15 dk'dan sonra üzerinden atıldığının ve yumuşatma özelliğinin azaldığının göstergesidir. 5 dk'da yumuşatma özelliği tamamen kaybolmamış fakat sürenin uzamasıyla birlikte yumuşatıcı aprenin etkisinin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle sertlik değerinin yıkama süresinin uzamasıyla arttığı ortaya çıkmaktadır.

4.5. Çözgü Kopması Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 9'da sıcaklık ve süre parametrelerine göre yapılan test sonuçlarının ortalama değerleri yer almaktadır. Bu sonuçlara göre süre ile çözgü kopma mukavemeti değerinin çok fazla etkilenmediği, sıcaklığa göre bakıldığında ise, sıcaklığın 30°C'den 45°C'ye yükseldiğinde mukavemetin düştüğü 60°C'ye geldiğinde ise tekrar eski değerlerine yakın noktalara geldiği görülmektedir. Etkileşim çizelgesine baktığımızda da (Çizelge 16) önemlilik değerinin süre faktörü için 0,05 değerinden yüksek olduğu, bu nedenle mukavemete etkisinin olmadığı görülmektedir. Sıcaklık için önemlilik değerinin ise 0,037 bulunması nedeniyle etkili ve anlamlı bir faktör olduğu görülmektedir.

Çizelge 17'deki toplu karşılaştırma sonuçları, 45°C ile 65°C'deki çözgü kopması değerleri arasındaki farkın anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, sıcaklığın süreden bağımsız olarak

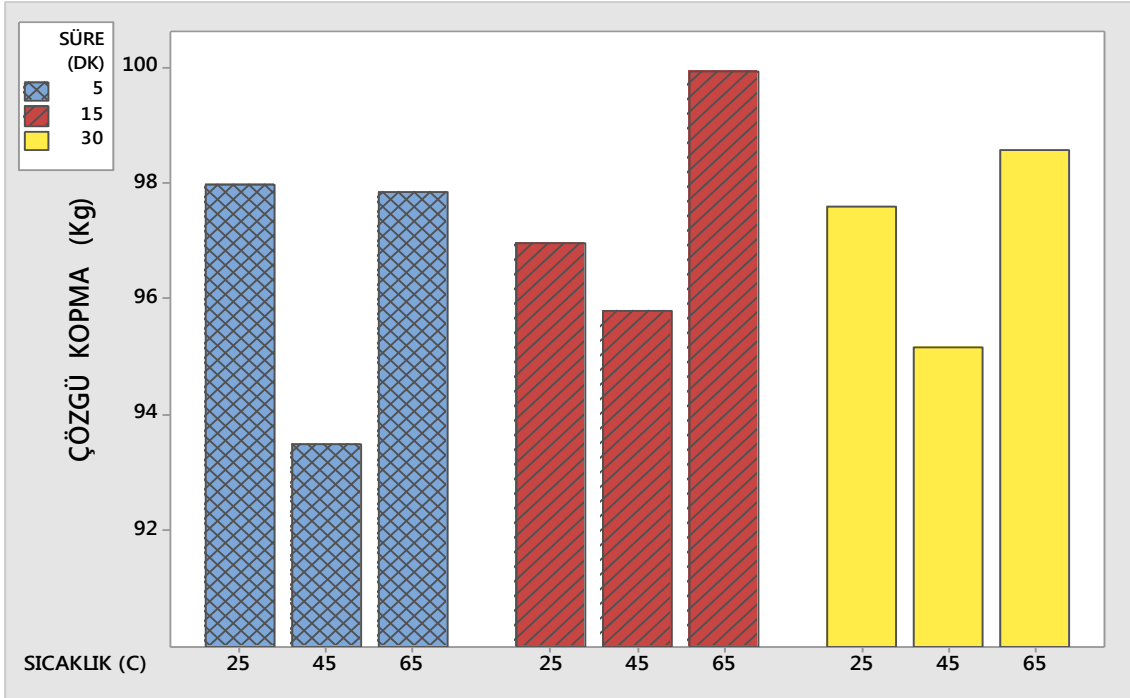
45°C'deki düşüş nedeniyle anlamlı ve etkili bir faktör olduğu, bu nedenle dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 16. Süre ve sıcaklık faktörlerinin çözgü kopma mukavemeti üzerindeki etkisi

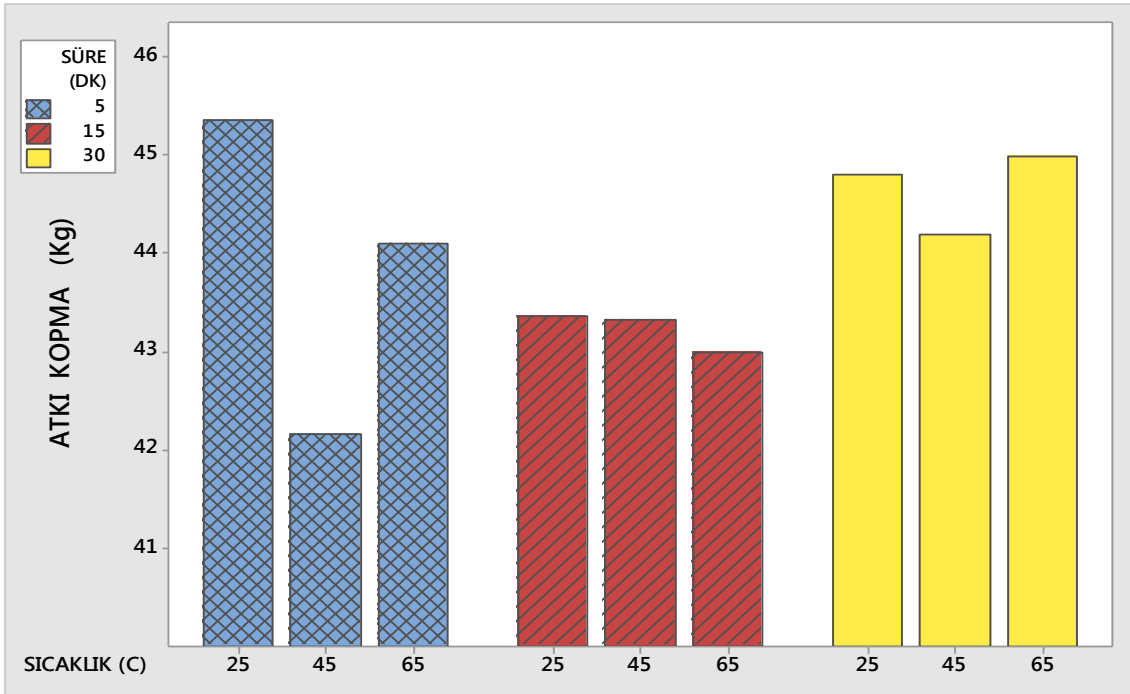
Faktör	F	Önemlilik
Süre	0,309	0,738
Sıcaklık	3,979	0,037
Süre * Sıcaklık	0,294	0,878

Çizelge 17. Çözgü kopma değişkeni için toplu karşılaştırma sonuçları (TUKEY HSD)

Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Sıcak.)	J (Sıcak.)	Fark (I-J)	Önem.
Sıcak.	ÇK	25	45	2,689	0,175
			65	-1,278	0,653
		45	25	-2,689	0,175
			65	-3,967*	0,033
		65	25	1,278	0,653
			45	3,967*	0,033



Şekil 9. Rins yıkama sonrası çözgü kopma sonuçları



Şekil 10. Rins yıkama sonrası atkı kopma sonuçları

4.6. Atkı Kopması Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 10'daki atkı kopma mukavemet test sonuçlarına bakıldığında süre ve sıcaklıkla atkı kopma mukavemetlerinin hafif bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Çizelge 18'deki etkileşim Çizelgesinde de önemlilik değerlerinin 0,05'den düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 18. Süre ve sıcaklık faktörlerinin atkı kopma üzerindeki etkisi

Faktör	F	Önemlilik
Süre	7,916	0,003
Sıcaklık	6,403	0,008
Süre * Sıcaklık	3,996	0,017

İlk 5 dk'daki mukavemet değerinin 15 dk'da düşerek 30 dk'ya geldiğinde tekrar yükselme eğilimine girdiği görülmektedir. Sıcaklığa göre bakıldığında da 5 ve 30 dk yıkamalar için 45°C'de mukavemetin düştüğü 65°C'de tekrar yükseldiği görülmektedir.

Çizelge 19. Atkı kopma değişkeni için süre ve sıcaklık faktörleri toplu karşılaştırma sonuçları (TAMHANE)

Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Süre)	J (Süre)	Fark (I-J)	Önem.
Süre	AK	5	15	0,644	0,613
			30	-0,789	0,429
		15	5	-0,644	0,613
			30	-1,433	0,006
		30	5	0,789	0,429
			15	1,433	0,006
Faktör	Bağımlı Değiş.	I (Sıcak)	J (Sıcak)	Fark (I-J)	Önem.
Sıcak.	AK	25	45	1,278	0,116
			65	0,478	0,793
		45	25	-1,278	0,116
			65	-0,8	0,214
		65	25	-0,478	0,793
			45	0,8	0,214

Çizelge 19'da atkı kopma değerinde 15 ve 30 dk arasındaki farkın anlamlı olduğu görülmektedir. Sıcaklığa göre anlamlı olarak görülen atkı kopma mukavemeti testinde 45°C ile 65°C arasında fark göze çarpmaktadır. Mukavemetin 45°C'deki ortalamasının 65°C'ye göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Rins yıkama sonrası elde edilen gramaj sonuçlarında, sürenin artmasına paralel olarak artış yönünde bir eğilim görülmüştür. Rins yıkama sonrası elde edilen en değerlerinin de yıkama süresinin uzamasıyla birlikte daraldığı görülmektedir. Uygulama yapılan kumaş atkı yönünde elastan bir kumaştır. Yıkamanın etkisiyle birlikte kumaşı oluşturan atkı ve çözgü iplikleri arasındaki mesafenin daralmasıyla birlikte en sonuçlarında da değişim görülmüştür. Gramaj değerleri de bu daralmayla birlikte birim alandaki iplik sayısının artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Sıcaklığın ise, hem kumaş eni hem de kumaş gramajı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır.

Çekme testlerine bakıldığında hem atkı yönünde hem de çözgü yönünde sürenin artışıyla birlikte çekme miktarlarında da artış gözlenmiştir. Kumaşlar, yıkama sonrası bünyesinde bulunan liflerin şişmesiyle birlikte, iç gerilimlerden kurtulmuş olup, bu sayede kumaşın hem eninde hem de boyunda daralma gerçekleşmiştir. Çözgü çekmesinde ayrıca sıcaklığın da, 15 dakika'dan daha uzun sürelerde, doğrusal bir şekilde çekme sonuçları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Dönme sonuçlarında süre parametresine göre yıkamanın uzamasıyla birlikte dönme değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir. Dönme değeri atkının hareketine bağlı olduğundan yıkama süresinin artmasıyla birlikte atkı daha az hareket ederek dönme değerindeki değişimin de azalmasına yol açtığı düşünülmektedir. Sıcaklığın ise dönme üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çözüme uzama testinde yıkamada özellikle 30 dakika sürelerine çıkıldığında uzama değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durumdan dolayı, yıkama sonrası elde edilen daralmanın çözgü yönündeki esnemeği arttırdığı düşünülebilir.

Sertlik sonuçlarında sıcaklığın pek etkili olmadığı görülmektedir. Sürenin 15 dakika ve daha uzun olması durumunda ise birlikte sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Bu durumun yıkama süresinin kumaşın üzerinde bulunan yumuşatıcı etkisini kaybetmesinden kaynaklandığı düşünülmekte, kumaş yıkandıkça sertleşmekte ve sertlik değerleri doğal olarak daha da yükselmektedir.

Mukavemet testlerinde ise rins yıkamanın çok fazla süreyle etkilenmediği görülmektedir. Sıcaklıkla etkileşimlerde ise 45°C sıcaklıkta hem atkı hem çözgü mukavemetlerinin bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Bağırın, İ.C., 2011. Denim Yıkamada Karşılaşılan Sorunlar ve Bunlara Yönelik Çözüm Önerileri, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
2. Dindar, D., Yavuz, B., 2001. 2000-2001 Moda Trendleri ve Kot Pantolon-Mont Üretimi, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
3. Card, A., Moore, M.A., Ankeny, M., 2006. Garment Washed Jeans: Impact of Launderings on Physical Properties, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol.18, No:2, pp: 43-52.
4. Aslan, M., Körlü, A., 2009. Selülaz Enziminin Denim Yıkamada Kullanımı, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Vol.3, No:1, pp: 11-23.
5. Khedher, F., Dhouib, S., Msahli, S., Saklı, F., 2009. The Influence of Industrial Finishing Treatments and Their Succession on The Mechanical Properties of Denim Garment, Autex Research Journal, Vol.9, No:3. pp: 93-100.
6. Yi, C.M., 2011. Effect of Washing on Tensile Strength of Denim Fabric, A Thesis Degree of Bachelor of Arts (Honours) Scheme in Institute of Textiles & Clothing, The Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong.
7. Khan M.R., 2011. Effect of Bleach Wash on The Physical and Mechanical Properties of Denim Garments, International Conference on Mechanical Engineering, pp: 87-93, Dhaka, Bangladesh.
8. ASTM D3776-09a, 2013. Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric, ASTM International.
9. ASTM D3774-96, 2016. Standard Test Method for Width of Textile Fabric, ASTM International.
10. ASTM D4032-08, 2016. Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure, ASTM International.
11. ASTM D3107-07, 2015. Standard Test Methods for Stretch Properties of Fabrics Woven from Stretch Yarns, ASTM International.
12. LS&CO. METHOD-2, 2004. Skew Movement Method in Laundering, Levi's Strauss&Co.
13. ASTM D5034 - 09, 2013. Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test), ASTM International.
14. TS EN ISO 5077, 2012. Tekstil-Yıkama ve Kurutmada Boyut Değişmesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. Akgül, A., Çevik, O., 2003. İstatistiksel Analiz Teknikleri-SPSS'te İşletme Yönetimi Uygulamaları. Emek Ofset, Ankara.

Adana ve Kuzey Kıbrıs'ta Yer Alan Camiye Dönüştürülmüş Kilise Yapıları Üzerine Bir Karşılaştırmalı Çalışma

Hülya YÜCEER*¹

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Dini olarak kutsal kabul edilen yerlerin farklı bir dinin mensupları tarafından kullanılması, amaç ve süreçleri farklı olsa da, tarih içinde süregelen bir uygulamadır. Bu uygulama, bazı durumlar için kültürel fetih olarak yorumlanabileceği gibi, kimi durumlarda da yerin kutsallığını bozmadan sadece ibadet edecek bir yer gereksinimine yanıt vermek üzere yapılmış uygun bir adaptasyon olarak kabul edilebilir. Farklı kültürlerin kutsal yerleri kendileme süreçleri, bu kültürleri ve zaman içinde değişimlerini okumak için ilginç bir kaynak oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Adana ve Kuzey Kıbrıs'ta yer alan kilise yapılarının ibadet amaçlı yeniden kullanım süreçleri üzerinden kültürel miras ve çağdaş kültürel dinamikler arasındaki ilişkiyi okumaktır.

Anahtar Kelimeler: Mimari koruma, Tarihi yapıların yeniden kullanımı, Kilise, Cami, Adana, Kıbrıs

A Comparative Study for the Appropriation of Church Buildings in Adana and Northern Cyprus

Abstract

The appropriation of places of worship by communities associated with different religions has been a common practice throughout history, although the aims of and processes for such appropriations may vary. In some cases, it can be interpreted as a cultural conquest. Alternatively, it can be a convenient adaptation to provide a space for prayer while maintaining the sanctity of the place. The process of appropriation provides an understanding of cultures and their change over time. This study aims at tracing the relationship between heritage and contemporary cultural dynamics by examining the process of the appropriation of church buildings in Adana and Northern Cyprus.

Keywords: Reuse of historic buildings, Appropriation of heritage sites, Church, Mosque, Adana, Cyprus

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Hülya YÜCEER, hyuceer@abtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tarihsel süreç içinde, farklı kültürler üzerine medeniyet inşa eden toplumların fethettikleri yerlerdeki yapıları farklı işlevler vererek yeniden kullanmaları ya da buldukları yıkık yapıların malzemeleri ile yeni yapı inşa etmeleri bir yaygın uygulamadır [1, 2, 3]. Yapı türleri arasında ibadet amaçlı kullanılanların yeniden işlevlendirilmeleri dini değerinden dolayı hassasiyet taşımakla birlikte, tarih içinde bu durumu örnekleyecek pek çok uygulama olduğu bilinmektedir [4,5]. Hatta bazı yapılar art arda farklı kültürlerce pek çok kez yeniden dönüştürülmüştür. Örneğin, İspanya'daki Kordoba Katedrali/Cami, bir pagan tapınağı üzerine Vizigotlar tarafından 6. yüzyılda Katolik kilisesi olarak inşa edilmiş, Emevilerin İber yarımadasını fethinin ardından 711-784 yılları arasında iç mekanı ikiye bölünerek hem Müslümanlara hem de Hıristiyanlara ibadet yeri olmuştur [6,7]. 784 yılında, bir kısmı yeniden inşa edilerek, yapının tamamı cami olarak kullanılmıştır. 1236 yılında tekrar kiliseye çevrilen yapı günümüzde hala bu işlevini sürdürmektedir.

Yüzyıllardır farklı medeniyetlerin hüküm sürdüğü Anadolu toprakları da bu tür dini yapılara pek çok örnek barındırmaktadır. 537 yılında kilise olarak inşa edilmiş, İstanbul'un fethinin ardından camiye dönüştürülen ve 1935 yılından itibaren müze olarak kullanılan Ayasofya Katedrali ülkemizde konuyla ilgili en iyi bilinen örneklerdir. İbadet dışında işlev verilmiş kiliselerin yanı sıra, sadece İstanbul'da camiye çevrilmiş 28 kilise bulunmaktadır [8,9]. İstanbul dışında, Trabzon, Ayvalık, Kars, Adana illerinde ve Kuzey Kıbrıs'ta da Osmanlı döneminde ya da mübadele sonrasında camiye çevrilmiş kiliselere rastlamak mümkündür. Kıbrıs'ta bu tür uygulamalar Osmanlı İmparatorluğu'nun adayı fethi olan 1571 yılından beri yapılmaktadır. Osmanlılar fetih sonrası Kıbrıs'taki kiliselerin bir kısmını camiye dönüştürmüşler ve bunun için iyi mimarlarını görevlendirmişlerdir. En iyi bilinen yapılar, başkent Lefkoşa'daki Selimiye Camisi (St. Sophia Katedrali) ve Gazimağusa'da yer alan Lala Mustafa Paşa Camisidir (St. Nicholas Katedrali). Latin Katolik Kilisesi için önem arz eden bu iki katedral hala cami olarak kullanılmaktadır. Bunun

yanı sıra, 1974 yılında adanın ikiye bölünmesi sonucu yaşanan zorunlu göç ve belirsizlik sürecinde kuzeye yerleştirilen Türk halkı artık kullanıcısı olmayan kiliselerin bir kısmını camiye dönüştürmüşlerdir. Bugün Kuzey Kıbrıs'ta hala çok sayıda camiye dönüştürülmüş veya farklı işlev verilmiş kilise bulunmaktadır.

Somut kültürel mirasımızın örnekleri olan ve ülkemiz coğrafyasının kültürel çeşitliğinin somut kanıtları kilise yapılarının camiye çevrilmesi veya farklı işlevler verilmesi kültürel mirasın korunması çalışmalarının tartışılmalı konularından biridir. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup [8-11] daha çok yabancı kaynak bulunmaktadır [4-7,12-21]. Mevcut ulusal ve uluslararası kaynaklarda dini yapıların farklı amaçlarla kullanılması daha çok mimari değerlendirme, savaş sonrası ve sonrasında dini yapıların hedef alınması, din olgusunun değer kaybettiği ülkelerde ihtiyaç fazlası kiliselerin yeniden kullanımları konularını işlemektedir. Bu çalışmanın amacı ise literatürdeki açık konulardan dini yapıların farklı inanç sahibi bir toplum tarafından *adaptasyon* süreçlerinin incelenerek kültürel mirasın *içselleştirilmesi (kendileme-appropriation)* teorisine katkıda bulunmaktır. Sosyal bilimlerde farklı alanlarda da kullanılan bu teorik temel, mimarlık alanında tarihi yapıların farklı kültürlerce özgün işlevi dışında kullanımı, dolayısıyla yapısal ve sosyal olarak adaptasyonlarını içermektedir. Koruma alanında ayrıca kültürel miras algısı ve kültürel miras sahiplenme konularında yeri vardır. Konu, bulunduğumuz coğrafya içindeki kiliseler özelinde irdelendiğinde fetihler, savaşlar ve göçler sonrasında bu yapıların yıkıldığı, camiye dönüştürüldüğü veya farklı bir işlev verildiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, tarihsel olayların siyasi ve sosyal dinamikleri kiliseden camiye dönüştürülme süreçlerinde farklılıklara yol açmıştır. Bu farklılıkları izlemek, dönüştürülme sürecinin doğru tanımlanması ve kilise yapılarının kültürel miras stoku içindeki yerini belirlenmesinde önem taşımaktadır. Bu nedenle, çalışmada çok sayıda örnek barındıran Kuzey Kıbrıs ve az sayıda örneğin bulunduğu Adana'daki kilise yapıları incelenmiştir. Örnek yapılar öncelikle kendi bağlamlarında irdelenmiş ve daha

sonra dönüştürülme süreçleri benzerlik ve farklılıklarıyla nedenleri tartışılarak açıklanmıştır.

Çalışmanın bulguları arşiv, literatür araştırması ve saha çalışmasına dayanmaktadır. Yöntem olarak öncelikle Adana ve Kuzey Kıbrıs'ta yer alan kilise yapıları tescil ve korunmalarından sorumlu kamu kurumlarındaki listelerden tespit edilmiş ve envanter fişleri incelenmiştir. Bu yapılar hakkında ayrıntılı bilgi edinmek için literatür araştırılmıştır. Kuzey Kıbrıs'taki yapıların yerinde tespit ve incelemesi 2015 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında, Adana kent merkezindeki yapılar Mart-Nisan 2015, ilçelerdeki yapılar ise Ekim-Kasım 2015 aylarında yapılmıştır.

Çalışma 5 ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde çalışmanın amacı, literatürdeki eksik alanlar kapsam ve yöntem açıklanmaktadır. Bulgular ikinci ve üçüncü bölümde sunulmuştur. Kuzey Kıbrıs'taki yapılar ikinci bölümde, Adana'daki yapılar ise üçüncü bölümde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, yapıların kiliseden camiye dönüştürülme süreci, bu yapıların kendi bağlamlarında kültürel miras olarak nasıl algılandıkları ve korunmalarıyla ilgili değerlendirmeler karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır. Sonuç bölümünde yapıların bütüncül korunmaları ile ilgili öneriler sunulmuştur.

2. KUZEY KIBRIS

Kıbrıs adası tarihte Hıristiyanlığın ilk yayıldığı yerlerden biri olup (MS 45), İslamiyet 649 yılında Arapların adayı almasıyla yayılmaya başlamış, ancak adanın haçlılara geçmesinden sonra kısıtlanmıştır. Bugün adada yer alan İslam dini eserlerinin büyük çoğunluğu Osmanlıların 1570 yılındaki fethinden sonra inşa edilmiştir. Kilise, manastır, şapel gibi Hıristiyanlığı temsil eden yapılar ise Bizans, Rum Ortodoks, Lüzinyan, Latin, Maronit, Ermeni ve İngiliz toplumlar tarafından inşa edilmiş ibadet yerleridir. Bu yapıların bir kısmı Osmanlılar, bir kısmı ise 1974'te adanın ikiye bölünmesinden sonra Türk toplumu tarafından camiye çevrilmiştir. Kuzey Kıbrıs'ta kiliseden camiye dönüştürülen yapılar bu

bölümde üç alt başlıkta incelenmiştir. Öncelikle Kıbrıs'ın kısaca tarihi hakkında bilgi verilmiş, daha sonra Kıbrıs'ın dini mirası değerlendirilmiştir. Üçüncü alt başlıkta ise kiliseden camiye dönüştürülme süreci 1974 öncesi ve sonrası dönem ele alınarak açıklanmıştır.

2.1. Kıbrıs'ın Kısa Tarihi

Afrika, Asya ve Avrupa kıtalarını bağlayan deniz yolu üzerindeki konumuyla stratejik pozisyona sahip olan Kıbrıs, tarihi boyunca pek çok farklı uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Bu uygarlıklardan ilki MÖ 1. yüzyılda hüküm süren Fars-Fenike ve Helenistik Mısır Ptolemaios topluluklarıdır. MÖ 58 ile MS 395 yılları arasında Romalılar hakim olmuş, sonrasında ada Bizans İmparatorluğu'nun yönetimi altındayken, geçici olarak iki kez Suriye kökenli Müslüman Arap toplum Sarakanlar tarafından işgal edilmiştir [22]. Kıbrıs, 1191 yılında, İngiltere kralı 1. Richard önderliğindeki haçlı kuvvetleri tarafından fethedilmiş ve daha sonra yönetim Fransız haçlı komutanı ve Kudüs kralı Guy de Lüzinyan ile onun soyundan gelenlere devredilmiştir [23].

1489 yılında, son Lüzinyan kralı 2. James öldükten sonra, Kıbrıs adası eşi kraliçe Catherine Cornaro tarafından Venedik İmparatorluğu'na devredilmiştir. Venedik hakimiyetinde (1489-1571) adaya çok sayıda Arnavut yerleşmiş ve Limasol'da Arnavut Mescidi'ni inşa etmişlerdir [23]. Kıbrıs'ın 1570-1571 yılında Osmanlılar tarafından fethi sonrasında, adadaki Lüzinyanların ve Venediklerin hükmü altında süregelen feodal sistem kaldırılmış, Anadolu göçmenlerini Kıbrıs'a yerleşmeye yönlendirilen derebeylik sistemi kurulmuştur [24]. 1878 yılında Kıbrıs, Osmanlılar tarafından, 1958'e kadar adayı yöneten İngiliz Hükümeti'ne kiralanmıştır.

1960 yılında Kıbrıs Cumhuriyeti'nin kurulması ile beraber ada İngilizlerin hakimiyetinden kurtularak bağımsızlığını ilan etmiştir. Ancak, kısa bir süre sonra, 1963'de adanın iki etnik grubu olan Rumlar ve Türkler arasında anlaşmazlıklar ortaya çıkmıştır [25]. 1974 yılında Türk ordusunun müdahalesi-Bariş Harekatı- sonrasında, adanın ikiye bölünerek Türk ve Rum toplumlarının ayrılmasını ve adanın

kendilerine ayrılan bölümüne zorunlu göç etmelerini öngören karar alınmıştır [26]. 1974 yılından bugüne dek iki topluluk, Birleşmiş Milletler kontrollü tampon bölgenin iki tarafında ayrı olarak yaşamaktadır. 1974'deki bölünmeden sonra Türk ve Rum nüfusunun çoğu göç etmiş olmasına rağmen hala az sayıda buldukları yerlerden ayrılmamış aile bulunmaktadır. Bölünme sonrası güneyde 1960 yılında kurulmuş olan Kıbrıs Cumhuriyeti varlığını sürdürmeye devam ederken, 1974-1983 yılları arası Kuzey Kıbrıs bir federe devlet olarak yönetilmiştir. 1983 yılında ise Türkiye ile birlikte bugün hala az sayıda ülke tarafından tanınan Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti kurulmuştur.

2.2. Kıbrıs'ta Dini Mirasın Oluşumu

Kıbrıs'ın somut dini mirası, Lüzinyanlar, Venedikler, Nestoryanlar, Maronitler, Ermeniler ve Osmanlılar başta olmak üzere tarih boyunca adada yaşamış çeşitli kültürlerinin eserlerinden oluşmaktadır [27, 28]. Ada ilk tek tanrılı din izleri erken Hristiyanlık dönemindedir. MS 45 yılında Antakya Kilisesi, Aziz Paul ve Aziz Barnabas'ı, Barnabas'ın yeğeni John Mark eşliğinde Kıbrıs'a ilk Hristiyan misyonerleri olarak göndermiştir. St. Paul ve St. Barnabas dönemin Roma valisi Sergius Paulus'un Hristiyanlık dini kabul etmesinde önemli rol oynamıştır [29]. Hristiyanlığın kabulünden sonra bugün hala az sayıda var olan Pagan tapınakları ve diğer kutsal yapıların yerine kilise ve manastırlar inşa edilmiştir. Hristiyanlığın mezheplerinden Ortodoks Kilisesi, Kıbrıs'ın Bizans İmparatorluğu tarafından yönetildiği 4. yüzyıldan bugüne dek hala adadaki en baskın Kilise durumdadır [23,29]. Ancak bu durum Lüzinyan ve Venedik hükümdarlığı altında 1191 ile 1571 yılları arası bir süre kesintiye uğramıştır [30]. Bu dönemde, adanın önemli kentlerinde Akdeniz bölgesinde görülen Latin kilisesi mimarisine benzer katedral ve kiliseler ile yüksek rakımlı yerlerde manastırlar inşa edilmiştir. En belirgin örnekler Kudüs Kralı'nın atandığı ve taç giyme töreninin yapıldığı Fransız Gotik mimari özellikleri taşıyan Magusa'daki St. Nicholas Katedrali ve Lefkoşa'daki St. Sophia Katedrali'dir [23]. Latin Kilisesi, Rum din adamları ve Rum Ortodoks Kilisesi'nin gücünü kontrol altına alarak

gelişmesinin önünü kesmiş, ancak kiliselerinin alışılmış şekilde hizmet etmesine izin vermiştir [31].

1571 yılında, Osmanlılar adayı fethettikten sonra bazı kiliseleri camiye dönüştürmüşler, birkaç yeni cami ve mescit yaptırmışlardır [31]. Bu dönemde Ortodoks Kilisesi yeniden kurulmuş; Osmanlılar, Rum Ortodoks Kilisesi'nin yanı sıra Ermenilerin, Nestoryanların ve Maronitlerin kendi kiliselerinin korunmaları ve yönetilmeleri için gerekli yasal izinleri düzenlemiş ve ihtiyaç durumunda yeni kilise, manastır, okul ve diğer yapıların inşasına destek olmuşlardır [32]. 19. yüzyıl sonunda İngiliz yönetimi döneminde ise özellikle köylerde çok sayıda kilise inşa edilmiştir. Yönetim bu yapıları ibadet dışında okul olarak kullanıldıkları için desteklemiştir. Ayrıca, İngiliz Hükümeti 1935 yılında Antik/Eski Eserler Dairesini kurarak tarihi yapı envanterleri hazırlatmış ve harap durumdaki bazı tarihi yapılar için restorasyon çalışmaları yürütmüştür [12]. Magusa surlar içinde bulunan Ermeni Kilisesi gibi bazı dini yapılar onarılmış ve orijinal işlevleriyle kullanılmaya başlanmıştır.

1974 bölünmesinden sonra kuzeyde kalan Hristiyanlara ait 500 den fazla ibadet yerinin (manastırlar, kiliseler ve şapeller) bir kısmı yeni yerleşen Türk toplumu tarafından camiye dönüştürülmüş ve bir kısmı ise el sanatları atölyesi, folklorik dans merkezi veya anaokulu gibi ibadet dışı kültürel amaçlı işlevlerde kullanılmıştır [33]. Kuzey Kıbrıs'ta 1974 sonrası İskele'deki Panayia Theotokos Kilisesi, Güzelyurt'daki St. Mamas Manastırı, Girne'deki Archangelos Kilisesi gibi birkaç kilise ikon yada arkeoloji müzesine dönüştürülmüştür. Az sayıda kilise ise 1974 yılından bugüne işlevini sürdürmektedir. Adadaki iki toplum tarafından da kutsal sayılan Apostolos Andreas Manastırı, kuzeyde kalan Rumlar tarafından bugün de kullanılan Dipkarpaz'daki Ayios Synesios Kilisesi ve Koruçam'da bulunan Ayios Georgios Maronit Kilisesi gibi birkaç kilise kendi toplulukları tarafından hala kullanılmaktadır. Ancak, sadece adanın kuzey kesiminde kalan envanterlere kayıtlı kiliselerin sayısının 512 olduğu düşünüldüğünde çok sayıda kullanılmayan ve bu nedenle de bakımsız hatta zaman içinde kısmen veya tamamen yıkılmış kilise bulunduğu

anlaşılmaktadır. Kıbrıs Rum toplumu terkedilen bu kiliseler için uluslararası komisyonlara raporlar sunmuş ve hukuki işlem başlatmıştır [34,35].

Bir sonraki başlık altında, 1974 yılında adanın bölünmesinden önce ve sonraki dönemde kilise yapılarının camiye dönüştürülme süreci incelenmiştir. Bu inceleme uygulama sürecinin dinamikleri anlamaya katkı sağlamanın yanı sıra bu dinamiklerin siyasi anlaşmazlıklardan, savaşlardan ve hala çözüm sağlanmamış Kıbrıs sorunundan nasıl etkilendiğini vurgulamaktadır.

2.3. Kuzey Kıbrıs'ta Kiliselerin Camiye Dönüştürülme Süreci

Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği üzere Kıbrıs'ta kiliselerin camiye dönüştürülme süreci, Arap fethi döneminde başlamış ve bu uygulamayı daha önce Anadolu topraklarında da yapmış olan Osmanlı İmparatorluğu döneminde tekrar etmiştir. 1974 sonrasında adada yaşanan benzer süreç bugün yerini camiye dönüştürülmüş kiliselerin bulunduğu köylerde yeni camilerin yapımına bırakmıştır. Aşağıda bu süreçler detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.3.1. 1974 Öncesi Süreç

Bu bölümde 1974 yılı öncesinde camiye dönüştürülen kiliseler iki kategoriye ayrılarak incelenmiştir: Cami olarak kullanılmaya devam eden ve bugün farklı işlevlere hizmet eden kiliseler. Adadaki erken dönem kiliselerinden bazılarının Pers-Arap Müslümanları'nın istilası sırasında 12. yüzyıldan önce camiye dönüştürüldüğü bazı kaynaklarda belirtilmektedir [36]. Ancak bu sürece ait yeterli bilgi kaynağı olmadığı için Osmanlı döneminden günümüze kadar geçen süreç incelenmiştir.

2.3.1.1. Camiye Dönüştürülmüş ve Günümüzde Cami Olarak Kullanılan Kiliseler

Osmanlı döneminde camiye dönüştürülmüş kiliselerden en iyi bilinen örnek Mağusa'da bulunan ve 1571 yılında Osmanlı fethinden sonra camiye dönüştürülen Saint Nicholas Katedrali/Lala Mustafa Paşa Cami'dir (Şekil 1). Reims'daki

Notre Dame Katedrali'nden esinlenerek inşa edilen katedral [37] ve Kudüs Kralı'na taç giyme töreninin yapılması nedeniyle Hristiyanlar için önem taşımaktadır [38]. St. Nicholas'ın oldukça iyi işlenmiş Gotik mimari etkili batı yöndeki giriş cephesinin iki yanındaki çan kulelerinden kuzeydekinin yerine yapı camiye dönüştürüldükten sonra zarif bir minare yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Saint Nicholas Katedrali/Lala Mustafa Paşa Cami-Gazimağusa

Yapının cephesinde ve iç mekanında Hristiyan dinine ait İsa, Aziz ve melek tasvirleri ile referanslar kaldırılmış, iç mekan beyaz renkte boyanmıştır (Şekil 2). Ayrıca, yine tasvir süslemeli vitray camlar kaldırılarak yerine mermer soyut desenli oyma paneller yerleştirilmiştir. İç mekanda güney duvar üzerine mihrap nişi eklenmiş, ahşap bölme ile kadınlar mahfili tanımlanmıştır. Mermer zemin kible yönünde seccade şeklinde dokunmuş ve ibadet sırasında her birey için yer tanımlayan halılarla kaplanmıştır. Benzer şekilde başkent Lefkoşa'daki St. Sophia Katedrali de fetih Sultanı II. Selim'in adı verilerek camiye çevrilmiştir. Selimiye Cami, Sultanı temsil ettiği için iki

minareli olup iç mekanında tuğra tasvirleri bulunmaktadır.



Şekil 2. Lala Mustafa Paşa Cami iç mekan

Osmanlılar fetihten sonra sadece büyük şehirlerde değil küçük kasabalarda da kilise binalarını camiye dönüştürmüşlerdir. Az sayıdaki örnekten biri Mehmetçik/Galatya'da bulunan Hacı Ahmet Cami'dir. Agia Marina Latin kilisesinden ekler de yapılmak suretiyle camiye dönüştürülmüştür [36]. 1831 yılında yapılan Osmanlı nüfus sayımına göre köyde sadece Türkler yaşamaktaydı. İngiliz dönemi boyunca da hiç kimsenin yerinden edilmediği köyde Osmanlı döneminden bu yana sadece Kıbrıs Türkleri yaşamıştır. Cami'nin cemaat tarafından aralıksız kullanılması iyi korunmuş olmasını sağlamıştır.

2.3.1.2. Camiye Dönüştürüldükten Sonra Farklı İşlev Verilmiş Kiliseler

Bu kategoride sadece iki camiye rastlanmıştır. Birinci örnek St. Peter ve St. Paul Kilisesi, bugünkü adıyla Sinan Paşa veya Buğday Cami'dir

(Şekil 3). Mağusa surlar içinde yer alan yapı Latin kilisesi olarak kullanılırken 14. yüzyıl ortalarında Osmanlılar tarafından camiye dönüştürülmüştür. Yapısal sorunları nedeniyle sonraları ahır, tahıl deposu ve kütüphane olarak hizmet vermiştir. Bir süre boş kalan cami, 2009 yılında USAID'in finansal desteğiyle restore edilerek kültürel amaçlı kullanılmak üzere Gazimağusa Belediyesi'ne devredilmiştir. Yapıldığı dönemin Gotik kiliselerine göre ham ve ağır görümlü yapının biri batıda diğeri kuzeyde iki girişi vardır. Kuzey girişinin 1940 yılında pencereden kapıya dönüştürüldüğü bilinmektedir [39]. Cami olarak kullanıldığı için iç mekanda fresk ve süsleme bulunmamaktadır. Ancak son restorasyon çalışmaları sırasında Osmanlı döneminde eklenen mihrabın arkasında kalmış fresk izleri bulunmuş ve 2011 yılında restore edilmiştir.



Şekil 3. St. Peter ve St. Paul Kilisesi/Sinan Paşa Cami-Gazimağusa

İkinci örnek 14. yüzyılda kadınlar manastırının parçası olan ve Lüzinyanlar tarafından yaptırılmış Lefkoşa'daki St. Catherine kilisesidir (Şekil 4). Gotik dönemi yansıtan taş oyma süsleme ve tasvirler ile Lefkoşa'daki ikinci büyük kilisedir. Osmanlılar Ağalar Camisi olarak adlandırdıkları bu yapıyı dönüştürürken bazı öğeler eklemiştir. Bu değişim sırasında iç mekandaki özgün taş işçiliği detayları alçı ile tamamen kapatılmıştır. Ayrıca tasvirli vitray camlar delikli alçı panellerle değiştirilmiştir. Yeterli ışık elde etmek için zemin seviyesinde duvar boyunca büyük kare pencere açıklıkları oluşturulmuştur. Kıbrıs Vakıflar İdaresi

tarafından restore edilmeye başlandıktan sonra, 1950'li yıllarda yapı evlilik ve kayıt ofisi olarak kullanılmıştır. 1986 ve 1991 yılları arasında tekrar restore edilmiş ve Haydar Paşa Camii olarak yeniden adlandırılmıştır. Günümüzde sanat galerisi ve müze olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4. St. Catherine Kilisesi/Haydarpaşa Camii-Lefkoşa

2.3.2. 1974 Sonrası Süreç

1974 yılında adanın bölünmesinden sonra 50 tanesi halen kullanımda, 20 tanesi terk edilmiş 70 adet kilise camiye dönüştürülmüştür (Kıbrıs Vakıflar İdaresi'nden alınan bilgilere dayanarak). Bu bölümde camiye dönüştürülen ve hala cami olarak kullanılan ve camiye dönüştürülüp kullanılmalarına rağmen günümüzde işlevsiz olan kiliselerden ikişer örnek sunulmuştur.

2.3.2.1. 1974'den Sonra Camiye Dönüştürülen ve Günümüzde Cami Olarak Kullanılan Kiliseler

Bugün halen cami olarak kullanılan ve 1974 yılı sonrasında dönüştürülmüş kiliselerden biri Değirmenlik'de bulunan Panayia Chardakiotissa Kilisesi'dir. Günümüzde Başpınar Camii olarak bilinmektedir. 1831 nüfus sayımlarına göre köy ağırlıklı olarak Hristiyan Rumlara ev sahipliği

yapmıştır. Günümüzde ise ağırlıklı olarak çoğu Trabzon'dan getirilmiş Türk göçmenler ve adanın güneyinde yer alan Larnaka bölgesinden göç etmek zorunda kalmış Kıbrıs Türkleri yaşamaktadır. 1902 yılında inşa edilmiş köydeki en büyük kilise olan yapı 1975 yılında camiye dönüştürülen ilk kilisedir. Gunnis'e göre [38], kilisenin galerisinde 17. yüzyıla tarihlenebilecek simgeler bulunmaktaydı, ancak günümüzde yapının iç mekanında orijinal tasvirlerden, duvar resimlerinden veya süslemelerinden hiçbir iz rastlanmamaktadır. İç mekanda duvarlar beyaz badana yapılmış, taş zemin halı ile kaplanmış, güney duvara mihrap eklenmiştir. Ahşap minber ise daha sonra yapılan bir eklemedir (Şekil 5). Kilisenin dışında ise çan kulesinin üzerine eklenen küçük ölçekli minare haricinde pek bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 5. Panayia Chardakiotissa Kilisesi/Başpınar Camii iç mekân-Değirmenlik

Diğer bir örnek ise Akdoğan/Lysi'deki Panayia Theotokos Kilisesi'dir. 1831 yılına ait Osmanlı nüfus sayımına göre köyde sadece Rumlar yaşamaktaydı. 1974 yılı sonrasında köye güneyden göç eden Türkler yerleşmiş ve köy merkezinde bulunan kiliseyi camiye dönüştürmüşlerdir. Bugün hala cami olarak kullanılan yapı 19. yüzyılda yapılmış olmasına rağmen tamamen gotik mimari etkisiyle tasarlanarak inşa edilmiştir. Köy halkı yapının mimari niteliklerine duyulan hayranlık nedeniyle dış kütlede değişiklik yapılmadığını sadece çanın çıkarıldığını belirtmişlerdir. Ezan için

yerleştirilen hoparlörler ise yapıya zarar vermeyecek şekilde merkez kubbenin önüne yerleştirilen metal dikme üzerindedir.

2.3.2.2. 1974'den Sonra Camiye Dönüştürülen ve Günümüzde Terkedilen Kiliseler

1974 yılından sonra camiye dönüştürülen 70 kiliseden 20 tanesi 1991 den bu yana yapılmakta olan yeni camiler nedeniyle cemaatini kaybetmiş ve terkedilmiştir. Bu çalışmada sunulan ilk örnek yapı Mormenekşe'de bulunan Agios Nikolaos Kilisesi'dir (Şekil 6). 1831 nüfus sayımına göre köyde yaşayanların tümü Rumlardan oluşmaktaydı. İngiliz Hükümeti döneminde nüfus durumu değişmemesine rağmen, 1974'de köyde yaşayanların yerine Larnaka bölgesinden göç eden Kıbrıs Türkleri yerleştirilmişlerdir. Daha sonraları, 1976 ve 1977 yıllarında, çoğunlukla Adana'dan gelen Türk nüfus da köye yerleşmiştir. Mormenekşe Köyü kilisesinin geçmişi, kuzey cephede yer alan giriş kapısı üzerindeki kitabesine göre 1863 yılına dayanır. Kiliseyi özel kılan bir karakteristiği doğu duvarındaki İsa kabartmalarıdır. Bu kabartmalar camiye dönüşüm sürecinde yok edilmemiştir. Kilise Kıbrıs Türklerinin gelmesiyle 1975 yılında camiye dönüştürülmüş ve 2010 yılına kadar kullanılmıştır. Günümüzde ise köye yapılan yeni cami Müslüman Türk toplumunun ibadet ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 6. Agios Nikolaos Kilisesi/Mormenekşe Köyü Cami

Bir diğer örnek ise Karpaz/Karpas yarımadasında bulunan Pamuklu/Tavrou'daki Agios Sergios kilisesidir (Şekil 7). Bu köyde de 1974 yılı öncesinde sadece Rumlar yaşamaktaydı. 1974 yılı sonrasında ise Pamuklu Köyü Giresun, Ordu ve Yozgat'tan göç eden Türklere ev sahipliği yapmıştır. Köyde bulunan Agios Sergios Kilisesi silindirik bir kasnak üzerine yerleştirilmiş kubbe ile örtülü geniş kütleliyle 19. yüzyılın tipik bir örneğidir. Ayrıca kilisenin batı cephesinin her iki yanında çan kuleleri vardır. 1974 sonrasında camiye dönüştürülmüş, ancak 2010 yılında hemen yanına yeni cami yapıldığı için terkedilmiştir.



Şekil 7. Agios Sergios Kilisesi/Pamuklu Köyü Eski Cami

3. ADANA

Adana eski çağlardan beri pek çok uygarlığa ev sahipliği yapmış, özellikle antik dönemde içinde bulunduğu Kilikya bölgesi ve yakınındaki Antakya/Antioch Hıristiyanlığın Anadolu'da ilk yayıldığı yerlerden biri olmuştur. Bugün hala Adana'nın komşu kentleri Antakya ve Mersin-Tarsus Hıristiyanlar için kutsal alanları barındırmaktadır. Adana'da kiliseden camiye dönüştürülen yapılar üç alt başlıkta incelenmiştir. Öncelikle Adana'nın kısaca tarihi hakkında bilgi verilmiş, daha sonra Adana'daki dini kültür varlıkları değerlendirilmiştir. Üçüncü alt başlıkta ise kiliseden camiye dönüştürülme süreci Adana kent merkezi ve il sınırları içinde yer alan yapılar ele alınarak açıklanmıştır.

3.1. Adana'nın Kısa Tarihi

Çukurova bölgesinin eski yerleşimlerinden biri olan Adana'nın tarihi merkezindeki Tepebağ höyüğünde yapılan çalışmalara dayanarak kentin geçmişini MÖ 6000'lere yani Neolitik Çağa dayandırmak mümkündür. MÖ 1191-1189 yıllarında Hitit hükümdarlığının çökmesi ile başlayan süreçte batıdan gelen saldırılar nedeniyle bölgeyi küçük krallıklar kontrol altında tutmuştur [40]. Pompey dönemi sırasında kent Kilikya korsanları için hapisane olarak kullanılmış ve bundan sonraki birkaç yüzyılda doğuya giden Roma ordusunun güzergahında önemli bir istasyon olmuştur. Roma İmparatorluğu'nun 395 yılında kalıcı olarak bölünmesini takiben kent Bizans İmparatorluğu'nun bir parçası olmuştur [40].

Ortaçağda Adana'da farklı uygarlıklar hüküm sürmüştür. Bunlar sırasıyla; 7.yy'ın ortalarında Araplar, 964'de Bizanslar, 1071'den sonra Selçuk Türkleri, 1097'de ilk Haçlılar, 1132'de Kilikya Ermeni Krallığı, 1137'de Bizans güçleri, 1170 civarında da Ermenilerdir [41]. 1268 yılında bu bölgede birçok şehrin yıkımına neden olan ciddi bir deprem olduğu bilinmektedir. Adana deprem sonrası yeniden inşa edilmiş ve 1359 yılına kadar Kilikya Ermeni krallığının parçası olarak kalmıştır [41]. Bu tarihten sonra kent Mısır Memluklerinin eline geçmiş ve birçok Türk ailesinin bu bölgeye yerleşmesine olanak sağlamıştır. Rönesans dönemi sonundan yeniçağa kadar (1571-1918), Adana ve çevresi Osmanlı İmparatorluğu hakimiyetindedir. I. Dünya Savaşı sonrası 20 Ekim 1921 tarihinde Fransa ile Ankara Antlaşması imzalanmıştır. Antlaşmanın koşulları temel alınarak, Fransa Kilikya savaşının son bulduğunu kabul etmiş ve Fransız birlikleri kalan Ermeni birlikleri ile 5 Ocak 1922'de geri çekilmiştir.

3.2. Adana'da Dini Mirasın Oluşumu

Adana'nın dini mirası temel olarak Kilikya bölgesinde egemen olmuş farklı uygarlıkların inşa ettiği erken dönem Hristiyan mabetleri, camiler ve 18-19 yüzyıllara ait kiliselerden oluşmaktadır. Kutsal topraklara yakınlığından dolayı Anadolu'nun özellikle güney doğu kesimi pek çok Hristiyan Aziz'in (örneğin; Paul of Tarsus,

Nicholas of Myra, Polycarp of Smyrna vb.) doğum yeri olarak önem taşımaktadır [42]. Bölgeyi önemli kılan bir diğer konu ise Hristiyanlığın baş merkezinden ikisinin Türkiye'de olmasıdır; Constantinople (İstanbul) ve Antioch (Antakya). Antakya, Saint Peter'in kendi yaptığı ilk ve bugün de var olan en eski kiliselerden birine sahip olmanın yanı sıra tarihte İsa'ya inananların ilk kez "Hristiyan/Christians" olarak adlandırıldığı yerdir [42]. Ayrıca, Doğu ve Batı kiliselerinin her ikisi tarafından da tanınan 7 Ekümenik Konseyin ilki Anadolu'da düzenlenmiştir [43]. 325'de İznik Konseyi ile ilan edilen İznik ya da İnanç Akdi günümüz Hristiyanlığının gerekli tanımlamalarını bildirmesi nedeniyle son derece önemli sayılmaktadır [44]. Farklı mezheplere bakıldığında Türkiye'de Bizans, Ermeni, Suriye, Latin ve Anglikan kilisesi mevcuttur.

Adana vilayeti ele alındığında ise Osmanlı döneminde Müslümanların çoğunlukta olduğu, ancak Hristiyan ve az sayıda Yahudi toplumunda yaşadığı görülmektedir [45]. Müslümanlardan sonra en kalabalık nüfusu Hristiyanlar oluşturmakta, dolayısıyla kentte farklı mezheplere ait kiliseler bulunmaktadır. Osmanlı döneminin hemen öncesinde St. Jacques kilisesi camiye dönüştürülmüştür. Bugün Yağ Cami olarak bilinen yapı o dönemde Eski cami olarak anılmaktaydı. Osmanlı döneminde, Adana şehir merkezinde yer alan 8 kilisenin ikisi Ermeni, biri Ermeni Katolik, biri Rum, biri Latin, biri Suriyeli Katolik, biri Suriyeli Yakubi ve biri de Keldani Katoliklere, tapınak ise Protestanlara aittir [45,46]. 1905 yılına ait Osmanlı Şark Yıllıklarında tapınak ve kiliselerden sorumlu kişilerin isimleri verilmiştir [45,46]. Kaynağa göre iki Ermeni kilisesinden Sahak Babayan, Ermeni Katolik kilisesinden Terziyan, Keldani kilisesinden Pere Stephan, Latin kilisesinden R. P. Jouve, Suriye Katolik kilisesinden Phillippos, Suriye Yakubi kilisesinden P. Betres ve Protestan tapınağından ise B. Chambres sorumlu idi [46].

Yukarıda sözü edilen 8 kiliseden günümüze kadar gelenler, etnografya müzesi olarak kullanılan Rum Kilisesi ve faaliyetini sürdüren Bebekli Kilisedir. Bu kilise, 1881 yılında St. Paul adına yaptırılmış olan İtalyan Katolik Kilisesidir [47]. Diğer

kiliseler ise, I. Dünya Savaşı sırasında tahrip olmuş veya kullanıcısı olan topluluklar göç etmiştir. Göçle birlikte kiliselerin bir kısmı işlevsiz kalmıştır. Örneğin, 1915 yılında Osmanlı içişleri bakanı Mehmed Talat Anadolu'nun doğusunda (Osmanlı yönetimi altında) ve savaş bölgesi yakınında yaşayan bütün Ermenilerin Suriye ve Musul'a gönderileceğini ilan etmiştir [48]. Bu kararı takiben taşınabilir malların satışı ve tüm mal ve mülklerin yönetimi için tasfiye komisyonları kurulmuştur. Kilise ve manastırlar gibi kutsal yerler kamulaştırma, dönüştürme uygulamalarının dışında tutulmuştur [48]. Dini yapıların ve kiliselerde bulunan mevcut eşya, resim ve kutsal kitapların kaydedileceği ve korunabileceği bildirilmiştir. 1915 yılı Kasım ayında yapılan yeni bir düzenleme ile tavsiye işlemleri tamamlanan okul ve manastırlardan gelen malzeme ve belgelerin kullanımı Milli Eğitim Bakanlığına devredilmiş; yapıların mülkiyeti ise devletin uhdesine verilmiştir [49]. Savaş sırasında tahrip olan veya kullanıcıları olmadığı için işlevsiz kalan kiliselerin yerine imar faaliyetleri sırasında yeni yapılar inşa edilmiştir.

3.3. Adana'da Kiliselerin Camiye Dönüştürülme Süreci

Adana kent merkezi ve il sınırları içinde yapılan saha çalışmalarında kent merkezinde 1 ve dışında 1 adet olmak üzere iki camiye dönüştürülmüş kiliseye rastlanmıştır. Bu yapılara ait bulgular aşağıda sunulmaktadır.

3.3.1. Kent Merkezi

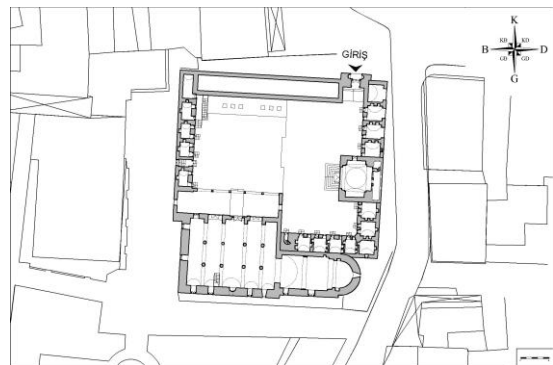
Adana tarihi kent merkezinde camiye dönüştürülmüş tek kilise bugün Yağ Cami olarak bilinen St. Jacques Kilisesi'dir (Şekil 8). Evliya Çelebi, Seyahatnamesinde yapıdan Eski Cami adıyla söz etmektedir. Ramazanoğlu Halil Bey tarafından 1501 yılında kiliseden camiye çevrildiği, daha sonra yapının avlusu etrafında yer alan son cemaat yeri, taç kapısı ve medresesinin oğlu Piri Paşa tarafından yaptırıldığı bilinmektedir [50]. Caminin kuzeybatı köşesinde yer alan minaresi 1525 yılında yaptırılmış ve 1941 yılında yenilenmiştir [50].



Şekil 8. Yağ Cami/St. Jacques Kilisesi

Bugünkü haliyle yapı 1000 m² nin üzerinde geniş bir parsel üzerinde 375 m² si kapalı alandan oluşmaktadır. Kuzey yönde büyük bir avlu ve bu avlu içerisinde medrese yer alır (Şekil 9). Yağ Camii Külliyesi'ni oluşturan yapılar mimari kompozisyonları, yapım teknikleri ve büyüklükleri açısından farklıdır. Bu farklı kütleler arasında doğu yöndeki dairesel apsis uzantısıyla daha önce kilise olan kısım fark edilmektedir. Bu bölüm minarenin hemen arkasındadır.

Camiye dönüştürülürken kilisenin ana giriş kapısı genişletilerek batı yönde ulu cami plan tipinde bir ek inşa edilmiştir. Kilisenin iç mekânı ve ek yapı birleşerek caminin harim kısmını oluşturur. Özgün yapının kütesine oranla oldukça büyük inşa edilmiş ekler nedeniyle bugün kilise yapısını algılamak pek mümkün değildir; ancak doğudaki apsis bölümü dışardan görülebilmektedir.



Şekil 9. Yağ Cami planı ve yakın çevresi

3.3.2. İl Sınırı İçi

Adana il sınırları içinde Kozan İlçesi Kıbrıslar Köyü'nde kiliseden camiye dönüştürülmüş bir yapı bulunmaktadır. Kıbrıslar Köyü Cami hakkında yazılı bilgiye ulaşılmamıştır. Mimari niteliklerine dayanarak kilisenin Bizans dönemine ait olduğunu ve zaman içinde değişikliklere uğradığını söylemek mümkündür. Bugünkü haliyle özgün kilise yapısının kuzey duvarına bitişik tek katlı betonarme ek yapılmak suretiyle kullanım alanı genişletilmiş, güney duvarın bir kısmına bitişik olarak da imam için konut inşa edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Kıbrıslar Köyü Cami doğu yönde giriş cephesi

Yapı dış kütlesi bakımından kilise tipolojisine uygun izlenim vermemekle birlikte bu durumun zaman içinde yapılan değişikliklerden kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 11). Yapı eğimli bir arazi üzerinde konumlanmakta ve bugün üst kottan giriş almaktadır. Ancak, alt kotta yapının önceki dönemlerine ait izler barındıran güney yönde bir giriş daha mevcuttur. Tonozlu bir mekânla geçilen alt kotta yapının önceki dönemde de cami olarak kullanıldığını gösteren güney duvarda mihrap nişi bulunmaktadır. Bu niş yukarıda bugün kullanılan mekânda yer alan mihrap nişi ile aynı aks üzerindedir. Yapı bugün tespit edemediğimiz ancak detaylı araştırma ve belgeleme çalışmaları sonucu anlaşılabilirken nedenlerle kısmen yıkılmış ve ahşap döşeme dikmelerle üst kotta taşınmıştır (Şekil 12).



Şekil 11. Kıbrıslar Köyü Cami batı cephe



Şekil 12. Kıbrıslar Köyü Cami alt kot iç mekân

4. DEĞERLENDİRME

Yukarıda incelenen örnekler kilise yapılarının cami olarak kullanılmak üzere dönüştürülmesi sürecinin, tarihsel dönem ve kültür ile ilişkisini anlaşılmasına olanak sağlamıştır. İncelenen alanlardan Kıbrıs'ta 50, Adana'da ise 2 kilisenin camiye çevrildiği görülmektedir. Adana örneğinde kiliseden camiye çevrilen yapı sayısının az olmasının bir nedeni geç dönem kiliselerinin çoğunun yıkılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizin diğer illerinde bu tür uygulamalar daha çok Osmanlı döneminde yapılmış, Cumhuriyet kurulduktan sonra gündeme gelen mübadele

sonucunda boşta kalan kiliselerin bir kısmı yıkılmış, bir kısmı ise cami olarak veya kültürel amaçlı yeniden işlevlendirilmiştir. Bu örneklerin çoğu İstanbul'da yer almaktadır.

Adana'daki iki yapıdan Kıbrıslar Köyü Cami, bulunduğu coğrafi konumun zorluklarından dolayı yeni yapı inşa etmek yerine mevcutta kullanılmayan, atıl bir kilisenin camiye dönüştürülmesiyle günümüze ulaşmıştır. Bugün yapıyı kullanan köy nüfusu az sayıda olsa da bakımı yapılmaktadır. Yağ Cami ise kent merkezindeki konumu nedeniyle atıl bırakılmak yerine dönüştürülmüş bir yapıdır. I. Dünya savaşı sırasında Adana'da yaşanan Hristiyan toplumun bir bölümü göç etmiş ve kiliseler atıl kalmıştır. Süreç içinde tahrip olan altı kilise imar faaliyetleri sırasında yok olmuştur. Az sayıda Latin kökenli kiliselerden biri hala kilise diğeri ise müze olarak kullanılmaktadır.

Kıbrıs'ta ise çoğunlukla 1974 sonrasında kiliseler camiye dönüştürülmüştür. Osmanlı dönemine ait örnekler sayıca azdır. Bu durum, 1974 yılı sonrası yaşanan belirsizlik sürecinin uzamasından kaynaklanmaktadır. Ada ikiye bölündükten sonra tekrar birleşme olasılığı sürekli gündemde kalmış ve iki toplumda daha önce yaşadıkları köylere dönebilme ihtimaline dayanarak geride kalan mülklerinin geleceği hakkında karşılıklı empati kurmuştur. Saha çalışması sırasında görüşülen yerel halktan kişiler bu kaygı nedeniyle yerleştirdikleri köylerdeki Rumlara ait yapılara zarar vermediklerini ve korunmaları için kullanımın gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, zorunlu göçün hemen sonrasında bazı kiliselerin ahır olarak kullanıldığı, daha sonra çıkarılan bir yasa ile bu tür kullanımların yasaklandığı bilinmektedir. Kiliselerin camiye dönüştürülmesinde önemli bir etken de adada Osmanlı döneminde bu uygulamanın yapılmış olmasıdır. Osmanlılar genellikle fethettikleri yerlerdeki en önemli ve en büyük kiliseyi seçerek camiye dönüştürmüştür. Kıbrıs Lefkoşa'daki St. Sophia ve Mağusa'daki St. Nicholas Katedralleri bu durumu kanıtlamaktadır. Güç simgesi olarak sultanın adı "Selim" başkentteki en görkemli katedrale verilmiş ve 1571 yılından günümüze St. Sophia Katedrali Selimiye Cami olarak

adlandırılmıştır. Benzer şekilde Mağusa'daki en görkemli ve Kıbrıs'taki ikinci önemli katedrale de Mağusa surlarını fethetmek için bir yıldan fazla savaştan komutanın adı "Lala Mustafa Paşa" verilmiştir. Bu iki önemli örneğin dışında Osmanlılar köylerde çok az sayıda kiliseyi dönüştürmüş yerine yeni cami yapmayı desteklemişlerdir. Bu dönemde Kıbrıs'ta yapılan camiler Anadolu'da inşa edilenlerle kıyasla mütevazı örneklerdir. Bu bilgiler ışığında, Osmanlıların kiliseleri dönüştürme sürecine yaklaşımlarında, ibadethanelerin birer kimlik simgesi olarak kabul edildiği ve dolayısıyla yıkmak yerine dönüştürerek kültürel fetih yapıldığı sonucuna varmak mümkündür.

Dönüştürülme sürecinde yapılan fiziksel değişiklikler açısından Kuzey Kıbrıs'taki uygulamalar Adana'daki örneklerle benzerlik göstermekle birlikte, Adana'daki kiliselere dışarıdan yapılan eklerin özgün yapıların kütleli olarak algılanmasının önüne geçtiği söylenebilir. Bunun dışında yapılan müdahaleler benzer şekildedir: Yapı bütün Hristiyan semboller, duvar resimleri, tasvirler, haçlar ve özellikle ibadet edilen alan içindeki hayvan veya insan figürleri, Hristiyanlık dinine ait sembollerden arındırılmıştır. Taşınabilir öğeler kaldırılmış ve tasvirli duvarlar genellikle sıva ve boyayla kapatılmıştır. Mihrap kibleye yönelimi gösterdiği için gereklidir. İbadet yerde yapıldığı için caminin zemini dönüşüm sırasında genellikle halı ile kaplanmıştır. Yapının dışındaki önemli fiziksel düzenleme minarenin eklenmesidir. Bazı örneklerde çan kulelerinden biri minareye dönüştürülmüş ve bazılarında ise yeni kuleler yapılmıştır. Ancak günümüzde kayıttan ezan okunduğu için bazı örneklerde minareler oldukça küçük yapılmış ve üzerine hoparlör eklenmiştir. Kuzey Kıbrıs'taki bazı örneklerde dış kütlede Hristiyanlık sembollerinin kaldırılmadığı gözlenmiştir. Bu durum, güneyden gelen Türk toplumun bir gün kendi köylerine geri dönecekleri ve kuzeydeki köylerde geçici olarak buldukları için yapılar üzerinde büyük çaplı değişiklikler yapmaktan kaçınmalarıyla ifade edilebilir. Örneğin, 1974 yılında camiye dönüştürülen ve o zamandan beri kullanılan Tuzla Cami'nin (Şekil 13) çanı bir gün tekrar işlevini görme olasılığı nedeniyle kaldırılmamıştır.



Şekil 13. Tuzla Cami

Kuzey Kıbrıs'ta 1991 den beri, özellikle de kiliselerin camiye dönüştürüldüğü köylerde, yeni camilerin yapımında artış olmuş ve cami olarak kullanılan 20 kilise binası terkedilmiştir. Rum toplumu tarafından ne kadar eleştirilse de, yapılan çalışma kiliselerin atıl bırakılmak yerine zarar vermeyecek kullanımlara uygun biçimde dönüştürülmelerinin korunmalarında önemli rol oynadığını göstermektedir.

5. SONUÇ

Mimari yapılar belirli işlevlere hizmet etmek üzere inşa edilmelerine rağmen, zaman içerisinde değişen şartlar nedeniyle dönüştürülerek farklı işlevler için kullanılmaları gerekli görülebilmektedir. Bugün, pek çok kent merkezinde fabrika yapıları sanayi alanlarının merkez dışına taşınması nedeniyle atıl kalmış ve yeni işlevlere uygun şekilde düzenlenerek tekrar kullanıma açılmışlardır. Bu tür dönüşüm uygulamaları, mimari korumada dini yapılar özelinde farklı ele alınmaktadır. Dini yapıların yeniden kullanımı konusu yapının arz ettiği dini, sembolik ve sosyal değerlerinden ötürü, fiziksel adaptasyonun dışında yapının somut olmayan değerlerinin de detaylı analizini gerektirmektedir. Dini yapılar ait oldukları toplumların sembeleri olmaları nedeniyle buldukları coğrafyayı fetheden ve farklı inanç mensubu toplumlarca çeşitli şekillerde korunmuş ya da yok edilmiştir. Osmanlı İmparatorluğu gibi çok uluslu medeniyetlerde fethedilen yerlerdeki en görkemli

birkaç kilise güç simgesi olarak camiye dönüştürülmüş, diğerleri var olan Hıristiyan cemaatin kullanımına bırakılmıştır. Kıbrıs'taki Selimiye ve Lala Mustafa Paşa Camileri bu uygulamanın önemli örnekleridir. Diğer yandan, beraber yaşayan, ancak farklı dini inançlara sahip toplumlarda çıkan çatışma ve savaşlarda dini yapılar düşman olarak görülen diğer toplumu simgelediği için, anlaşmazlığın doğasına da bağlı olarak, çoğunlukla yok edilmiştir. Adana'da 16 yüzyılda kiliseler camiye çevrilme yoluyla kullanılırken, 20 yüzyılda durum farklılık göstermektedir. Bu dönemde anlaşmazlık yaşanan toplumu simgeleyen kilise yapıları yıkılmıştır. Kıbrıs'ta yaşanan çatışma ve sonrasındaki bölünmenin doğası ise farklılıklar arz etmektedir. 1974 yılı sonrası yaşanan belirsizlik durumu ve kaynakların kısıtlı olması nedeniyle mevcuttaki yapılar kullanılma yoluna gidilmiştir. Ayrıca, adada kiliselerin camiye dönüştürülmesini örnekleyecek Osmanlı dönemi uygulamaların mevcudiyeti de halkın bu durumu kabul edilebilir olarak algılamasına yol açmıştır. Kiliseleri camiye dönüştürme sürecinde yapılan fiziksel müdahalelere bakıldığında Adana'daki örneklerde yapıların kütleli olarak algılanmasının önüne geçildiği görülmektedir. Kuzey Kıbrıs'taki örneklerde ise kiliseler mimarileriyle dışarıdan algılanabilmektedir. Hatta bazı örneklerde Hıristiyanlık simgesi mimari elemanlar kaldırılmamıştır. Bu durum, Kıbrıs'taki iki toplumun, ayrı sınırlar içinde yaşasalar da, tekrar birleşme olasılığı nedeniyle varlıklarını kabul etmelerinin bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Adanın güney kesiminde kalan camiler Rumlar tarafından kullanılmamıştır. Ancak, yapıların kullanılmaması bir yandan da koruma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Kuzey Kıbrıs'ta incelenen camiye dönüştürülmüş kiliseler kullanıldıkları için bakımları yapılmış ve yapısal bozulmaya uğramadan günümüze gelmişlerdir. Son dönemlerde yapılan yeni camiler, dönüştürülmüş çok sayıda kilisenin boş kalmasına neden olmuştur. Kuzeyde yer alan kiliselerin toplamda sayılarının beş yüz kadar olduğu düşünüldüğünde, bu yapıların korunmaları kültürel mirasın sürdürülebilirliği açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. 2003 yılı sonrası yapılan iki taraflı görüşmeler sonucunda kurulan İki Taraflı Kültürel

Miras Komitesi ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Fonu Kıbrıs Ofisi'nin de teknik ve finansal desteğiyle kuzeyde ve güneyde kalan dini yapıların restorasyonu yürütülmektedir. Yapıların bütüncül korunmaları için bu tür siyasi anlaşmazlık olan bölgelerde tarafsız uluslararası kuruluşlar önemli rol oynamaktadır. Adana örneğinde ise kiliseler bölgenin çok kültürlü geçmişini yansıtan önemli bir mimari miras öğeleridir. İlçelerde yer alan kısmen yıkılmış kiliselerin mevcut durumlarının belgelenecek, öncelik sırasıyla korunmaları için yapılacak girişimler bu varlıkların gelecek kuşaklara aktarılmasına yardımcı olacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi BAP Birimi tarafından GSTM 2014-1 proje koduyla desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Addis, B., 2007. *Building: 3.000 Years of Design, Engineering, and Construction*, Phadion Press, London.
2. Kostof, S., 1995. *A History of Architecture: Settings and Rituals*, Oxford University Press, Oxford.
3. Douglas, J., 2006. *Building Adaptation*, Routledge, London.
4. Harris, J.A., 1997. Mosque to Church Conversions in the Spanish Re-conquest, *Medieval Encounters* 3 (2) 158-172.
5. Walls, A.F., 1996. *The Missionary Movement in Christian History: Studies in the Transmission of Faith*, Orbis Books, New York.
6. Khoury, N., 1996. The Meaning of the Great Mosque of Cordoba in the Tenth Century, *Muqarnas*, 13 (1) 80-98.
7. Mills, H. M., 1991. The pre-Islamic provenance of the mosque of Cordoba, *Al-Masaq: Journal of the Medieval Mediterranean*, 4 (1) 1-6.
8. Eyice, S., 1986. İstanbul'un Camiye Çevrilen Kiliseleri, *Taç*, 1 (2) 9-18.
9. Eyice, S., 1990. İstanbul'da Kiliseden Çevrilmiş Cami ve Mescidler ve Bunların Restorasyonu, *Vakıf Haftası Dergisi*, 7, 279-291.
10. Güney, Y.I., 2008. The Mosques in Ayvalık: Appropriating the Lost Post of Kynodie, *Traditional Dwellings and Settlements Working Paper Series*, (205) 43-64.
11. Yılmaz, E., Eroğlu, S., 2013. Edessa'dan Urfa'ya: Urfa'da Kilise'den Camiye Dönüştürülmüş Yapılar, *S.D.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi* 30, 1-12.
12. Hyland, A.D.C., 1999. Ethnic Dimensions to World Heritage: Conservation of the Architectural Heritage of the Turkish Republic of Northern Cyprus, *Journal of Architectural Conservation* 5 (1) 59-74.
13. Herscher, A., 2000. *Monument and Crime: The Destruction of Historic Architecture in Kosovo*, Grey Room, 1, 108-122.
14. Kinley, J.C., 2004. *Convert! Adaptive reuse of churches*. Master Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
15. Bevan, R., 2006. *The Destruction of Memory-Architecture at War*. London: Reaktion Books.
16. Velthuis, K., Spennemann, D.H.R., 2007. The Future of Defunct Religious Buildings: Dutch Approaches to Their Adaptive Re-use. *Cultural Trends*, 16 (1), 43-66.
17. Ross, M.H., 2007. *Cultural Contestation in Ethnic Conflicts*. Cambridge: Cambridge University Press.
18. Constantinou, C.M., 2007. Aporias of Identity: Bicomunalism, Hybridity and the Cyprus Problem. *Cooperation and Conflict*, 42 (3) 247-270.
19. Herscher, A., 2008. *Warchitectural Theory*. *Journal of Architectural Education*, 61 (3), 35-43.
20. Chotzakoglou, C.G., 2008. *Religious Monuments in Turkish Occupied Cyprus: Evidence and Acts of Continuous Destruction*. Lefkoşa: Kykkos Monastery.
21. Lueg, R., 2011. *Houses of God or Not?! Approaches to the Adaptive Reuse of Churches in Germany and the United States*. Unpublished Master Thesis. University of Maryland.
22. Arbel, B., 2000. *Cyprus, the Franks and Venice, 13th-16th centuries*, Tel Aviv University Press, Tel Aviv.

23. Hill, G., 1948. A history of Cyprus, Volume II: The Frankish Period, 1192-1432, Cambridge University Press, Cambridge.
24. Given, M., 2000. Agriculture, Settlement and Landscape in Ottoman Cyprus, *Levant*, 32 (22) 209-230.
25. Oberling, P., 1989. The Cyprus Tragedy. K. Rüstem and Brother, Lefkoşa.
26. İsmail, S., 1989. 1974 Öncesi -1974 Sonrası, Kastaş A.Ş. Yayınları, İstanbul.
27. Jeffery, G., 1918. A Description of the Historic Monuments of Cyprus, Government Printing Office, Lefkoşa.
28. Enlart, C., 1987. Gothic Art and the Renaissance in Cyprus, Trigraph, London.
29. Goodwin, J.C., 1978. A Historical Toponymy of Cyprus, Jack C. Goodwin, Lefkoşa.
30. Edbury, P.W., 1991. The Kingdom of Cyprus and the Crusades, 1191-1374, Cambridge University Press, Cambridge.
31. Jennings, R.J., 1993. Christians and Muslims in Ottoman Cyprus and the Mediterranean World, 1571-1640, New York University Press, New York.
32. Benedict, E., 1995. Studies on the History of the Church of Cyprus 4th–20th Centuries, Ashgate Publishing, Brookfield.
33. Saifi, Y., Yüceer, H., 2013. Maintaining the Absent Other: The Re-use of Religious Heritage Sites in Conflicts, *International Journal of Heritage Studies*, 19 (7) 749-763.
34. Grieboski, J.K., Porter, K.C., 2009. Written Testimony: Helsinki Commission Hearing on Cyprus' Religious Cultural Heritage in Peril, The Institute on Religion and Public Policy, Alexandria.
35. Yüceer, H., 2012. Protection of Abandoned Churches in Northern Cyprus: Challenges for Reuse, *Protecting Cultural Heritage in Times of Conflict*, eds. S. Lambert, C. Rockwell, ICCROM, Rome; 60-66.
36. Bağışkan, T., 2009. Ottoman, Islamic and Islamized Monuments in Cyprus. Cyprus Education Foundation, Nicosia.
37. Walsh, M.J.K., 2005. A Gothic Masterpiece in the Levant: Saint Nicholas Cathedral, Famagusta, North Cyprus, *Journal of Cultural Heritage* 6 (1) 1-6.
38. Gunnis, R., 1956. Historic Cyprus: A Guide to its Towns and Villages, Monasteries and Castles, Methuen, London.
39. Walsh, M.J.K., 2004. Saint Peter and Paul Church (Sinan Pasha Mosque), Famagusta: A Forgotten Gothic Moment in Northern Cyprus. *Inferno*, (9) 1-8.
40. Hallo, W.W., 1971. The Ancient Near East: A History. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
41. Edwards, R.W., 1987. The Fortifications of Armenian Cilicia: *Dumbarton Oaks Studies XXIII*. Washington, D.C., Dumbarton Oaks, Trustees for Harvard University.
42. Peacock, A.C.S., Nicola B., Yildiz, S. N., 2015. Islam and Christianity in Medieval Anatolia, Ashgate, London.
43. Harl, K.W., 2001. From Pagan to Christian in Cities of Roman Anatolia During the Fourth and Fifth Centuries, *Urban Centers and Rural Contexts in Late Antiquity*, Michigan.
44. Mitchell, S., 1993. Anatolia, Land, Men and Gods in Asia Minor II, *The Rise of the Church*, Oxford.
45. Çatal, A.C., 2016. II. Abdülhamid Döneminde Adana'nın Sosyo-Ekonomik Yapısı, *Yayınlanmamış Kitap*.
46. *Annuaire Oriental du Commerce*, 1905. Şark Ticaret Yıllıkları-1905. The Annuaire Oriental & Printing Company Limited, Londra.
47. Özmen, Y., Özerol, M.E., 2000. Adana'nın Simgeleri, Efsaneden Tarihe, Tarihten Bugüne Adana: Köprübaşı (Editörler: Erman Artun, M. Sabri Koz), İstanbul, Yapı Kredi Yayınları No: 1392, 156-167.
48. Polatel, M., 2009. Turkish State Formation and the Distribution of the Armenian Abandoned Properties from the Ottoman Empire to the Republic of Turkey (1915-1930), Unpublished Thesis, Koç Üniversitesi Graduate School of Social Sciences and Humanities, İstanbul.
49. Üngör, U.Ü., Polatel, M., 2011. Confiscation and Destruction: The Young Turk Seizure of Armenian Property, *Continuum International Publishing Group*, Londra.
50. Çam, N., 2010. Kültür Varlıkları Envanteri Adana-01, Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara.

Kriging Tekniği ile Nokta ve Alansal Kestirim: Tenör Dağılımlarının Haritalanması Örneği

Bayram Ali MERT¹, Ahmet DAĞ^{*2}, Ali Can ÖZDEMİR²

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Gözlemler arasındaki uzaklığa bağlı ilişki, varyansa dayalı olarak elde edilen variogram fonksiyonlarıyla değerlendirilebilmektedir. Mevcut ilişkilerin oluşturduğu ağırlıklardan hareketle kriging gibi çeşitli jeostatistiksel araçlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, farklı disiplinlerde çoğunlukla da bilgisayar programları tarafından gerçekleştirilen ordinary kriging kestirim tekniği ile noktasal ve alansal tahminlerin hesabı bilgisayar kullanılmadan adım adım ele alınarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında hipotetik olarak seçilmiş bir maden yatağına ait tenör verileri kullanılarak öncelikle örneklenmemiş bir noktanın ve alanın tahmini yapılmış, daha sonra maden yatağının tenör dağılımı tahmin edilmiş ve tüm tenör verileri kullanılarak haritalanmıştır. Temel kriging yaklaşımının kullanımı, özellikle saha çalışmalarına dayalı mühendislik ve fen bilimlerindeki modelleme çalışmalarında etkin bir araç olarak kullanımı artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeostatistik, Kriging, Variogram, Uzaysal analiz, Tenör Dağılımı

The Prediction of Point and Block Using Kriging Technique: A sample of Grade Distribution Mapping

Abstract

The semivariogram functions which are obtained as a result of the spatial dependency between samples and the kriging equations used for estimating unsampled point or area are used in many disciplines. Kriging is a complex procedure that requires greater knowledge about spatial statistics and the solutions of kriging equations are usually carried out with the help of computer programs. In this study, point and block estimations of the grade contents in a mineral deposit were made by taking step by step and without using a computer. In the scope of the study, firstly, unsampled point and block grade have estimated using grade samples of the mineral deposit which is hypothetically selected, and then the grade distribution of the mineral deposit have estimated and mapped using all the grade data. The use of the basic kriging approach will enhance its use as an effective tool, especially in modeling studies in engineering and science based on field studies.

Keywords: Geostatistics, Kriging, Variogram, Spatial analysis, Grade distribution

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet DAĞ, ahmdag@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

İlk olarak Krige [1] ve Matheron [2] tarafından maden yataklarının daha etkin değerlendirilebilmesi için geliştirilmiş olan, fakat şu anda yerbilimcilerden halk sağlığı uzmanlarına kadar birçok farklı disiplinde yaygın olarak kullanılan jeostatistik yöntemlerin temelinde Bölgesel Değişkenler Teorisi bulunmaktadır [3,4]. Bu teoride bölgesel değişken, bir noktadan bir başka noktaya süreklilik göstererek değişen olarak tarif edilmektedir. Bölgesel değişkenlerin tanımladığı noktalar arasındaki uzaklık ile bu noktalardaki gözlenen değerler arasındaki olası bir ilişki, normal olarak uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde beklenir. Başka bir deyişle bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir [5-7]. Jeostatistik bu türden bir yaklaşımdır ve klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak, uzaklığa ve yönlere bağlı değişimleri dikkate alır. Bu sayede yöntem maden yataklarının rezervlerinin tespitinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur [8]. Poligon, üçgen ve kesit gibi geometrik rezerv hesaplama yöntemleri, ilgili kestirim alanı içinde tenör değerlerin değişmediği, dolayısıyla tenör değerleri arasındaki farkın, h uzaklığı ne olursa olsun, sıfıra eşit olduğunu varsayar. Ancak bu gerçekçi bir yaklaşım değildir ve tenör değerleri arasındaki farkın gözlemler arasındaki uzaklık arttıkça artması, azaldıkça azalması beklenir. Jeostatistiğin yanında bu mantıkla hareket eden diğer bir yöntemde ters uzaklık yöntemidir. Ters uzaklık yöntemiyle yapılan bir tahminde tahmini yapılacak nokta ve buna referans olacak örnekler arası uzaklığın haricinde hiçbir etken mesela cevher zoununun zengin mi yoksa fakir mi olacağı veya yönlere göre tenörün nasıl değişime uğradığı göz önünde bulundurulmaz. Gerçekte uzaklığa bağlı ilişki aynı bir yatak içinde bile yönlere göre değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla bu şekilde yapılan tahminlerde aşağıdaki sorular ortaya çıkacaktır.

i) Hangi fonksiyonun $1/d$, $1/d^2$, $1/d^3$, e^{-x} mi ya da vb. kullanılacağı?

- ii) Tahmini yapılacak noktanın ne kadar uzaklığındaki noktaların göz önünde bulundurulacağı?
iii) Yapılan tahminin ne kadar güvenilir olduğu?
iv) Aynı tahmin metodunu bütün yatak tiplerinde eşit derecede doğru sonuçlar vereceğini ciddi bir şekilde bekleyebilir miyiz?

Tenör değerleri arasındaki farkların uzaklığa bağlı bir modelinin oluşturulmasında en gerçekçi yaklaşım, ilgili yatağın verilerini kullanan ve yatağın özelliklerini yansıtan bir yaklaşımdır. Jeostatistik bu türden bir yaklaşımdır ve tenör değerlerindeki farkların uzaklığa ve yönlere bağlı değişimlerini dikkate alır [9].

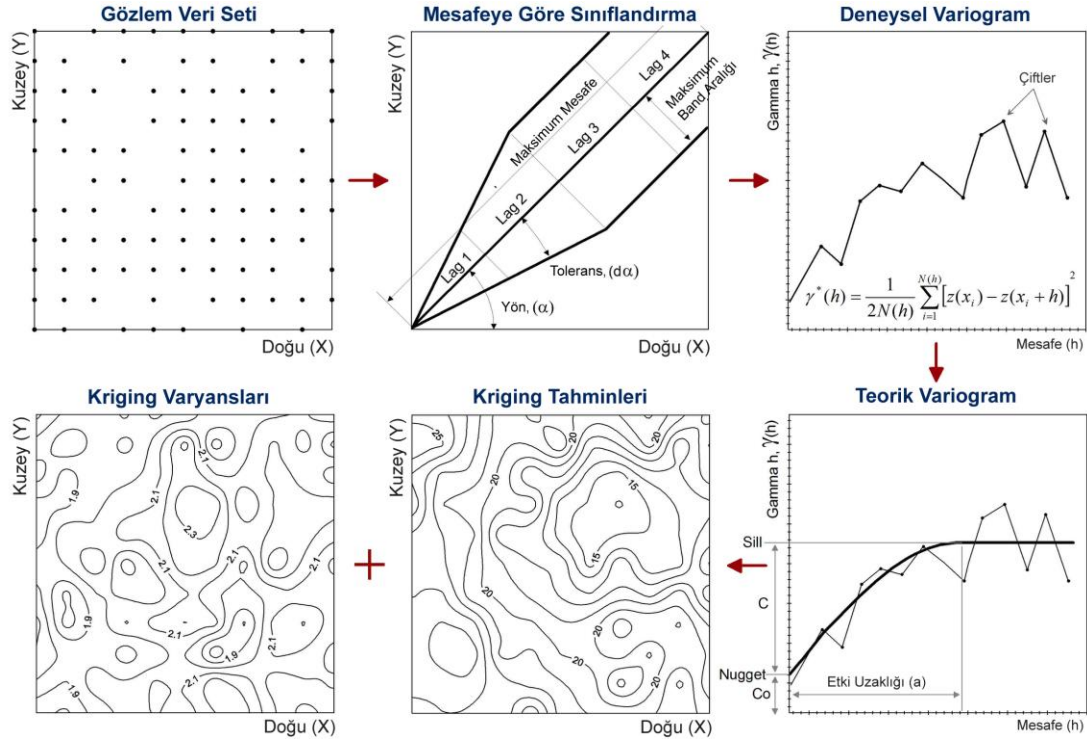
Jeostatistik yöntemlerle yapılan bir analizi dört ana gruba ayırabiliriz. Bu gruplar ise;

- I. Yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkların, uzaklığa bağlı değişimlerini belirlemeye yarayan yarıvariogram modellerinin tespit edilmesi,
- II. Yarıvariogram modellerinin test edilmesi,
- III. Kriging interpolasyon tekniği ile noktasal, alansal veya bir hacmi temsil eden kestirimlerin yapılması,
- IV. Yapılan kestirim hatalarının belirlenmesi (Şekil 1) şeklinde sayılabilir.

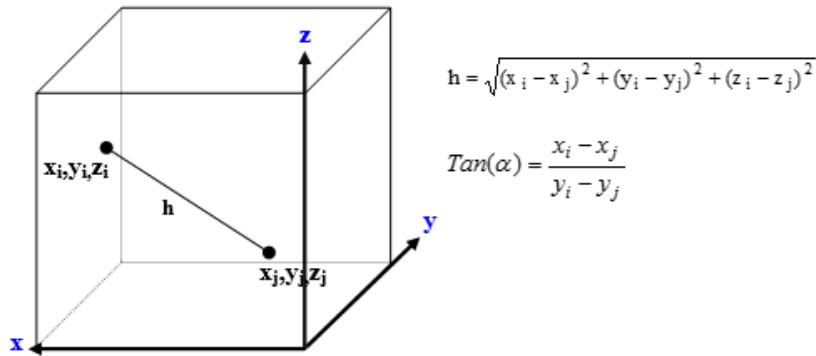
Jeostatistiksel bir çalışmada bu unsurların hepsinin sistematik olarak yapılması gerekir [10]. Jeostatistikte, bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonksiyonu tesadüfi değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve $2\gamma(h)$ ile gösterilir. Literatürde yarıvariogram olarak adlandırılan yarıvariogram fonksiyonu ise variogram fonksiyonunun yarısını ifade etmektedir ve $\gamma(h)$ ile gösterilir [11]. Yarıvariogram fonksiyonları yöresel değişkeninin ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin, bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenebilir. Yarıvariogram değerlerinin gözlemler arasındaki h uzaklığına bağlı olarak hesaplanabilmesi için N sayıdaki gözlemin $N(N-1)/2$ tane olan ikili

kombinezonları oluşturulur [3,12]. Oluşturulan gözlem çiftleri arasındaki h uzaklığı ve yön Şekil 2’de gösterildiği gibi koordinatlardan gidilerek pisagor bağıntısı ile hesaplanır. Eğer

gözlem çiftleri yön ve uzaklık gözetilmeksizin oluşturulmuşsa mümkün bütün çiftlerin arasındaki yarıvaryans değeri Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanır.



Şekil 1. Jeostatistik analiz aşamalarının grafiksel gösterimi



Şekil 2. Üç boyutlu uzayda çiftler arası uzaklık ve yön hesabı

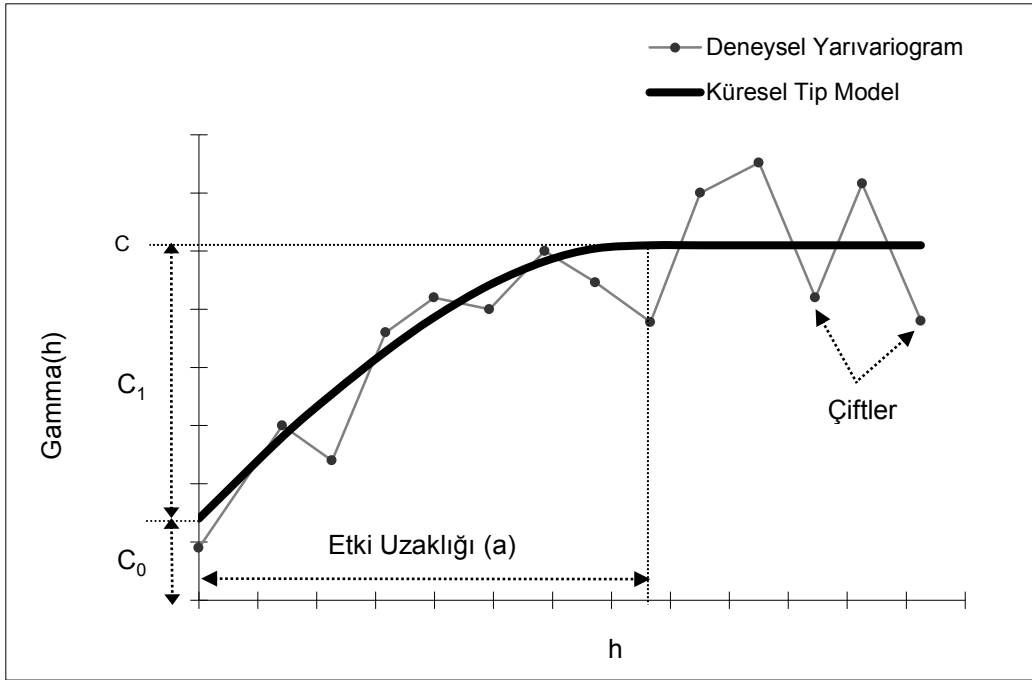
Daha sonra her bir h uzaklığına karşılık elde edilen deneysel yarıvaryans değerleri karşılıklı olarak grafiklenerek yarıvariogram fonksiyonu elde edilir (Şekil 3). Bu şekilde yön ve mesafe

gözetilmeksizin oluşturulan yarıvariogramlar yönsüz (omnidirectional) yarıvariogram ismini almaktadır.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Teorik olarak, elde edilen deneysel yarıvariogram yapısını temsil eden yarıvariogram modelinin

belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle teorik yarıvariogram modelleri ve parametreleri iyi bilinmeli, en uygun model ve parametreler seçilerek ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmelidir (Şekil 3).



Şekil 3. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli ve parametreleri [13]

Elde edilen bu eğriden yararlanılarak, incelenen bölgesel değişkenin uzaysal değişimi hakkında önemli bilgi elde edilebilir [6]. Yarıvariogram fonksiyonu, bölgesel değişkenin çeşitli özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesinin yanında, örneklenmemiş noktalarındaki bilinmeyen değerlerin kestirimlerinde de kullanılabilir. Bu amaca hizmet eden kriging, bölgesel değişkenlerin örneklenmemiş noktalarının kestirimlerinde en iyi ve yansız bir tahmin edici olarak kullanılır. Kriging blok veya bir noktanın kestirimini minimum varyansla tahmin eden en iyi yöntemdir. Kriging kestirimi için; $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_N)$ N adet veri olsun, $Z(x_i)$ değişkeninin lineer bir

fonksiyonunu belirlemek ve x_0 noktasındaki değer veya x_0 merkezli bir alan içerisindeki ortalama alansal değer tahmin edilmek istensin. Çok sayıda eşitliğe kaçmadan nicelik tahminin eşitliği genel olarak şu şekilde verilebilir [4].

$$Z_V = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx \quad (2)$$

Burada V hacmi nokta kestirimlerinde bir noktayı temsil etmektedir. Bu kestirimleri yapabilmek için verilerimizin bir ağırlıklı ortalamasını ele almamız gerekir. Genel olarak kestirim işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır (Eşitlik 3).

$$Z_V^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

Burada;

- Z_V^* : x_0 noktasında kestirim yapılan değeri,
 $Z(x_i)$: x_0 noktasının kestiriminde kullanılacak gözlemlerin değerini,
 λ_i : Değişkenin değerlerine verilecek ağırlıkları ifade etmektedir.

Genel problemimiz ise ağırlık faktörü olan λ_i 'yi en iyi yolla belirlemek olacaktır. Burada ağırlık faktörü iki amaç doğrultusunda seçilmelidir,

- Yansızlık için $E[Z_V^* - Z_V] = 0$, bu şartı sağlayabilmemiz için Eşitlik (3)'deki ifadede $\sum \lambda_i = 1$ olmalıdır (Burada, Z_V^* kestirim değeri, Z_V ise gerçek fakat bilinmeyen değeri ifade etmektedir),
- Minimum varyans için $\text{Var}[Z_V^* - Z_V] = \text{minimum}$ olmalıdır (Burada belirtilen varyans kriging varyansı olarak bilinir). Genel olarak kriging tahmin edicilerine göre kriging yöntemleri; ortalama (m) tahmin edicisi bilinmeden yapılan kriging "ordinary kriging (OK)" ve kriging tahmin edicisi ortalama (m)'nın bilinmesiyle yapılan kriging "simple kriging, (SK)" olarak tanımlanırlar [11].

2. ORDINARY KRIGING KESTİRİM TEKNİĞİ

Eğer $Z(x)$ ortalama değer (m) ile durağan ise; $E[Z(x_i)] = m$ ve böylece $E[Z_V] = m$ olmalıdır. Bu şarta göre;

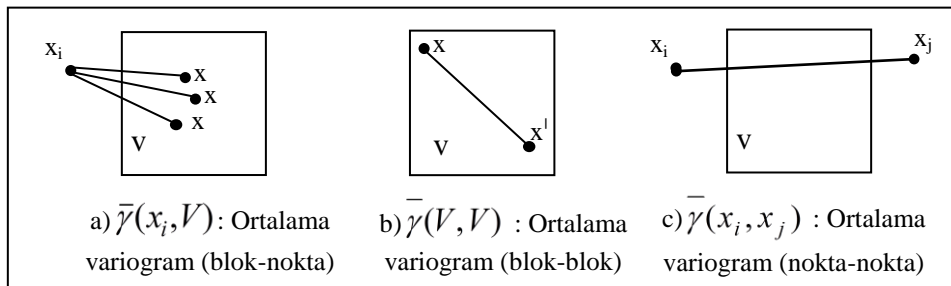
$$E\left[\sum \lambda_i Z(x_i) - Z_V\right] = \sum \lambda_i m - m = m\left[\sum \lambda_i - 1\right] = 0 \quad (4)$$

Eşitlik (4)'den görüleceği üzere yansızlık koşulunun sağlanabilmesi için $\sum \lambda_i = 1$ olmalıdır. Hata varyansı $[Z_V^* - Z_V]$ variogram bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir.

$$= 2 \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V) \quad (5)$$

Burada;

- $\bar{\gamma}(V, V)$: x ve x' arasındaki ortalama variogram (blok-blok),
 $\gamma(x_i, x_j)$: x_i 'den x_j 'ye ortalama variogram (nokta-nokta),
 $\bar{\gamma}(x_i, V)$: x_i ve V hacmi arasındaki ortalama variogram (nokta-blok) olarak alınmıştır (Şekil 4), [10].



Şekil 4. a) blok-nokta, b) blok-blok, c) nokta-nokta ortalama variogramların şekilsel gösterimi [8]

Ağırlık katsayıları toplamının 1'e eşit çıkması şartı altında, kestirim varyansını (Eşitlik 5) minimize edebilmek için Lagrange çarpanları " μ " ele alınmıştır.

$$\phi = \text{Var}(Z_V^* - Z_V) - 2\mu \left[\sum \lambda_i - 1 \right] \quad (6)$$

Eşitlik (6) incelendiğinde ağırlık katsayıları (λ_i) toplamı 1'e eşit çıkması gerektiğinden dolayı,

Lagrange çarpanları (μ) 'nın $[\sum \lambda_i - 1]$ ile çarpılması sonucunda 0 elde edileceğinden “ μ ” etkisiz eleman olacak fakat denklem sistemimizin çözümüne ve λ_i 'lerin bulunmasına imkan sağlayacaktır.

Bu koşullar altında denklemin çözümü “Lagrange çarpanları” yöntemiyle yapılacak olursa kriging denklem sistemi olarak bilinen Eşitlik (7) takımı elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu &= \bar{\gamma}(x_i, V) \quad i=1,2,3,\dots,N \\ \sum_{i=1}^N \lambda_i &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Kriging varyansı olarak bilinen minimum varyans ise Eşitlik (8) ile elde edilebilir.

$$A = \begin{bmatrix} \gamma_{1,1} & \gamma_{1,2} & \gamma_{1,3} & \dots & \dots & \dots & \gamma_{1,N} & 1 \\ \gamma_{2,1} & \gamma_{2,2} & \gamma_{2,3} & \dots & \dots & \dots & \gamma_{2,N} & 1 \\ \gamma_{3,1} & \gamma_{3,2} & \gamma_{3,3} & \dots & \dots & \dots & \gamma_{3,N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \gamma_{N,1} & \gamma_{N,2} & \gamma_{N,3} & \dots & \dots & \dots & \gamma_{N,N} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \bar{\gamma}(x_3, V) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \bar{\gamma}(x_N, V) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$B = A^{-1} x C \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma^2_K &= B^T C - \gamma(V, V) \\ B^T &= B \text{ transpose} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

3. ORDINARY KRIGING İLE NOKTA VE ALANSAL KESTİRİMLER

Eşitlik (6)'ye göre “ Z_v^* ” x_0 noktasındaki tahmini değer veya x_0 merkezli bir alan içerisindeki ortalama alansal tahmini değer olarak isimlendirilmiştir. Madencilik uygulamaları düşünülecek olursa, x_0 noktasındaki kestirim yapılacak değer bir sondaj değeri veya başka bir

$$\sigma^2_K = \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu \quad (8)$$

Herhangi bir x_0 noktasının kestiriminde N adet veri kullanılıyorsa, bu iki koşul N+1 adet doğrusal denklemler sistemine yol açacaktır. Yukarıdaki Eşitlik (7) sistemini nümerik olarak çözebilmek için matris formunda gösterilirse, aşağıdaki şekle dönüşür (Eşitlik 9).

A matrisinin bir kez tersinin alınıp C vektörüyle çarpılması sonucu ağırlık katsayıları (λ_i)'ler elde edilebilir (Eşitlik 10). Elde edilen ağırlık katsayıları ile Eşitlik (3) sayesinde kestirim değeri bulunabilir. Yapılan kestirimin varyansı (kriging varyansı, σ^2_K) ise Eşitlik (11) sayesinde hesaplanabilir.

değişken olabilmektedir. Kestirimi yapılacak x_0 noktasına göre kriging interpolasyon tekniği 3 şekilde uygulanabilir. Örneğin; bir maden yatağının x_0 noktasındaki değer kestirimi “noktasal (point) kriging” olarak isimlendirilebilir, x_0 noktası merkezli bir maden alanının ortalama sondaj değerinin kestirimi ise “alansal kriging” olarak isimlendirilebilir, x_0 noktası merkezli bir maden bloğunun ortalama değerinin kestirimi ise “hacimsel (blok) kriging” olarak isimlendirilebilir. Noktasal kestirimler ve kestirim varyansı Eşitlik (7) ve (8) sayesinde kolayca bulunabilir. Alansal ve blok kestirimlerinin yapılması ve varyanslarının bulunması ise yine yarıvariogram fonksiyonları yardımıyla yapılabilir. Bunun için bir maden sahası içerisindeki “x” merkezli kestirim yapılacak

bir "V" alanını, kendisinden daha küçük " x_j " merkezli "N" adet küçük "v" alanına böldüğümüzü farz edelim ve bu kestirimde kullanılacak "K" adet gözlem değerini " g_i " ile ifade edelim (Şekil 5).

V alanının x merkezli ortalama kestirimini ve varyansını bulmak için Şekil 4'te anlatılan 3 adet ortalama yarıvariogramın hesaplanması gereklidir. Bunların hesabı aşağıdaki aşamaların takibi ile mümkündür.

1. " g_i " noktaları ile diğer " g_i " noktaları arasında oluşabilecek mümkün çiftlerin yarıvariogramı " $\gamma(g, g)$ " bulunur. Bulunan bu yarıvariogram değerleri 1. satırdan N. satıra sırasıyla Eşitlik (9)'daki A matrisi şeklinde gösterilir.

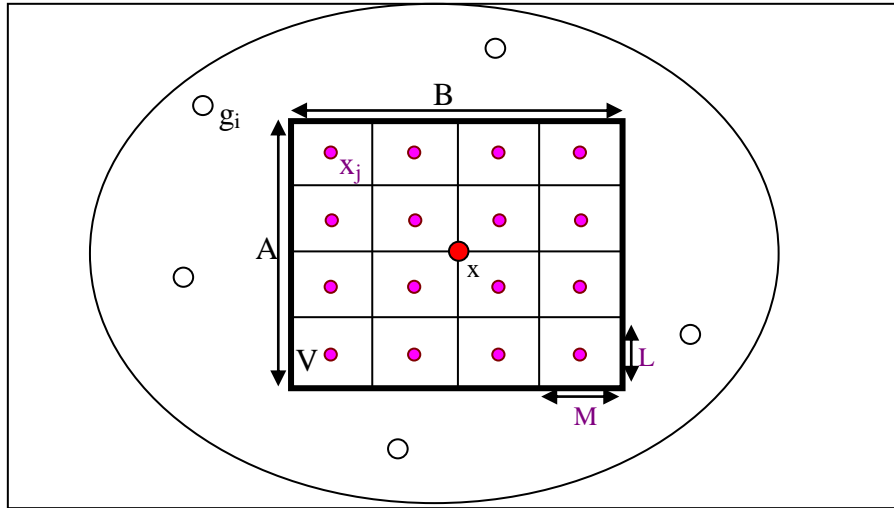
2. " x_j " noktaları ile kestirimde kullanılacak " g_i " gözlem noktalarından bir tanesi arasındaki ortalama yarıvariogram " $\bar{\gamma}(x_j, g)$ " şeklinde olsun ve " B_i " şeklinde ifade edilsin. " B_i " bulunurken şu aşamalar izlenmelidir.

$$B_i = \sum_{j=1}^N \frac{1}{V} \left[\gamma(x_j g_i) v_j + \gamma(x_j g_i) v_j + \gamma(x_j g_i) v_j + \dots + \gamma(x_N g_K) v_N \right] \quad (12)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, K$

- Küçük alanlar (v_j) = $M_j \times L_j$ olacak şekilde hesaplanmalıdır,
- Büyük alan (V) = $A \times B$ olacak şekilde hesaplanmalıdır,
- Her bir " x_j " için ortalama variogram " $\bar{\gamma}(x_j, g)$ " şu şekilde hesaplanır. K adet " g_i "'den bir tanesi seçilir ve bu " g_i " ile sırasıyla "N" adet " x_j " merkezli alan arasındaki yarıvariogram değerleri hesaplanır ve küçük alan (v_j) ile çarpılır. Bu işlem her " x_j " için tekrar edildikten sonra " $\sum_{j=1}^K \gamma(x_j g) v_j$ " toplamı

bulunur. Elde edilen toplam büyük blok alanı (V) 'ye bölünürse, ortalama " $\bar{\gamma}(x_j, g)$ " elde edilmiş olur (Eşitlik 12). Elde edilen bu değer Eşitlik (9)'daki C vektörünün 1. satırını temsil etmektedir. Bu işlem her " g_i " için "K" kez tekrar edilir ise Eşitlik (9)'daki "C" vektörü elde edilmiş olur.



Şekil 5. Kestirimi yapılacak "V" alanı

3. Büyük blok "V" içerisindeki " x_j " merkezli küçük alan "v"nin diğer " x_j " noktaları arasındaki ortalama yarıvariogramı $\gamma(x_i, x_j)$ şeklinde gösterelim ve " x_j "lerin ortalama yarıvariogramını

da " $\bar{\rho}$ " şeklinde ifade edilmiş olsun. $\bar{\rho}$ bulunurken şu aşamalar izlenmelidir.

- Küçük alan "(v)"ların merkezi " x_j " noktaları ile diğer " x_j " noktaları arasındaki yarıvariogram

değerleri bulunur. Bu işlem her bir “ x_j ” noktası için kendisiyle olan yarıvariogram değerinin de hesaplanması dahil “ $N \times N$ ” kez tekrar edilir ve toplamları alınır. Elde edilen toplamın “ $N \times N$ ” e bölünmesi suretiyle “ $\bar{\rho}$ ” elde edilebilir (Eşitlik 13).

$$\bar{\rho} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \gamma(x_i, x_j) \quad j=1,2,3,\dots,N \quad (13)$$

4. Eşitlik (5) yardımıyla elde edilmiş “ B ” vektörü (ağırlık katsayıları, λ_i) ile Eşitlik (12) yardımıyla elde edilmiş “ C ” vektörünün çarpılıp toplanmasıyla blok-blok toplam ortalama yarıvariogram değeri elde edilmiş olur. Elde edilen toplam ortalama yarıvariogram “ ρ_{i0} ” şeklinde ifade edilir. “ ρ_{i0} ” Eşitlik (14) ile hesaplanabilir,

$$\rho_{i0} = \sum_{i=1}^{K+1} \lambda_i B_i \quad (14)$$

Bu durumda,

▪ Yapılacak x merkezli bir alansal kestirim $g^*(x)$, Eşitlik (15) yardımıyla hesaplanabilir.

$$g^*(x) = \sum_{i=1}^K \lambda_i g(i) \quad (15)$$

▪ $g^*(x)$ alansal kestirimi için “ordinary kriging kestirim varyansı, σ_{ok}^2 ” Eşitlik (16) yardımıyla hesaplanabilir.

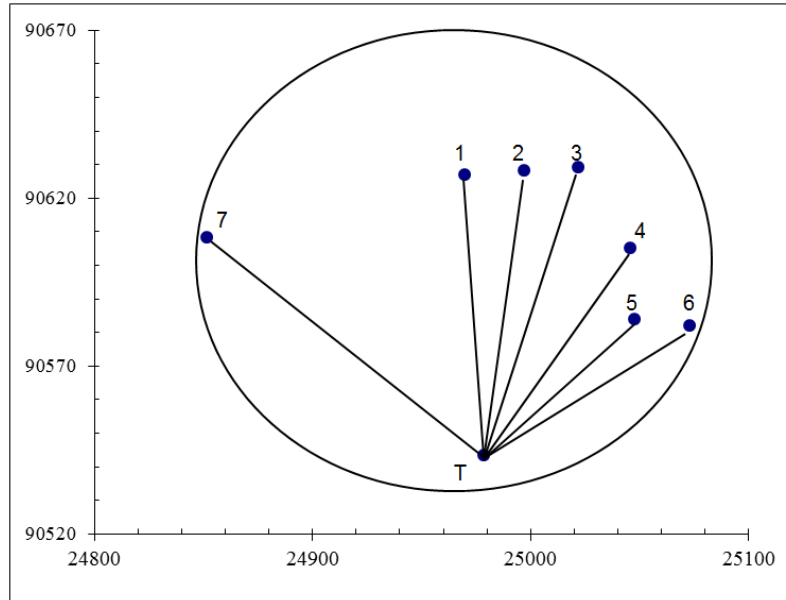
$$\sigma_{ok}^2 = \rho_{i0} - \bar{\rho} \quad (16)$$

Yapılacak bir hacimsel (blok) kestirimin alansal kestirimlerden bir farkı olmayıp alan hesapları yerine hacim hesapları esas alınarak ortalama yarıvariogramlar bulunabilir.

4. UYGULAMA

4.1. Nokta Kestirimi

Şekil 6’da verilen T noktasının değeri, etrafındaki yedi örnek değeri kullanılarak aşağıda verilen yarıvariogram parametrelerine göre ordinary kriging interpolasyon tekniği kullanılarak kestirim yapılacak olsun. Noktalara ilişkin gözlenen değerler ve koordinatlar Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 6. Kestirimi yapılacak T noktası ve kestirimde kullanılacak etki alanı içerisinde kalan yedi örneklenmiş nokta

Çizelge 1. Kestirimi yapılacak T noktası ve etki alanı içerisinde belirlenmiş olan yarivariogram parametreleri

Örnek Değerleri				Yarivariogram Parametreleri			
No	X-koord.	Y-koord.	Değer(g _i)	Model	C ₀	C ₁	Etki Uzaklığı
1	24970,000	90627,000	56,980	Küresel	0,5	4	120
2	24997,000	90628,000	53,880				
3	25022,000	90629,000	53,640				
4	25046,000	90605,000	57,220				
5	25048,000	90584,000	57,300				
6	25073,000	90582,000	57,540				
7	24851,710	90608,330	59,060				
T	24978,530	90543,450	?				

1) Bütün noktaların kestirimi yapılacak olan T “h_{i,j}” pisagor bağıntısı (Şekil 2) yardımıyla noktasına “h_{i0}” ve birbirlerine olan uzaklıkları bulunmuş ve Çizelge 2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Gözlem çiftleri arasındaki uzaklıklar

h _{i,j}	1	2	3	4	5	6	7
1	0,000	27,02	52,04	79,12	89,07	112,40	119,75
2	27,02	0,000	25,02	54,13	67,36	88,84	146,62
3	52,04	25,02	0,000	33,94	51,97	69,35	171,54
4	79,12	54,13	33,94	0,000	21,10	35,47	194,32
5	89,07	67,36	51,97	21,10	0,000	25,08	197,79
6	112,40	88,84	69,35	35,47	25,08	0,000	222,85
7	119,75	146,62	171,54	194,32	197,79	222,85	0,0000
T	83,984	86,543	95,960	91,326	80,438	102,032	142,452

2) Bütün örnek çiftleri arasındaki uzaklığa bağlı $\gamma(h_{i,j})$ değerleri Çizelge 1’de verilen yarivariogram parametrelerine bağlı olarak Denklem (8) sayesinde hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Eşitlik (18) şeklinde matris formuna dönüştürülmüştür. Eşitlik (18), Denklem (10) sistemindeki A matrisini ifade etmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 0,000 & 1,828 & 2,939 & 3,883 & 4,136 & 4,476 & 4,500 & 1,000 \\ 1,828 & 0,000 & 1,733 & 3,023 & 3,514 & 4,130 & 4,183 & 1,000 \\ 2,939 & 1,733 & 0,000 & 2,152 & 2,936 & 3,582 & 3,235 & 1,000 \\ 3,883 & 3,023 & 2,152 & 0,000 & 1,544 & 2,222 & 1,724 & 1,000 \\ 4,136 & 3,514 & 2,936 & 1,544 & 0,000 & 1,736 & 1,434 & 1,000 \\ 4,476 & 4,130 & 3,582 & 2,222 & 1,736 & 0,000 & -1,167 & 1,000 \\ 4,500 & 4,183 & 3,235 & 1,724 & 1,434 & -1,167 & 0,000 & 1,000 \\ 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 0,000 \end{bmatrix} \quad (18)$$

3) Yine aynı şekilde kestirimi yapılacak olan nokta ve etki alanı içinde kalan diğer noktalar arasındaki uzaklığa bağlı $\gamma(h_{i0})$ değerleri Denklem (8) yardımıyla hesaplanarak Eşitlik (19)’da ki vektör

formuna dönüştürülmüştür. Eşitlik (19), Eşitlik (10) sistemindeki “C” vektörünü ifade etmektedir.

4) Denklem (11) gereği “A” matrisinin tersi bulunmuş, Eşitlik (20) şeklinde belirtilmiştir.

5) Denklem (11) kullanımı ile elde edilen “A⁻¹” matrisin tersi ile “C” vektörün çarpımı sonucu ağırlık katsayıları bulunmuştur. Elde edilen B vektörünün transposu alınarak ve Eşitlik (21) formunda gösterilmiştir.

6) Denklem (3) gereği, Eşitlik (21)’de elde edilmiş ağırlık katsayıları “λ_i” ile o ağırlık katsayısına

karşılık gelen örnek değerleri “g_i” çarpılmış ve çarpımlarının toplamları alınarak T* kestirim değeri bulunmuştur.

$$C = \begin{bmatrix} 4,0136 \\ 4,0770 \\ 4,2753 \\ 4,1847 \\ 3,9195 \\ 4,3722 \\ 4,2769 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} -0,30 & 0,23 & 0,02 & -0,01 & 0,02 & 0,02 & 0,02 & 0,31 \\ 0,23 & -0,48 & 0,22 & 0,02 & 0,03 & -0,06 & 0,04 & 0,11 \\ 0,02 & 0,22 & -0,43 & 0,16 & 0,01 & 0,04 & -0,03 & 0,12 \\ -0,01 & 0,02 & 0,16 & -0,49 & 0,22 & 0,10 & -0,01 & 0,06 \\ 0,02 & 0,03 & 0,01 & 0,22 & -0,46 & 0,10 & 0,08 & 0,15 \\ 0,02 & -0,06 & 0,04 & 0,10 & 0,10 & 0,29 & -0,49 & 0,08 \\ 0,02 & 0,04 & -0,03 & -0,01 & 0,08 & -0,49 & 0,38 & 0,16 \\ 0,31 & 0,11 & 0,12 & 0,06 & 0,15 & 0,08 & 0,16 & -2,50 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$B^T = [0,3423 \quad 0,1289 \quad 0,0537 \quad 0,0354 \quad 0,2964 \quad 0,0650 \quad 0,0784 \quad 1,6135] \quad (21)$$

$$T^* = \left[\begin{array}{l} (0,3423 * 56,98) + (0,1289 * 53,88) + (0,0537 * 53,64) + (0,0354 * 87,22) + \\ (0,2964 * 57,3) + (0,065 * 57,540) + (0,0784 * 59,060) \end{array} \right]$$

$$T^* = 56,70367$$

7) Eşitlik (12) gereği ağırlık katsayıları “B^T” ile “C” vektörü çarpılarak toplanmış ve yapılan kestirim varyansı σ²_{ok} bulunmuştur

(Eşitlik (12)’deki “γ(V, V)” değeri noktasal kestirim yaptığımız için sıfırdır).

$$\sigma_{ok}^2 = [0,3423 \quad 0,1289 \quad 0,0537 \quad 0,0354 \quad 0,2964 \quad 0,0650 \quad 0,0784 \quad 1,6135]^* \begin{bmatrix} 4,0136 \\ 4,0770 \\ 4,2753 \\ 4,1847 \\ 3,9195 \\ 4,3722 \\ 4,2769 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{ok}^2 = \left[\begin{array}{l} 0,3423 * 4,0136 + 0,1289 * 4,077 + 0,0537 * 4,2753 + 0,0354 * 4,1847 + \\ 0,2964 * 3,9195 + 0,0650 * 4,3722 + 0,0784 * 4,2769 + 1,6135 * 1 \end{array} \right]$$

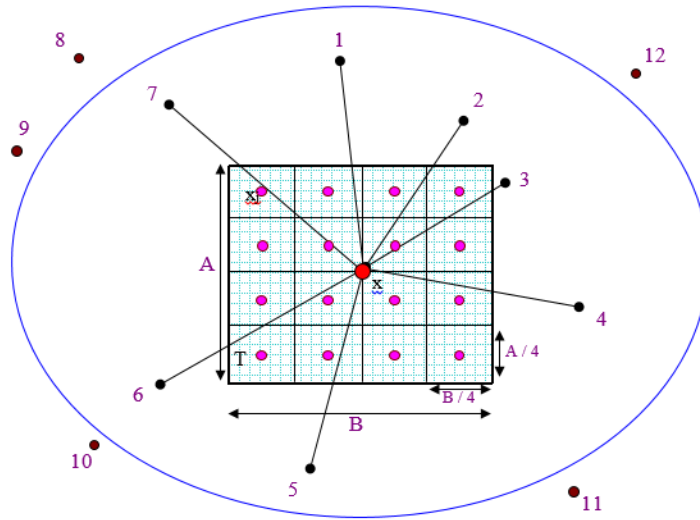
$$\sigma_{ok}^2 = 5,67146$$

Yukarıdaki örnekte de görüleceği üzere her nokta için bu işlemler yapıldığı düşünülürse, bilgisayardan yararlanılması kaçınılmaz olur.

4.2. Blok Kestirimi

Blok veya alansal kestirimler noktasal kestirimlerden farklı olarak bir noktayı değil bir alanın ortalama değerini ifade eder. Alansal

kriging kestirimi ve programlanmasında temel alınan işlem sırasını açıklamak için bir örnek verecek olursak; Şekil 7’de verilen T alanı etrafında değerleri bilinen 12 gözlem noktasından etki alanı içerisinde kalan 7 tanesi ile kestirim yapılacak olsun. Kestirime ve kestirim varyansına ilişkin programlama aşamaları şu sıra ile elde edilmiştir.



Şekil 7. Kestirimi yapılacak T alanı ve kestirimde kullanılacak etki alanı içerisinde kalan yedi örneklenmiş nokta

1) Elips içerisine düşen bütün örnek noktaların birbirlerine olan uzaklıkları pisagor bağıntısı yardımıyla bulunmuştur.

2) Bütün örnek çiftleri arasındaki mesafeye bağlı $\gamma(g_i, g_j)$ değerleri yarıvariogram aşamasında belirlenmiş yarıvariogram parametrelerine bağlı olarak bulunmuş ve matris formunda belirtilmiştir. Bulunan bu sonuçlar oluşturacağımız Eşitlik (9) sistemindeki A matrisini ifade etmektedir.

3) A x B boyutlarındaki T alanı istenilen aralıklarla gridlere bölünür. 4x4 gridlere böldüğümüzü farz edersek bu alan üzerinde 16 adet grid noktası olacaktır. Elde edilen bu grid noktalarının x, y ve z koordinatları bulunmuştur. Her bir grid blok içinde küçük bir alanı temsil eder. Bu küçük blokların boyutları, bloğun boyutlarının istenilen grid

sayısına bölünmek suretiyle bulunabilmektedir. Örneğimiz için bu boyutlar küçük bloğun X eksenini boyu B/4, Y eksenini boyu ise A/4 olacaktır. Dolayısıyla küçük bloğun alanı A/4*B/4 olacaktır.

4) Elde edilen bu koordinatlarla elips içerisine düşen örneklerden bir tanesi seçilerek aralarındaki yarıvariogram değerleri sırasıyla bulunmuştur. Eşitlik (12) gereği her "x_j" noktası için bulunan yarıvariogram değeri, o noktanın temsil ettiği küçük bloğun alanıyla çarpılmıştır. Bu işlem seçtiğimiz örnekte büyük blok alanımız içinde 16 nokta olduğuna ve elipsimiz içinden de 1 örnek seçtiğimize göre 16x1=16 kez yapılır. Bir örnek için bulunan bütün bu yarıvariogram değerlerinin toplamı büyük bloğun alanına bölündüğü zaman blok ile seçilen örnek arasındaki ortalama yarıvariogram bulunur. Bulunan bu sonuç

oluşturacağımız Eşitlik (9) sistemindeki “C” vektörünün 1. satırını temsil etmektedir. Kalan diğer yedi nokta ile aynı işlemler tekrarlanırsa “C” vektörünü elde ederiz.

5) Elde edilen matrisin tersi alınmış ve A^{-1} matrisi olarak isimlendirilmiştir.

6) Eşitlik (10) kullanımı ile elde edilen “ A^{-1} ” matrisin tersi ile “C” vektörün çarpımı sonucu ağırlık katsayıları bulunmuştur.

7) Eşitlik (3) gereği, elde edilmiş ağırlık katsayıları “ λ_i ” ile o ağırlık katsayısına karşılık gelen örnek değerleri “ g_i ” çarpılmış ve çarpımlarının toplamları alınarak T* kestirim değeri bulunmuştur.

8) Yapılan kestirime ilişkin hatayı yani blok varyansını bulmak için blok içindeki her bir nokta ile blok içindeki diğer noktalar arasındaki yarivariogram değerleri bulunmuş ve toplamları alınmıştır. Seçtiğimiz örnekte 16 adet grid noktası olduğuna göre her bir nokta ile geriye kalan 15 nokta arası yarivariogram ve birde kendisiyle olan yarivariogramını bulacak olursak toplam 16×16 tane yarivariogram değeri elde edilir. Eşitlik (13) yardımıyla elde edilen toplam yarivariogram değeri 16×16 yani toplam yarivariogram sayısına bölünmek suretiyle bloğun kendi içindeki

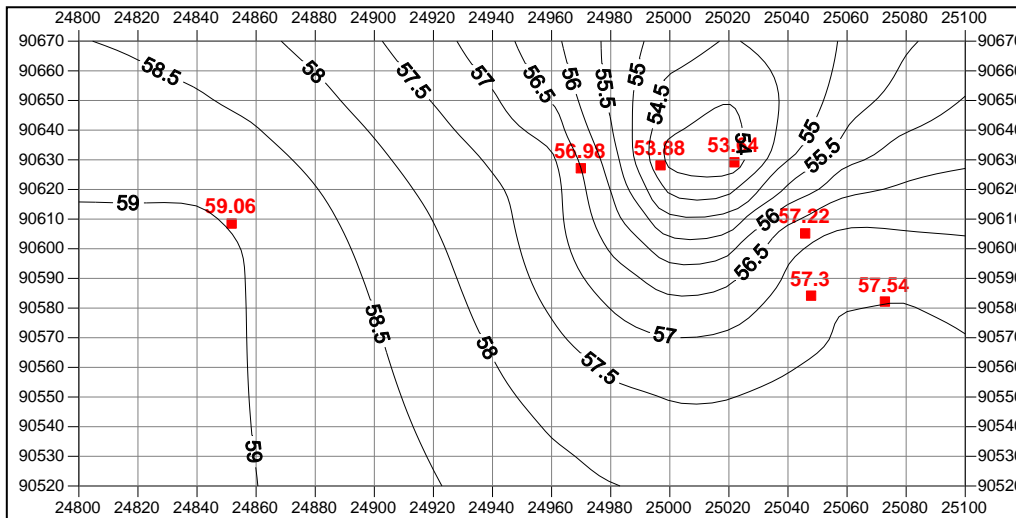
noktaların arasındaki ortalama yarivariogramı bulunmuştur.

9) Daha sonra, Eşitlik (14) gereği, bir önceki elde ettiğimiz ağırlık katsayıları (λ_i) ile C vektörü çarpılarak bloğun toplam ortalama yarivariogramı bulunmuştur.

10) Kestirim varyansı, “ σ_{ok}^2 ” Eşitlik (16) yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre toplam ortalama yarivariogramdan bloğun kendi içindeki ortalama yarivariogramı çıkarılmış sonuçta yapılan blok kestirimin varyansı bulunmuştur.

4.3. Kestirimlerin Haritalanması

Şekil 6’da koordinatları ve örneklenmiş noktaları verilen alanda $g(i)$ tenör dağılım haritasını hazırlamak için $g(i)$ değişkenin yarivariogram analizleri yapılmış ve elde edilen deneysel $g(i)$ yarivariogram yapılarına karşılık teorik yarivariogramlardan biri uydurulmaya çalışılmış, en uygun modelin Şekil 3’te verilen küresel tip model olduğu ve parametrelerinin ise Kontrolsüz Etki (C_0) 0,5, Eşik Değer (C) 4, Etki Uzaklığı 120 m olduğu saptanmıştır. Daha sonra Şekil 6’da verilen alan $20 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ boyutlarında 160 adet gride bölünmüş, grid noktalarının $g^*(i)$ değerleri ordinary kriging ile kestirim yapılarak haritalanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Kestirim değerlerinin dağılım haritası

5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile örneklenmemiş noktadaki tenör değerlerinin kestirimi ordinary kriging interpolasyon tekniği ile değerlendirilmiştir. Kriging ile yaptığımız kestirimin doğruluğu veya geçerliliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Yapılan kestirimlerin doğruluğu teorik yarıvariogram modeli ve model parametrelerinin doğru seçimi ile paraleldir. Dolayısıyla teorik yarıvariogram modelleri ve parametreleri iyi bilinmeli, en uygun model ve parametreler seçilerek ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmelidir.
- Düzenli aralıklarla örneklenmiş veriler daha temsili olacak ve deneysel yarıvariogramlardaki gözlem çiftlerinin sayısını artıracığından, bölgesel değişkenin dağılımı hakkında daha fazla bilgi edinmek için örneklemenin sistematik yapılması tercih edilmelidir.
- Kestirimi yapılacak nokta veya blokların, örneklenmiş noktalara yakın olması veya etrafıca çevrilmiş olması beklenir. Dolayısıyla örneklenmiş noktalardan uzaklaştıkça varyans artacağından kriging arama elipsi içine düşen örnek sayısının yeterli büyüklükte olması beklenir. Örnek sayısı arttıkça kestirimlerin doğruluğu da artacaktır.

Kriging interpolasyon yöntemi klasik istatistik yöntemlerden farklı olarak, örnekler arası değişkenliği uzaklığa bağlı olarak ele almakta ve kestirime ait hata varyansı üretebilmektedir. Diğer yandan, variogram fonksiyonlarının modellenmesindeki esneklik ve kriging denklem sistemlerinin çözümündeki şeffaflık (transparency) bu yöntemin üstünlükleri olarak kayımıza çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Krige, D.G., 1951. A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on The Witwatersrand, J. of the Chem., Metal. and

- Mining Soc. of South Africa, vol. 52, p.119-139.
2. Matheron, G., 1963. Principles of Geostatistics, Economic Geology, vol. 58, no. 8, p.1246-1266.
3. Oliver, M.A., Webster, R., 2014. A Tutorial Guide to Geostatistics: Computing and Modelling Variograms and Kriging, Catena, 113, p. 56-69.
4. Webster, R., Oliver, M.A., 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons.
5. Clark, I., Harper, W.V., 2000. Practical Geostatistics 2000; Ecosse North America Lie. Columbus Ohio, USA, p.342.
6. Cressie, N., 1993. Statistics for Spatial Data, Revised Edition; John Wiley & Sons Press, New York, USA, p. 928.
7. Wackernagel, H., 2010. Multivariate Geostatistics, 3rd Edition; Springer-Verlag, Deutch, p. 387.
8. Srivastava, R.M., 2013. Geostatistics: A Toolkit for Data Analysis, Spatial Prediction and Risk Management in the Coal Industry, International Journal of Coal Geology, vol.112, p.2-13.
9. Dag, A., Mert, B.A., 2008. Evaluating Thickness of Bauxite Deposit Using Indicator Geostatistics and Fuzzy Estimation, Resource Geology, 58(2), p. 188-195.
10. Mert, B.A., Dag, A., 2015. Development of a GIS-based Information System for Mining Activities: Afsin-Elbistan Lignite Surface Mine Case Study, International Journal of Oil, Gas and Coal Technology 23, 9(2), p. 192-214.
11. Chiles, J. P., Delfiner, P., 2009. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty, vol. 497. John Wiley & Sons.
12. Deutch, C.V., Journel, A.G., 1997. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, 2nd Edition; Oxford University Press, New York, USA, p.369.
13. Cressie, N., 1988. Spatial Prediction and Ordinary Kriging, Mathematical Geology, 20(4), p.405-421.

An Experimental Investigation of Document Vector Computation Methods for Sentiment Analysis of Turkish and English Reviews

Furkan GÖZÜKARA^{*1}, Selma Ayşe ÖZEL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2016 Kabul tarihi: 23.11.2016

Abstract

Sentiment analysis is the task of identifying overall attitude of the given text documents by using text analysis and natural language processing techniques. In this study, we present experimental results of sentiment analysis on movie and product reviews datasets that are in Turkish and English languages by using a Support Vector Machine (SVM) classifier. Moreover, we compare different document vector computation techniques and show their effects on the sentiment analysis. We empirically evaluate SVM types, kernel types, weighting schemes such as TF or TF*IDF, TF variances, IDF variances, tokenization methods, feature selection systems, text preprocessing techniques and vector normalizations. We have obtained 91.33% accuracy as the best on our collected Turkish product reviews dataset by using C-SVC SVM type with linear kernel, log normalization TF* probabilistic IDF weighting scheme, L2 vector normalization, Chi-square feature selection, and unigram word tokenization. A very detailed comparison of the document vector computation methods over Turkish and English datasets are also presented.

Keywords: Sentiment analysis, Classification, Data mining, Product reviews, Support vector machines

Türkçe ve İngilizce Yorumların Duygu Analizinde Doküman Vektörü Hesaplama Yöntemleri için Bir Deneysel İnceleme

Öz

Duygu analizi, verilen bir metin belgesinin genel yargısını, metin analizi ve doğal dil işleme teknikleri kullanarak belirleme işlemidir. Bu çalışmada, İngilizce ve Türkçe dillerinde yazılmış film ve ürün yorumlarının, Destek Vektör Makineleri (DVM) sınıflayıcısı kullanarak yapılan, duygu analizi deney sonuçları yer almaktadır. Bunun yanında, farklı doküman vektör hesaplama yöntemleri karşılaştırılmakta ve bu tekniklerin duygu analizi üzerindeki etkileri gösterilmektedir. DVM türleri, kernel çeşitleri, TF veya TF*IDF gibi ağırlıklandırma yöntemleri, TF türleri, IDF türleri, öznitelik oluşturma yöntemleri, öznitelik seçme sistemleri, metin ön işleme teknikleri ve vektör normalizasyon teknikleri deneysel olarak analiz edilmektedir. Oluşturduğumuz Türkçe ürün yorumları veri kümesi üzerinde, doğrusal kernel ile kullanılan C-SVC DVM türü, log normalleştirme TF* olasılıklı IDF ağırlıklandırma yöntemi, L2 vektör normalizasyonu, Ki-kare öznitelik seçme ve tekli kelime öznitelikleri kullanılarak %91.33 doğruluk ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Ayrıca doküman vektörü hesaplama yöntemlerinin Türkçe ve İngilizce veri kümeleri üzerindeki detaylı karşılaştırmaları da çalışmada yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Duygu analizi, Sınıflandırma, Veri madenciliği, Ürün yorumları, Destek vektör makineleri

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Furkan GÖZÜKARA, furkangozukara@gmail.com

1. INTRODUCTION

With the emerging new technologies, today, electronic platforms such as internet blogs, E-commerce websites, digital newspapers, Facebook, Twitter, online forums, etc. have become important for our lives. People not only read these platforms but also leave their opinions, and the analysis of these opinions which is also known as sentiment analysis has become a major interest recently in the natural language processing (NLP) and data mining fields.

Sentiment Analysis is a task that classifies the sentiments expressed in review documents as positive, negative, or neutral. For example, a user may be positive or negative about a movie or a product and writes his/her review accordingly. Automatically determining the polarity of a review is important since it helps users which product to buy or which movie to watch. Sentiment analysis is not only restricted to product or movie reviews, but it can also be applied to other kinds of text documents such as news to collect opinion about a particular entity or a topic. Like traditional text classification, Sentiment Analysis involves data pre-processing, feature selection, and classification steps. However, sentiment analysis of morphologically rich languages such as Turkish still has not got much interest in the literature [1].

In this study, we present results of extensive experimental tests conducted by using an SVM classifier to do sentiment analysis on Turkish product reviews. We use LIBSVM [2] framework for the SVM-based classification task. Furthermore, we present a comparison of our methods on well-known datasets that are used by previous works in the literature. The contributions of this study are summarized as follows:

- Detailed empirical evaluation of SVM types, kernel types, kernel parameters, and shrinking feature of SVMs are made.
- Numerous document vector computation techniques that are TF, IDF, TF*IDF, RF, TF*RF weighting schemes with state-of-the-art TF and IDF variances are experimented over several datasets.

- Unigram word + different character N-gram word tokenization approaches and weight vectors normalizations are evaluated.
- Information Gain (IG) and Chi-square (CHI2) feature selection methods are thoroughly evaluated.
- Preprocessed versions of all of the experimented datasets are made publicly available to provide an objective comparison with the results of this study and future works that will be done by other researchers. Moreover, a new meticulously prepared Turkish product reviews dataset is now available to researchers.
- In earlier studies, usually expensive to compose dictionaries or computationally complex linguistic methodologies are employed to obtain high success rates. However, in this study, we obtain high classification accuracy by solely using the correct combination of the NLP methods and text analysis techniques, and we list these techniques in this study to help researchers for their future studies.
- To our knowledge, this is the first study which evaluates numerous document vector computation methods for sentiment analysis of Turkish product reviews.

The rest of the paper is organized as follows: in the next section, related work for the sentiment analysis is discussed. In the third section, details about the datasets used in this study are presented. The fourth section describes the used classification system. Experimental setup of the study is explained in the fifth section. The sixth section discusses the experimental results which show the effectiveness of the used methods. Comparison of the document vector computation methods over the publicly available datasets is presented in section seven, and finally, the last section concludes the study.

2. RELATED WORK

Sentiment analysis tries to determine the overall attitude (e.g. positive, negative, neutral, and so on) of the given text [3]. There has been much research

in the opinion mining and sentiment analysis area recently. There are three recent major surveys made by Pang and Lee [4], Liu and Zhang [5] and Vinodhini and Chandrasekaran [6].

Pang et al. [7] have conducted classification experiments on a movie reviews dataset by using standard Naive Bayes (NB), Maximum Entropy (ME), and SVM classification algorithms. N-gram based tokenization, Part-of-Speech (POS) [8] tagging, and frequency versus binary term weighting by using Bag-of-Words (BOW) methodology are compared. In the later study, Pang and Lee [9] have proposed a system to extract objectivity containing part of the reviews to decrease the size and complexity of the dataset so that the objective part is discarded as it is not useful when classifying sentences into their polarities. They have experimented with using standard SVM and NB algorithms to classify reviews into their polarities. The classification accuracy of their dataset is improved from 82.8% to 86.4% by using empirically determined parameters. Hu and Liu [10] have proposed a system for mining opinionated product features from customer reviews. Additionally, they have classified opinionated sentences as positive or negative by using NLP techniques and have achieved average 84.20% accuracy in sentence polarity classification.

Dave et al. [11] have proposed a system to classify product reviews as negative or positive. They have employed substitutions which require extra human intervention as data-preprocessing. For instance, the names of the products are replaced with *productname* so that different product names can be treated equally. A computationally expensive linguistic parser to process words sentence by sentence is also used. Linguistic features such as WordNet, collocation, stemming and negation, are tested however; it is observed that all these features decrease the success rate in all tests except stemming which increases the success rate only in a single test. Li and Liu [12] have proposed a clustering system which uses K-NN clustering algorithm with a combination of TF*IDF weighting scheme, several preprocessing techniques, feature selection and term scoring by

the help of the WordNet for polarity classification problem of documents. Wilson et al. [13] have proposed a system to accomplish polarity classification in phrase-level by using subjectivity clues from a lexicon. They have used BoosTexter AdaBoost.HM classification algorithm with 28 features methodology and they have obtained best 65.7% accuracy in polarity classification while their baseline accuracy has been 61.7%. Their system first determines whether a sentence is neutral or polar then the latter sentences are classified as negative, positive, both or neutral. Wilson et al. [14] have expanded their previously proposed system to accomplish phrase-level polarity classification by using subjectivity clues from an expanded lexicon. They have obtained their best success rates by using BoosTexter AdaBoost.MH classification algorithm with 32 features methodology. Their best-obtained accuracy is 76.5% when classifying sentences as polar or neutral. When polar classifying subjective sentences, they have obtained best 83.2% accuracy on manually labeled subjective sentences and 65.9% accuracy on automatically labeled subjective sentences.

Blitzer et al. [15] have proposed a system for better Domain Adaptation to utilize in sentiment classification task. They have improved Structural Correspondence Learning (SCL) algorithm; constructed and publicly released a product comments dataset which consists of four different product categories. Prabowo and Thelwall [16] have proposed a hybrid classification system in which firstly a Rule-Based Classifier (RBC), secondly a Statistics Based Classifier (SBC), thirdly a General Inquirer Based Classifier (GIBC), and finally an SVM classifier are applied. If one classifier fails to classify the test data, the unclassified test data is transferred to the next classifier. However, their SBC system utilizes public search engines' querying mechanism to obtain Closeness Measure. Thus, the system is not applicable to big datasets.

Martineau and Finin [17] have proposed a modified version of the term frequency (TF) * inverse document frequency (IDF) that is named as Delta TF*IDF weighting system to improve the

accuracy of the classification. O’Keefe and Koprinska [18] have empirically evaluated the performance of different weighting metrics and feature selection methods combination by using SVM and NB classifiers. They also have proposed several new feature weighting and feature selection metrics as well. However, their study does not include the Turkish language. Paltoglou and Thelwall [19] have made a thorough empirical analysis on weighting scores used in polarity classification task. They have experimented on publicly available datasets and obtained very high accuracies when compared to original state-of-the-art works done on those datasets. On the English movie reviews dataset [9] they [19] have obtained 96.90% accuracy however in [9] 87.2% accuracy is observed; for product reviews dataset [15] 96.40% accuracy is computed by [19], on the other hands, from 82.75% to 87.90% accuracies are obtained by [15]. However, in our study, as it is observed in [15], we have failed to obtain such high success rates with the proposed metrics in [19].

Jang and Shin [20] have proposed chunked sentiment analysis system, which uses contextual shifters (negation shifters and flow shifters). Negation shifters change the semantic orientation of the words and flow shifters control the flow of the sentiment like “*however*” or “*but*”. They have used a polarity dictionary and a subjectivity lexicon as well. Their proposed contextual shifters and chunking methodologies or polarity based weighting system have failed to improve the results statistically significant on the short movie reviews dataset. However, their proposed system achieves better results than baseline TF*IDF weighting scheme in the news corpora. Arora et al. [21] have proposed a system that utilizes Subgraph Mining and Genetic Programming based feature construction to improve the success of SVM-based sentiment classification task. They have obtained best 76.93% accuracy on the English movie reviews dataset [22]. As a base score with just using unigrams, they have obtained 75.66% accuracy. Yessenalina et al. [23] have proposed a system that automatically generates rationales (a portion of the document that is more relevant to its class) to reinforce polarity classification of the

documents. Then, these automatically generated rationales are used to generate additional training data to improve the accuracy of the classification task.

Eroğul [24] have experimented on Turkish movie reviews by using techniques which utilize linguistic features of the Turkish language, such as POS tagging, word polarity or spell correction. Additionally, they have tested N-gram methodology and used Zemberek, which is an NLP tool for the Turkish language, in their experiments. They have failed to obtain any better results with their experiments when compared to their bag-of-words methodology based baseline. Kaya et al. [1] have carried out sentiment classification experiments on political news from Turkish news sites. NB, ME, SVM and character based N-gram Language Model classifiers by using Lingpipe DynamicLMClassifier are used in experiments. The best accuracies that are observed are around 75% with empirically determined parameters. Boynukalın [25] have proposed a framework for emotion analysis in the Turkish language. They have combined machine learning algorithms with NLP methodologies and tools for sentiment analysis. NB and SVM classification algorithms are tested with punctuations removal, stop words removal, proper names removal, spelling correction, stemming, negation, POS tagging, and word level N-grams. They have classified sentences of Turkish fairy tales dataset into five opinions (none, sad, anger, fear, and joy) and have obtained 74.5% accuracy by using Complement Naive Bayes (CNB) classifier and 69.42% accuracy by using an SVM classifier. Seker and Al-Naami [26] have experimented on a massive Turkish comments dataset. They have employed user assigned scores for evaluation. SVM, K-NN and C4.5 algorithms are used for the classification task. As a weighting scheme TF*IDF, and for feature selection IG are used. Each algorithm classifies each test sample separately, and the most voted class is chosen as class label. Their system obtains approximately 55% F-Measure. Aytekin [27] have proposed a system to classify comments that belong to

products and services. The proposed system assigns positive and negative polarities to the words in the Turkish language automatically from an English sentiment dictionary. The system uses NB algorithm for classification, utilizes the generated Turkish sentiment dictionary and obtains 72.71% accuracy. Demirtas and Pechenizkiy [28] have proposed a classification system that utilizes machine translation to improve classification accuracy by co-training. They have used NB algorithm for this purpose and obtained approximately 79% accuracy as the best on the English movie reviews dataset [22] and nearly 83% accuracy as the best on the Turkish movie reviews dataset by the proposed co-training classification system. Akba et al. [29] have evaluated different feature selection methods on a Turkish movie reviews dataset. They have employed different NLP tools and preprocessing techniques as well. They have obtained 83.9% F-Measure by using an SVM classifier when binary classifying (positive or negative) the dataset. Both CHI2 and IG based feature selection methods achieve the same F-Measure in polarity classification. They also have tested three categories (positive, negative and neutral) classification by using an SVM and an NB classifier and obtained best 63.3% F-Measure. SVM classifier performs better than NB classifier.

Yıldırım et al. [30] have experimented NLP layers on Turkish sentiment analysis. Their dataset has been collected from Twitter in the telecommunication domain, and they have processed the dataset both automatically and manually to have high confidence data. The effects of normalization, preprocessing, stemming, morphological analyses and POS tagging are tested and 73%-79% accuracy on the dataset with about 6% relative improvement by using empirically determined parameters are obtained. Dehkharghani et al. [31] have semi-automatically generated a Turkish polarity resource, SentiTurkNet, and experimented on Turkish movie reviews. They have used three classifiers that are Logistic Regression (LR), Feedforward Neural Networks, and SVM with sequential minimal optimization algorithm and obtained 91.11%

accuracy as the best when classifying synsets into the three polarities. In this test, they have compared their classification results with manually classified polarities. In the final test, a Turkish movie reviews dataset is classified as positive, negative or objective and the highest accuracy achieved is 66.77% by using the LR classifier.

In our study, we evaluate all possible combinations of TF*IDF weighting schemes, several vector normalization methods, unique words versus N-gram tokenization, and CHI2 versus IG feature selection methods as document vector computation methods and compare their performance on several Turkish and English sentiment analysis datasets. We have obtained our best accuracies without depending on any dictionary-based methodology. Therefore, our methods can be applied to any dataset in any language without requiring complex algorithms and computations.

3. DATASETS USED IN THIS STUDY

In this study, we have developed our own dataset by crawling the top 50 popular E-commerce websites in Turkey. Then, comments on products are fetched by our focused crawler. Table 1 shows some statistics about the comments that are crawled by our system. From these comments, 1000 negative and 1000 positive comments are randomly picked according to the scores given by the users. If the user score is less than 50, the comment is classified as negative, and if it is greater than or equal to 50, the comment is classified as positive. Next, we have manually analyzed all of the comments and decided which ones truly express an opinion. Then totally unrelated and neutral comments are removed from the dataset. The final comment dataset is composed of 600 positive and 600 negative comments. We have to note that, we did not make any categorical selection. So these comments are from a wide and very different category of products such as electronic devices, adult products, or perfumes. There are also many comments in the dataset that contains both positive and negative opinions since only fully neutral and unrelated comments are removed.

Table 1. Statistics of all comments that are crawled by our focused crawler system

# of comments without any user score	# of comments having user score 49/100 or below	# of comments having user score 50/100 or above	total # of comments crawled
37.215	2.214	42.234	81.663

In our experimental evaluations we have also used popular publicly available datasets that are English movie review dataset [9] which has 1000 positive and 1000 negative comments; a greater sized English movie review dataset [22] which includes 5330 positive and 5331 negative comments; Turkish movie review dataset [28] that has 5326 positive and 5326 negative reviews; English product review dataset [15] that has reviews from books, DVD, electronics, and kitchen categories such that each category has 1000 positive and 1000 negative comments; and finally Turkish product review dataset [28] having comments for books, DVD, electronics, and kitchen categories and each category has 700 positive and 700 negative comments. Preprocessed versions of all datasets that are used in this study are published on the <https://github.com/FurkanGozukara/Sentiment-Analysis> to be used by other researchers in their future studies to make more accurate comparison with our results.

4. THE CLASSIFICATION SYSTEM

To conduct more rational experiments, we split the dataset into 10 disjoint sets and apply 10-folds cross-validation for evaluation. In 10-fold cross validation, data is split into non-overlapping, equal sized 10-sets and tests are conducted 10-times with order while leaving one set out as a test set and using the rest of the sets as training set [32]. Then the macro-average of the obtained scores from the tests is calculated, and it becomes the final score. To evaluate classification performance we use both accuracy and F-measure scores. Accuracy is the percentage of correctly classified instances in the test set. F-measure is the harmonic mean of precision and recall of classification of test

instances, where precision is the exactness, and recall is the completeness of the classification algorithm.

Our system first applies pre-processing to the dataset. In the pre-processing phase, comments are converted into bag-of-words form, where the text is split into words by space character and each word represents a feature [33]. We did not apply any stemming or stop word removal since it is shown to be not effective in sentiment analysis for the Turkish language [34]. We have converted all of the characters into lower case, discarded single letter words, replaced punctuations with a space character, applied transformation of diacritics and then removed non-ASCII characters. To the best of our knowledge, transformation of diacritics and removal of the non-ASCII characters at the same time is not done before in the Turkish sentiment analysis area. In the transformation of diacritics process, characters are replaced with their non-diacritic version such as “ş” converted into “s”. It is critical to note that removal of non-ASCII characters process should not be applied alone or before the transformation of diacritics process. If it is applied, it can cause unintended results such as “alışveriş” becomes “alveri”. Additionally, we have conducted experiments with N-gram transformation. An N-gram is an N-character slice of a longer string which is applied continuously [35]. For example 2-gram representation of term “school” is “sc”, “ch”, “ho”, “oo”, “ol”. N-character slicing can be replaced with N-words slicing as well however we have not applied word level N-gram transformation.

After preprocessing is done, features are assigned numerical weights and document vectors are formed since SVMs works with numerical values. This process is very crucial part of text classification task according to results of our empirical analysis when SVMs are used. How well the features are weighted directly affects the success of the system. We have applied a combination of different weighting metrics, and they are presented in Section 5.

After data is preprocessed and document vectors are formed, it is properly formatted for LibSVM.

LibSVM accepts sparse data, and that is a big advantage in text classification where there can be thousands of features missing in each document. After data preparation is done, the C parameter is estimated by using the training set. The C parameter defines how much we want to avoid misclassifying the training dataset. There is a practical guide to usage of SVMs published by Hsu et al. [36] and we refer to their study for information about SVM parameters. For determining the best C parameter, we use “grid-search” technique. For not overfitting the training model, we employ 10-fold cross-validation while using the training set. To find out best performing C parameter, we test the following C parameters and choose the best performing one: 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384. Our system is developed in C# programming language by using .NET 4.5 framework and LibSVMSharp wrapper.

5. EXPERIMENTAL SETUP

System development tests are done only on the dataset which is collected by us in this study. The publicly published datasets of the previous literature studies are tested with only certain promising configurations due to lack of resources. Thus, they may perform better with further parameter optimization. We provide these datasets as well on the Github repository and present their results in Section 7.

We have experimented with the following SVM parameters:

- Shrinking: True or False
- SVM Type: C-SVC or nu-SVC
- Kernel Type: Linear, Polynomial, Radial Basis Function, Sigmoid
- Kernel Parameters: d: Degree, g: gamma, r: coef0, c: cost, n: nu, p: epsilon

More information about these parameters can be obtained from the official document of LibSVM framework. In addition to these parameters, we have tested L1, L2, L3, L4 and L5 normalizations of *SVMNodes* provided by LibSVMSharp wrapper.

The formula of Lp normalization is presented in equation 1 where x_i is the i th element of the vector x , n is the number of the elements in the vector and p is integer from 1 to 5:

$$L_p = \|x\|_p = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^p \right)^{1/p} \quad (1)$$

For document vector computation, we have tested the following metrics:

- Weighting Scheme: TF, IDF, TF*IDF, Relevance Frequency (RF), TF*RF
- Term Frequency (TF) Types: Binary, Raw Frequency, Log Normalization, Double Normalization, and BM25
- Inverse Document Frequency (IDF) Types: Unary, IDF, IDF Smooth, IDF Max, Probabilistic IDF, Delta IDF, BM25 IDF, and Delta BM25 IDF
- Bag-of-words methods: 1-Word Gram, N-character Grams, 1-Word Gram + N-character Grams

An extensive study of above metrics is presented by Paltoglou and Thelwall [19] where we have taken the formulations of the BM25 TF and Delta BM25 IDF schemes. Delta BM25 IDF scheme is a new metric proposed by Paltoglou and Thelwall [19].

Variants of TF weights [19] are given in the below equations where $f_{t,d}$ is the term frequency of term t in document d , k_1 and b are constants of BM25, dl is document length and avg_dl is the average document length of all documents:

$$\text{Binary TF} = \begin{cases} 0 & \text{if term } t \text{ is not in document } d \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Raw Frequency} = \frac{f_{t,d}}{\text{frequency of term } t \text{ in document } d} \quad (3)$$

$$\text{Log Normalization} = 1 + \log_{10}(f_{t,d}) \quad (4)$$

$$\text{Double Normalization} = 0.5 + 0.5 \times \frac{f_{t,d}}{\max_{\{t \in d\}} f_{t,d}} \quad (5)$$

$$\text{BM25} = \frac{(k_1 + 1) \times f_{t,d}}{k_1 \times \left((1-b) + b \times \frac{dl}{avg_dl} \right)} \quad (6)$$

Variants of IDF [19] weights are shown below where N is number of documents, N_t is number of documents that contain term t , N_p is number of positive class documents, N_{pt} is number of positive class documents that contain term t , N_N is number of negative class documents, and N_{nt} is number of negative class documents that contain term t .

$$\text{Unary IDF}=1 \quad (7)$$

$$\text{IDF}=\log \frac{N}{N_t} \quad (8)$$

$$\text{IDF Smooth}=\log \left(1+\frac{N}{N_t}\right) \quad (9)$$

$$\text{IDF Max}=\log \left(1+\frac{\max_{t \in d} N_t}{N_t}\right) \quad (10)$$

$$\text{Probabilistic IDF}=\begin{cases} 0 & \text{if } N=N_t \\ \log \frac{N-N_t}{N_t} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{Delta IDF}=\log \left(\frac{N_p \times N_{nt}}{N_N \times N_{pt}}\right) \quad (12)$$

$$\text{Delta BM25 IDF}=\log \left(\frac{(N_p - N_{pt} + 0.5) \times N_{nt} + 0.5}{(N_N - N_{nt} + 0.5) \times N_{pt} + 0.5}\right) \quad (13)$$

When implementing Delta IDF to our system, we had to make a modification. Proposed Delta IDF method causes error when N_{nt} or N_{pt} is zero. Therefore, if $N_{nt} = 0$, we set the IDF as $\log(N_{pt})$ and if $N_{pt} = 0$, we set IDF as $\log(N_{nt})$. For BM25 we have chosen $k_1=1.2$ and $b=0.95$.

RF is a new metric proposed by Lan et al. [37] and claimed to be more successful than other known techniques for text categorization task. The formula of RF is shown below in equation 14:

$$\text{RF IDF}=\log \left(2+\frac{N_{pt}}{\max(1, N_{nt})}\right) \quad (14)$$

For TF weighting scheme; all TF formulations are tested; for TF*IDF weighting scheme all combinations of TF and IDF formulations are experimented; for RF scheme, RF is implemented as in equation 14 and all combinations of TF*RF are tested. All above algorithms are implemented in C#.

Feature selection techniques are also extensively tested on our dataset. In vectoral representation of text documents, each feature is a dimension thus, feature selection is also known as dimension reduction. For selecting features, top N scored features by a metric such as IG and CHI2 are selected, and the rest of the features are discarded. Feature selection increases the classification performance by reducing the complexity of the problem and can improve the success rate by eliminating noise features. According to our experimental analysis, there is a tradeoff between the performance and the success rate when feature selection is applied, and there isn't a clear pattern for success improvement. For feature selection, we have employed standard definitions of IG and CHI2 algorithms. We refer to the study of Lan et al. [37] for more information about IG and CHI2 algorithms.

6. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

We have experimented with every combination of shrinking, SVM types, kernel types, and the parameters of kernels. According to our empirical analysis, shrinking does not affect the results significantly and selecting the default mode as "true" performs the best. For SVM type; C-SVC, for normalization; L2 normalization perform the best. Among the kernel types, the best performing kernel type is Linear kernel. It is fast when compared to the other kernels, and it produces better success rates. The possible explanation of this is since text categorization task already contains so many dimensions, mapping them into higher dimension by using the other kernels decreases the success rate and increases the complexity of the problem. According to our experiments, parameter tuning of the other kernels is not practical due to the massive number of features when thousands of text documents are being classified. Thus, obtaining higher success rates via parameter tuning is harder in the other kernels when compared to the Linear kernel in sentiment analysis field.

After the first experiments have been completed, we have decided to continue experimenting with only Linear kernel, C-SVC as SVM type and none or L2 normalization. At the second stage of the experiments, we have tested every combination of the TF*IDF weighting metrics that presented in Section 5. We present the best performer configuration for each one of the TF and IDF metrics according to accuracy and F-Measure values in Table 2. The first row in the table shows the best configuration which uses TF*IDF weighting scheme, where TF is implemented as Log Normalization and IDF is computed by Probabilistic IDF formula, with L2 normalization. The worst performer weighting scheme, which is given in the last row of the table, uses raw frequency as TF, and Delta BM25 IDF as IDF without any normalization.

Next, we have experimented N-gram transformations in two different settings with a

combination of all of the weighting metrics presented in Section 5. In the first mode, the documents are transformed into N-gram literals and in the second mode, the documents are transformed into unigram word + N-gram literals representation. At the end of the experiments, we observed that none of the experimented N-gram configurations are more successful than the best configuration presented in Table 2 which do not involve any N-grams. Thus, we propose that in Turkish sentiment analysis of e-commerce product reviews, using N-grams does not lead to any improvement. Furthermore, when N is chosen as 4 or bigger, the dimension of the problem notably increases since the number of features is increased as shown in Table 3. Thus, the complexity and the processing times significantly increase. Additionally, when a lower N value is chosen, the number of distinctive features between documents decreases, therefore, SVM classifier takes much more time to converge when training the model.

Table 2. Best results of each TF and IDF weighting metrics on our collected dataset

TF	IDF	Normalization	Accuracy	F-measure
Log Normalization	Probabilistic IDF	L2	91.08	91.22
Log Normalization	BM25	L2	90.91	91.02
BM25	Probabilistic IDF	L2	90.83	90.97
BM25	IDF Smooth	L2	90.75	90.83
Log Normalization	IDF	L2	90.75	90.82
Double Normalization	Probabilistic IDF	L2	90.75	90.89
Raw Frequency	IDF Smooth	L2	90.58	90.64
Binary	IDF Smooth	L2	89.91	90.03
Binary	Delta IDF	L2	89.75	89.82
BM25	IDF Smooth	None	89.50	89.50
BM25	RF	None	88.25	88.78
Log Normalization	IDF Max	L2	87.66	87.61
Raw Frequency	RF	None	86.83	87.16
BM25	Delta BM25 IDF	None	86.5	86.23
Raw Frequency	Delta BM25 IDF	None	84.66	83.86

Table 3. Number of features in the entire dataset when N-gram method is applied

N-Gram	Words
1	11,058
2	1,165
3	8,532
4	32,612
5	75,422
6	119,284
7	154,698

We have made extensive spelling correction tests as well. To employ efficient spelling correction, a very fast dictionary system which uses Symmetric Delete spelling correction algorithm is implemented. The dictionary framework is publicly published by Wolf Garbe [38]. The framework provides top N suggestions based on maximum edit distance parameter. Our tests involve all combinations of the following options:

- *Dictionary datasets* [39]: Hunspell, Dict_Aff
- *Dictionary with suffix*: True, False
- *Maximum edit distance*: 0, 1, 2, 3, 4
- *Add top N suggestions to the document*: 0, 1, 2, 3, 4, 5
- *Discard word if not exists in the dictionary*: True, False

However, among the 240 ($2*2*5*6*2=240$) different configurations shown above, none of the configurations have improved the accuracy of the best configuration. Thus, we propose that in Turkish product comments sentiment analysis, spelling correction does not improve the accuracy even fine tuning of the parameters are made.

Our next experiments are about testing the effects of feature selection. We have experimented all combination of the following settings with the best configuration which is shown in the first row of Table 2. IG and CHI2 methods are used to select top N percent features where

- N is between 0.1%-10% with 0.1% increment
- N is between 10%-99% with 1% increment

The results of the feature selection experiments are presented in Figure 1, Figure 2, Figure 3 and Figure 4 where in Figure 1 and Figure 2, the X axis is the top N% feature selection ratio and the Y axis is the obtained accuracy, and in Figure 3 and Figure 4 the X axis is top N% feature selection ratio and the Y axis is the ratio of documents which become empty after feature selection.

When the best configuration in Table 2 is used without any feature selection, our dataset is classified with 91.08% accuracy. When top 0.1%-10% features are selected with 0.1% increment by using the IG and CHI2 feature selection methods, the best-obtained accuracy of IG is 88.50% where N is 2.6%, and the best-obtained accuracy of CHI2 is 89.25% where N is 8.7% as shown in Figure 1. Figure 2 displays classification accuracy of IG or CHI2 based feature selection when top 10%-99% features are selected with 1% increment. The best-obtained accuracy of IG is 91.25% where N is 99%, and best-obtained accuracy of CHI2 is

91.33% where N is 81%. As shown in Figure 1 and Figure 2, if we select very small number of features, classification accuracy decreases, however if enough sized feature subsets are chosen classification accuracy increase with respect to no feature selection case. Performances of IG and CHI2 feature selection methods are very similar; however CHI2 has slightly better feature selection performance.

Figure 3 and Figure 4 display percentage of training and test documents which do not have any features when feature selection is applied. The values are average of 10-fold cross-validation tests. When IG based feature selection is made, at the very least 72% of the top features need to be selected to utilize all of the documents in the training set, and when CS based feature selection is made, 73% of the features need to be selected. According to Figure 4 when IG based feature selection is made, at the very least 5.8% of the top features need to be selected to classify all of the documents in the test set, and when CHI2 based feature selection is made, 3.8% of the features need to be selected. Number of predictive features or training features that are left to be used when either training the model or classifying the test data, is an important issue when applying feature selection. We ignore training and test documents that become empty after feature selection is made. Another method to apply is to assign empty test documents to the class having the highest number of instances and this second choice is used by WEKA [40] data mining tool which is commonly used in literature by the researchers for classification experiments. However this method may be misleading when the class sizes are not balanced.

7. COMPARISON OF PREVIOUS WORKS AND THIS STUDY

Finally, we have tested our most successful weighting configurations with the ones which are found as successful in the literature. Therefore we have compared five configurations that are given in Table 4 over the publicly available datasets which are English product reviews [15] (Books,

DVD, Electronics, Kitchen, All_Merged), Turkish movie reviews [28], Turkish product reviews [28] (Books, DVD, Electronics, Kitchen, All_Merged), English movie reviews [9], and sentences of English movie reviews [22]. In Table 4, Config_1 and Config_5 are our proposed most successful document vector computation methods; Config_2 and Config_4 are the best performer methods that

are proposed by [19], and Config_3 is the method that is found as successful by [37]. The first four methods in Table 4 that are Config_1, Config_2, Config_3, and Config_4 do not apply any feature selection. Therefore we can directly compare their results. However, Config_5 is the feature selection applied version of Config_1, therefore comparing Config_5 with only Config_1 will be meaningful.

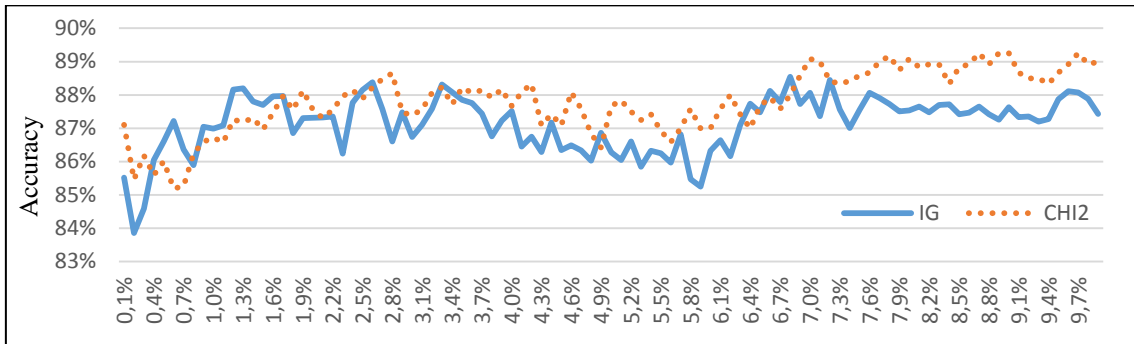


Figure 1. Classification accuracy when top N% (0.1% - 10%) features are selected

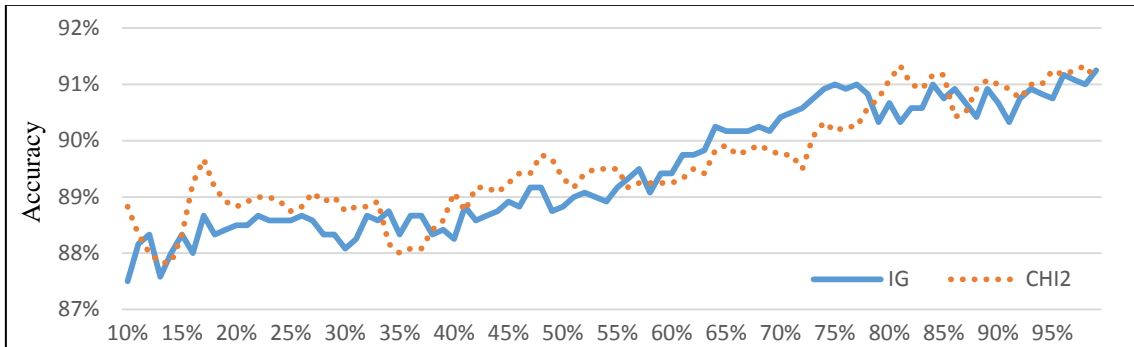


Figure 2. Classification accuracy when top N% (10% - 97%) features are selected

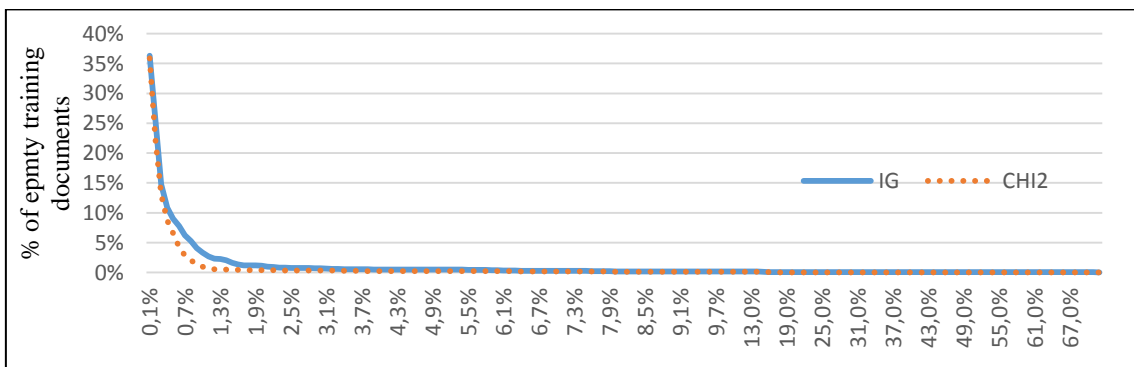


Figure 3. Percentage of training documents that become empty when top N% feature selection is applied

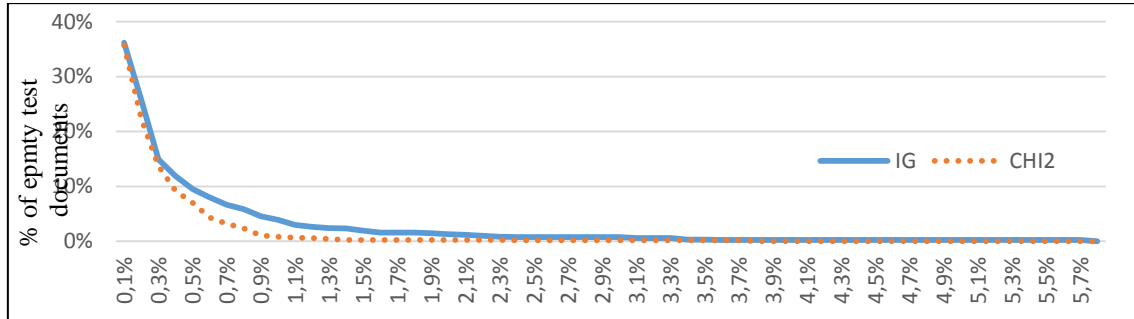


Figure 4. Percentage of test documents that become empty when top N% feature selection is applied

Table 4. List of the tested configurations on the other datasets

	TF	IDF	Normalization	Feature Selection
Config_1:	Log Normalization	Probabilistic IDF	L2	None
Config_2 [19]:	BM25	Delta BM25 IDF	None	None
Config_3 [37]:	BM25	RF	None	None
Config_4 [19]:	BM25	Delta IDF	None	None
Config_5:	Log Normalization	Probabilistic IDF	L2	CHI2 with Top 1% Features

Table 5. Experimental results for English and Turkish movie reviews datasets

	English Movie Reviews [9]		English Movie Reviews [22]		Turkish Movie Reviews [28]	
	Accuracy	F-Measure	Accuracy	F-Measure	Accuracy	F-Measure
Config_1	86.70	86.67	74.45	74.14	88.21	88.15
Config_2	81.05	81.28	73.69	73.03	85.72	85.27
Config_3	84.55	84.98	73.47	74.12	86.13	86.43
Config_4	85.85	85.97	75.68	75.75	87.46	87.40
Config_5	82.35	82.52	69.02	69.02	87.41	87.52

Table 5 presents results when the five methods are applied to English and Turkish movie review datasets that are proposed by [9], [22] and [28]. The best accuracy and F-Measure values for each dataset are written in boldface. As shown in the table, for two out of three movie review datasets, our proposed Config_1 method performs better than Config_2, Config_3, and Config_4. Only for one English movie review dataset [22], Config_4 has the best performance; and our proposed Config_1 is the second best. Applying feature selection to our method does not improve results.

In Table 6 and

Table 7, experimental results for the English product reviews [15] and Turkish product reviews [28] datasets are presented. When the results in Table 6 and

Table 7 are analyzed, it is easily observed that our proposed method Config_1 performs better than other methods. Only for Turkish product reviews dataset, when all categories that are books, DVD, electronics, and kitchen are merged, applying feature selection to our method (i.e., Config_5) improves the performance of Config_1, and as it is seen from

Table 7, the difference between Config_1 and Config_5 in terms of accuracy and F-Measure is very small. Applying feature selection to other methods that are Config_2, Config_3, and Config_4 may also improve their classification accuracies and this experiment may be performed as future work.

When all categories are merged for both product review datasets, all five methods perform slightly better. This improvement may be due to the fact

that when we merge all categories, the number of training instances increases and this allows us to learn better classification model.

In our experiments, we observed that there is a significant difference between our obtained results and the results computed by [19] for Delta IDF (i.e., Config_4) and Delta BM25 IDF (i.e., Config_2) methods even on the same dataset. For example, Config_2 obtains 96.90% accuracy on the English Movie Reviews [9] dataset and 96.40% accuracy on the English Product Reviews [15] dataset in [19], however we obtain 81.05% and 81.25% accuracy respectively. Additionally, RF weighting scheme (i.e., Config_3), which is

shown as superior to the traditional TF*IDF method by [37], has never surpassed the success rate of the best TF*IDF configuration in any of our experiments. We believe that the reason for obtaining different results is due how feature extraction is made, which data preprocessing method is applied, or how empty documents are handled. These differences in the results also show the importance of making formatted datasets publicly available as we do in this study because all researchers will use exactly the same settings, thus, the results will be much more objectively comparable.

Table 6. Experimental results for English product reviews dataset [15]

	Books		DVD		Electronics		Kitchen		All Categories	
	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.
Config_1	84.95	85.07	86.45	86.23	87.95	87.83	90.85	90.83	88.33	88.30
Config_2	81.25	79.29	81.10	78.82	86.25	85.37	88.95	88.67	84.12	82.89
Config_3	80.50	81.72	81.05	81.96	85.20	85.63	87.45	87.94	84.82	85.29
Config_4	83.20	83.16	84.70	84.52	86.45	86.17	89.20	89.24	87.13	87.04
Config_5	80.15	82.25	81.35	81.28	84.64	84.63	85.79	85.85	83.13	83.17

Table 7. Experimental results for Turkish product reviews dataset [28]

	Books		DVD		Electronics		Kitchen		All Categories	
	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.	Acc.	F-M.
Config_1	81.92	81.85	75.35	75.73	80.92	80.50	77.07	76.11	83.58	83.46
Config_2	78.50	76.66	67.57	63.21	77.28	77.23	73.64	73.60	81.15	80.45
Config_3	79.50	80.16	74.28	75.15	76.71	77.57	73.35	74.24	82.11	82.40
Config_4	77.07	76.57	72.64	71.99	77.14	76.96	76.14	75.74	82.85	82.57
Config_5	80.62	80.63	75.05	74.98	77.59	75.77	75.61	74.07	83.97	83.91

8. CONCLUSION

In this study, we have presented through experimental results of sentiment analysis on different datasets and provided a detailed comparison of state-of-the-art weighting metrics. Our results clearly indicate that some of the previously proposed metrics need further experiments for verification. Furthermore, we propose that, with the proper parameter tuning, just using the statistical weighting schemes are as good as expensive linguistic methodologies. We observe

that using log normalization TF * probabilistic IDF weighting scheme with L2 vector normalization has the best classification accuracy in both Turkish and English datasets. Additionally we provide preprocessed versions of all datasets that we have experimented in this study on a GitHub repository. We believe that this contribution is significantly important since it provides easiness and objective comparability for the researchers. As a future study, we plan to do research for a better weighting scheme to employ in sentiment analysis task and perform more comprehensive experiments on the different datasets.

9. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) scholarship 2211-C.

10. REFERENCES

1. Kaya, M., Fidan, G., Toroslu, I.H., 2012. Sentiment Analysis of Turkish Political News, In Proceedings of the the 2012 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 01:174-180.
2. Chang, C.C., Lin, C.J. 2011. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 2:3, p. 27.
3. Melville, P., Gryc, W., Lawrence, R. D., 2009. Sentiment Analysis of Blogs by Combining Lexical Knowledge with Text Classification, In Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1275-1284.
4. Pang, B., Lee, L., 2008. Opinion Mining and Sentiment Analysis. Foundations and Trends in Information Retrieval, 2:1-2, p. 1-135.
5. Liu, B., Zhang, L., 2012. A Survey of Opinion Mining and Sentiment Analysis, In Mining Text Data, 415-463.
6. Vinodhini, G., Chandrasekaran, R., 2012. Sentiment Analysis and Opinion Mining: A Survey, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2: 6, p. 282-292.
7. Pang, B., Lee, L., Vaithyanathan, S., 2002. Thumbs Up?: Sentiment Classification Using Machine Learning Techniques, In Proceedings of the ACL-02 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 10:79-86.
8. Brown, R. W., 1957. Linguistic Determinism and the Part of Speech, The Journal of Abnormal and Social Psychology, 55:1-5.
9. Pang, B., Lee, L., 2004. A Sentimental Education: Sentiment Analysis Using Subjectivity Summarization Based on Minimum Cuts, Proceedings of the 42nd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, 271-278.
10. Hu, M., Liu, B., 2004. Mining and Summarizing Customer Reviews. Proceedings of the Tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 168-177.
11. Dave, K., Lawrence, S., Pennock, D. M., 2003. Mining the Peanut Gallery, Opinion Extraction and Semantic Classification of Product Reviews, Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web, 519-528.
12. Li, G., Liu, F., 2012. Application of a Clustering Method on Sentiment Analysis, Journal of Information Science, 38:2, p. 127-139.
13. Wilson, T., Wiebe, J., Hoffmann, P., 2005. Recognizing Contextual Polarity in Phrase-Level Sentiment Analysis, In Proceedings of the Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing, 347-354.
14. Wilson, T., Wiebe, J., Hoffmann, P., 2009. Recognizing Contextual Polarity: An Exploration of Features for Phrase-Level Sentiment Analysis, Computational Linguistics, 35:3, p. 399-433.
15. Blitzer, J., Dredze, M., Pereira, F., 2007. Biographies, Bollywood, Boom-Boxes and Blenders: Domain Adaptation for Sentiment Classification, Proceedings of the 45th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 440-447.
16. Prabowo, R., Thelwall, M., 2009. Sentiment Analysis: A Combined Approach, Journal of Informetrics, 3:2, p. 143-157.
17. Martineau, J., Finin, T., 2009. Delta TfIdf: An Improved Feature Space for Sentiment Analysis, Proceedings of the Third International Icwsm Conference, 258-261.
18. O'keefe, T., Koprinska, I., 2009. Feature Selection and Weighting Methods in Sentiment Analysis, Proceedings of the 14th Australasian Document Computing Symposium, Sydney, 67-74.
19. Paltoglou, G., Thelwall, M., 2010. A Study of Information Retrieval Weighting Schemes for Sentiment Analysis, In Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 1386-1395.
20. Jang, H., Shin, H., 2010. Language-Specific Sentiment Analysis in Morphologically Rich Languages, Proceedings of the 23rd

- International Conference on Computational Linguistics: Posters, 498-506.
21. Arora, S., Mayfield, E., Penstein-Rosé, C., Nyberg, E., 2010. Sentiment Classification Using Automatically Extracted Subgraph Features, In Proceedings of the NAACL HLT 2010 Workshop on Computational Approaches to Analysis and Generation of Emotion in Text, 131-139.
 22. Pang, B., Lee, L., 2005. Seeing Stars: Exploiting Class Relationships for Sentiment Categorization With Respect To Rating Scales, Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, 3:1, p. 115-124.
 23. Yessenalina, A., Choi, Y., Cardie, C., 2010. Automatically Generating Annotator Rationales to Improve Sentiment Classification, In Proceedings of the ACL 2010 Conference Short Papers, 336-341.
 24. Eroğul, U., 2009. Sentiment Analysis in Turkish, M.S. Thesis. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
 25. Boynukalin, Z., 2012. Emotion Analysis of Turkish Texts by Using Machine Learning Methods, M.S. Thesis. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
 26. Seker, S.E., Al-Naami, K., 2013. Sentimental Analysis on Turkish Blogs via Ensemble Classifier, In Proc. The 2013 International Conference on Data Mining, 10-16.
 27. AYTEKİN, Ç., 2013. An Opinion Mining Task in Turkish Language: A Model for Assigning Opinions in Turkish Blogs to the Polarities, Journalism and Mass Communication, 3:3, p. 179-198.
 28. Demirtas, E., Pechenizkiy, M., 2013. Cross-Lingual Polarity Detection with Machine Translation, Proceedings of the Second International Workshop on Issues of Sentiment Discovery and Opinion Mining, p. 9.
 29. Akba, F., Uçan, A., Sezer, E., Sever, H., 2014. Assessment of Feature Selection Metrics for Sentiment Analyses: Turkish Movie Reviews, 8th European Conference on Data Mining 2014, 180-184.
 30. Yıldırım, E., Çetin, F.S., Eryiğit, G., Temel, T., 2015. The Impact of NLP on Turkish Sentiment Analysis, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 7:1.
 31. Dehkharghani, R., Saygin, Y., Yanikoglu, B., Oflazer, K., 2015. Sentitürknet: A Turkish Polarity Lexicon for Sentiment Analysis, Language Resources and Evaluation, 1-19.
 32. Kohavi, R., 1995. A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection, International Joint Conference on Artificial Intelligence, 14:2, p. 1137-1143.
 33. Sriram, B., Fuhry, D., Demir, E., Ferhatosmanoglu, H., Demirbas, M., 2010. Short Text Classification in Twitter to Improve Information Filtering, In Proceedings of the 33rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 841-842.
 34. Parlar, T., 2016. Feature Selection for Sentiment Analysis in Turkish Texts, Ph.D. Dissertation, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, the Faculty of Engineering and Architecture Electrical & Electronics Engineering.
 35. Cavnar, W.B., Trenkle, J.M., 1994. N-Gram-Based Text Categorization, In Proceedings of SDAIR-94, 3rd Annual Symposium on Document Analysis and Information Retrieval, 161-175.
 36. Hsu, C.W., Chang, C.C., Lin, C.J., 2010. A Practical Guide to Support Vector Classification, Department of Computer Science National, Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, 1-16.
 37. Lan, M., Tan, C.L., Su, J., Lu, Y., 2009. Supervised and Traditional Term Weighting Methods for Automatic Text Categorization, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 31:4, p. 721-735.
 38. <https://Github.Com/Wolfgarbe/Sympell>. Accessed, 10.06.2016.
 39. <https://Code.Google.Com/Archive/P/Tr-Spell/>. Accessed, 10.06.2016.
 40. Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I.H., 2009. The WEKA Data Mining Software: An Update, ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 11:1, p. 10-18.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar,**

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; **Makale ise:**, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. **Kitap ise:** cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. **Bildiri ise:** konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. **Elektronik ortamdan alınmış ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir." **Tez ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. **Rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. **Web Sitesi ise:** Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Kurum/Kuruluşlara ait ise:** Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Elektronik kitap/rapor ise:** Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126