



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

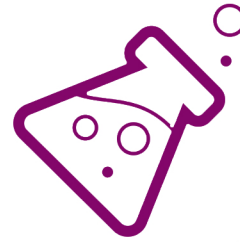
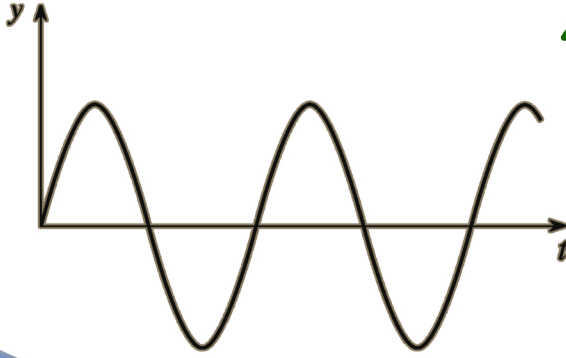
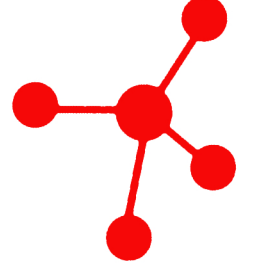
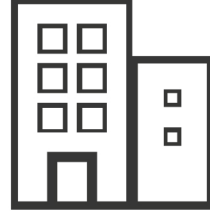
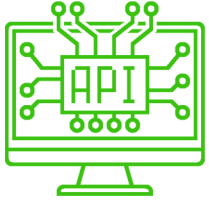
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 7

SAYI
ISSUE 13

ARALIK
DECEMBER

2020



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Cilt:7 Sayı:13

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA / Baş Editör ve Alan Editörü

Editörler

Doç. Dr. Tanju TEKER / Alan Editörü

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil Editörü

Yazışma Adresi / Correspondence

Address Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

<https://dergipark.org.tr/pub/adyumbd>

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN..... (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZAZ (İnönü Üniversitesi)
- 14-Dr. Öğr. Üyesi Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7-Doç. Dr. Sema Koç KAYHAN.....(Gaziantep Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

Bursa – Akçapınar – Kazanpınar Civarında Kireçtaşı Kökenli Mermer Oluşumlarının Etüt Ve Değerlendirilmesi– “Araştırma Makalesi”

Survey And Evaluation Of Limestone Origin Marble Formations Around Bursa - Akçapınar - Kazanpınar– “Research Article”

Taşkın Deniz YILDIZ, Bektaş UZ, Selen ÜLGEN, Veli UZ, Nihal Derin COŞKUN, Ali UÇAR, Seda KAYIKÇI..... 56-74

Variation Of Air Concentration In Ski Jump Jets – “Research Article”

Dulusavaklarda Sıçratma Eşiğinden Çıkan Su Jeti Hava Konsantrasyonunun Değişimi – “Araştırma Makalesi”

Cüneyt YAVUZ 75-88

2012-2018 Yılları Tıbbi Atıklarının Nüfus İle İlişkilendirilmesi Ve Mevcut Bertaraf Yöntemlerinin İncelenmesi – “Araştırma Makalesi”

Evaluation Of 2012-2018 Medical Wastes With The Population And Current Disposal Methods – “Research Article”

Hasan ERYILMAZ, Kazım Onur DEMİRARSLAN 89-103

Identification Of Knights' Relations For 5x5 Knight Graph By Modularity– “Research Article”

5x5 At Çizgesi İçin Modülerlik İle At İlişkileri Tanımı– “Araştırma Makalesi”

Serkan GÜLDAL 104-114

Suda Toplam Petrol Hidrokarbonları (Tph) Analizi İle Kızılırmak Grabeni'nin (Nevşehir) Hidrokarbon Potansiyelinin Araştırılması – “Araştırma Makalesi ”

Investigation Of Hydrocarbon Potential Of Kızılırmak Graben (Central Anatolia) By Total Petroleum Hydrocarbons (Tph) In Water Analysis– “Research Article”

Adil ÖZDEMİR, Yıldırım PALABIYIK, Atilla KARATAŞ, Alperen ŞAHİNOĞLU 115-136

Altı Sigma Tekniğiyle Tekstil Sektöründe Çevrim Sürelerinin İyileştirilmesine Yönelik Bir Uygulama– “Araştırma Makalesi ”

An Application For Improving Cycle Times In Textile Sector With Six Sigma Technique– “Research Article”

Mustafa DESTİE, Murat KARABULUT..... 137-147

Faz Değiştirici Maddelerin Adıyaman İklım Koşullarında Yalıtım Amaçlı Kullanımının İncelenmesi– “Araştırma Makalesi ”

Investigation Of The Use Of Phase Change Substances For Insulation Purposes In Adıyaman Climate Conditions– “Research Article”

Refet KARADAĖ, İsmail BOZKURT, Zuhıl KARAGÖZ GENÇ, Murat GENÇ, Hacı SOĖUKPINAR 148-156

Doğal Bir Materyal Olarak Keçi Kılı Lifleriyle Modifiye Edilen Kohezyonlu Zeminlerin Donma-Çözölme Direnci– “Araştırma Makalesi ”

Freeze-Thaw Resistance Of Cohesive Soils Modified With Goat Hair Fibers As A Natural Materials– “Research Article”

Necmi YARBAŞI..... 157-166

BURSA – AKÇAPINAR – KAZANPINAR CİVARINDA KİREÇTAŞI KÖKENLİ MERMER OLUŞUMLARININ ETÜT VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Taşkın Deniz YILDIZ^{1*}, Bektaş UZ², Selen ÜLGEN², Veli UZ³, Nihal Derin COŞKUN⁴, Ali UÇAR³, Seda KAYIKÇI²

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, 01250, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34469, Türkiye

³Dumlupınar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43000, Türkiye

⁴Ordu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Ordu, 52200, Türkiye

Geliş tarihi: 07.05.2020 Kabul tarihi: 27.08.2020

ÖZET

Bu çalışmada, 16 km²'lik bir alanı kapsayan Akçapınar-Kazanpınar civarı mermer yatakları araştırılmıştır. İnceleme alanı içinde blok mermer üretimi amaçlı dört farklı bölgede yer alan kireçtaşları, saha ve laboratuvar verileriyle değerlendirilmiştir. Bu bölgelerden alınan Numune 2 ve 3 üzerinde yapılan analizlere göre, yapı ve doku, sertlik, mineral büyüklükleri ve dağılımları, kesilebilirlik, cila kabul, ayrışma gibi özellikler olumlu bulunmuştur. Ayrıca albenisi açısından “Apolyont beji”ne benzemesi gibi özellikleri ocak oluşturmada etkili olan faktörler arasındadır. Bunun yanı sıra yine bu yöreden alınan örneklerle uygulanan fiziko-mekanik testlere göre elde edilen su emme, porozite, birim hacim ağırlığı ve tek eksenli basınç dayanım değerleri TS değerlerine göre oldukça uygun oldukları belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, yörede üretilen veya üretilecek mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayaç grubuna dahil olduğu, ve blok üretimi, plaka üretimi ve cilalanmasına da uygunluk gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Doğaltaş, Jeoloji, Kireçtaşı, Mermer, Mineral*

SURVEY AND EVALUATION OF LIMESTONE ORIGIN MARBLE FORMATIONS AROUND BURSA - AKÇAPINAR - KAZANPINAR

ABSTRACT

In this study, marble deposits around Akçapınar-Kazanpınar were investigated. Limestones in four different regions for block marble production within the study area were evaluated with field and laboratory data. According to the analysis made on Samples 2 and 3, properties such as structure and texture, hardness, mineral sizes and dispersions, cuttability, polishing acceptance and weathering were found positive. In addition, its features such as its similarity to “Apolyont beige” are among the factors that are effective in creating a quarry. In addition, it was determined that the water absorption, porosity, unit volume weight and uniaxial compressive strength values obtained according to the physico-mechanical tests applied to the samples taken from this region are quite suitable according to the TS values. Based on these results, it was concluded that the marbles in the region are included in very strong, compact, massive rock group, and are suitable for blockstone/plate production and polishing.

Keywords: *Natural stone, Geology, Limestone, Marble, Mineral.*

* e-mail: tdyildiz@atu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-2257> (Sorumlu Yazar),

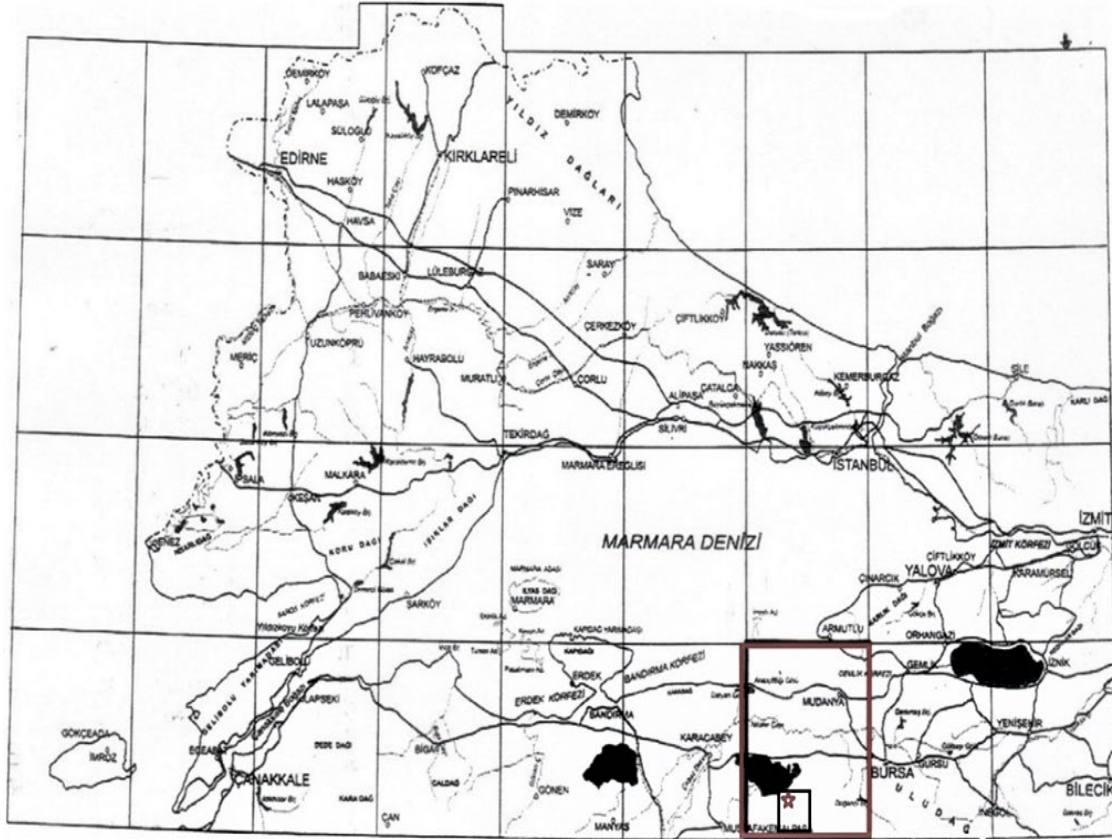
e-mail: veli.uz@dpu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-9326>,

e-mail: nihaldcoskun@dpu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7112-1115>,

e-mail: ali.ucar@dpu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5220-8829>

1. Giriş

1/100000 ölçekli Bursa H21 paftası, Balıkesir-Bursa il sınırları içerisinde Marmara Denizi – Ulubat Gölü ve Osmaniye arasında yer almaktadır [1]. Çalışma alanı ise bu pafta içerisinde 1/25000 ölçekli Bursa H21-d3 paftası içinde yer almaktadır. Çalışma alanı Doğuda Kazanpınar, batıda Akçapınar, güneyde Doğanalan Köyü ve kuzeyde Çobantaşı civarına yayılmış yaklaşık 16 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. H21 pafta alanı içerisinde inceleme alanı [1]

Şekilde kırmızı renkli çerçeve H21, siyah renkli çerçeve ise H21d3 pafta alanını göstermektedir. Bu çerçeve içerisinde çalışma yeri işaretlenmiştir. Çalışma alanı fazla yüksek olmayan tepeler ve hafif eğimli yamaçlardan oluşmaktadır. Bölgede Bekar Tepe (504 m), Asar Tepe (469 m), Düzpınar Tepe (437 m), Açma Tepe (480 m) ve Hanyeri Tepe (500 m) önemli tepeler arasında yer almaktadır. Bölgedeki dereler ise; Kömürocağı Deresi, Çınarlıçeşme Deresi, Karagöz Deresi, Burunlarla Deresi, İhlamurluk Deresi, Kaynak Deresi'dir. Çalışma alanının yüksek kesimlerinde genellikle kireçtaşları görülmektedir.

Çalışma alanı civarında daha önceden yapılmış araştırmalar aşağıda verilmiştir:

- [2] ve [3]: Bursa yöresinde yüzeylenen "Bilecik Kireçtaşı" adı ilk defa bu araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Çok sayıda araştırmacının çalıştığı Bilecik Kireçtaşının yaşı Geç Jura-Erken Kretase olarak belirlenmiştir.

- [4] Bu birim çalışma alanında Akçakoyun Formasyonu adı altında incelenmiştir.

- [5]: Bilecik Kireçtaşı'nın “bej veya açık gri renkli kriptokristalin kalkerler” adı altında ve Bayırköy Formasyonu’nda bulunan fosilli serinin en üst kısmı olarak açıklanmıştır.
- [6]: Bursa – Bilecik yöresinde yapılan bir çalışmada Bayırköy Formasyonu ile Bilecik Kireçtaşı arasında paralel olarak bir uyumsuzluk bulunduğu bahsedilmiştir. Ancak bu formasyonların dokanakları tartışmalı bir konudur. [2], [7] ve [8] gibi bazı yazarlar bu iki dokanak arasında uyumsuzluk olduğunu kabul etmiştir.
- [9] ve [10]: Bu araştırmacılar ise Bilecik Kireçtaşı ve Bayırköy Formasyonları arasındaki dokanağın dereceli geçişten ibaret olduğunu belirtmişlerdir.
- [11]: Bayırköy Formasyonu ile Bilecik Kireçtaşı arasındaki ilişkinin dereceli geçişli olduğunu ve Bilecik Kireçtaşı'nın yaşının Dogger – Malm – Alt Kretase olduğunu ileri sürmüştür.
- [12]: Batı ve Kuzeybatı Anadolu’da geniş alanlara yayılan Yolçatı Formasyonunda yapılan çalışmalar sonucu Orta Miyosen yaşı verilmiştir. Birimin üst kesimlerinde ise Piyosen fosillerine rastlanılmıştır.
- [13]: Bu araştırmacılar ise söz konusu olan Yolçatı Formasyonuna ait bu çökellerin yaş aralığını Orta Miyosen – Pliyosen kabul etmişlerdir.
- [14]: Bazı araştırmacılar ise Neojen yaşını daha uygun bulmuştur.
- [15]: MTA yaptığı çalışmalar sonucunda Bursa ve Civarının 1/500000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Bu haritayı MTA, internet sitesinde yayınlamaktadır.
- [1]: MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi projelerinden “Karakaya Kuşağı’nın jeolojisi jeodinamik evrimi” projesi kapsamında elde edilen yeni bilgiler ışığında H21 paftası revize edilmiştir.
- [16]: İnceleme alanı Bursa Mustafakemalpaşa – Sincansarnıç ve civarında yer alan mermer sahasının jeolojik ve mermer yönünden etüt ve incelemesi yapılarak, saha üretim potansiyeli açısından değerlendirilmiştir.
- [17]: Bursa – Doğanalan – Körekem civarında mermer oluşturan kireçtaşlarının etüt ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; Bu araştırmalar sonrasında Bursa – Doğanalan – Kazanpınar civarında mermer oluşturan kireçtaşlarının incelenmesinin gerekliliği ortaya çıkmış ve bu doğrultuda öncelikle inceleme alanının yerel jeolojisi belirlenmiştir. Ardından mermer ocağı açılabilmesi için ocaklardan alınan numunelerin makroskopik ve mikroskopik özellikleri belirlenmiştir. Devamında numunelerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen tüm bulgular ışığında kayaların kalite farklılıkları karşılaştırılmış, kalite farklılıklarının nedenlerinin neler olabileceği irdelenmiştir. Ayrıca bu sahaların, blok mermer üretimine, plaka üretimine ve cilalanmaya uygunluğu belirlenerek kalite farklılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışma arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında ilk önce bölgenin ve çalışma sahasının jeolojisi ortaya konmuştur. Laboratuvar çalışmalarında ise arazi çalışması kapsamında uygun görülen lokasyonlardan alınan örneklerinde iki aşamalı çalışmalar yapılmıştır. İlk aşamada örneklerin makroskopik özellikleri ile ince kesitleri alınarak polarizan mikroskopta mineralojik ve petrografik incelemeleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise, örneklerin mekanik testleri İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin–Kaya Mekanik Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

Numunelerin makroskopik özelliklerden renk, yapı ve doku, ayrışma, sertlik, ayrışma özelliği, cila kabulü ve asitte çözünürlülük özellikleri belirlenmiştir. Mikroskopik özelliklerinden ise mineral içerikleri, yapı ve doku, tane dağılımları belirlenmiştir.

En sonunda da numunelerin fiziko-mekanik özelliklerinden yoğunluk–birim hacim ağırlıkları, görünür gözeneklilik (porozite) ve boşluk oranları (suya doyurma yöntemi), ağırlıkça ve hacimce su emme ve tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen tüm veri ve bilgiler birlikte değerlendirilerek yorumlanmış, mermer oluşumlarının değerlendirilebilme durumlarını özellikle mineralojik bileşim ve dokusal anlamda etkileyen nedenler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

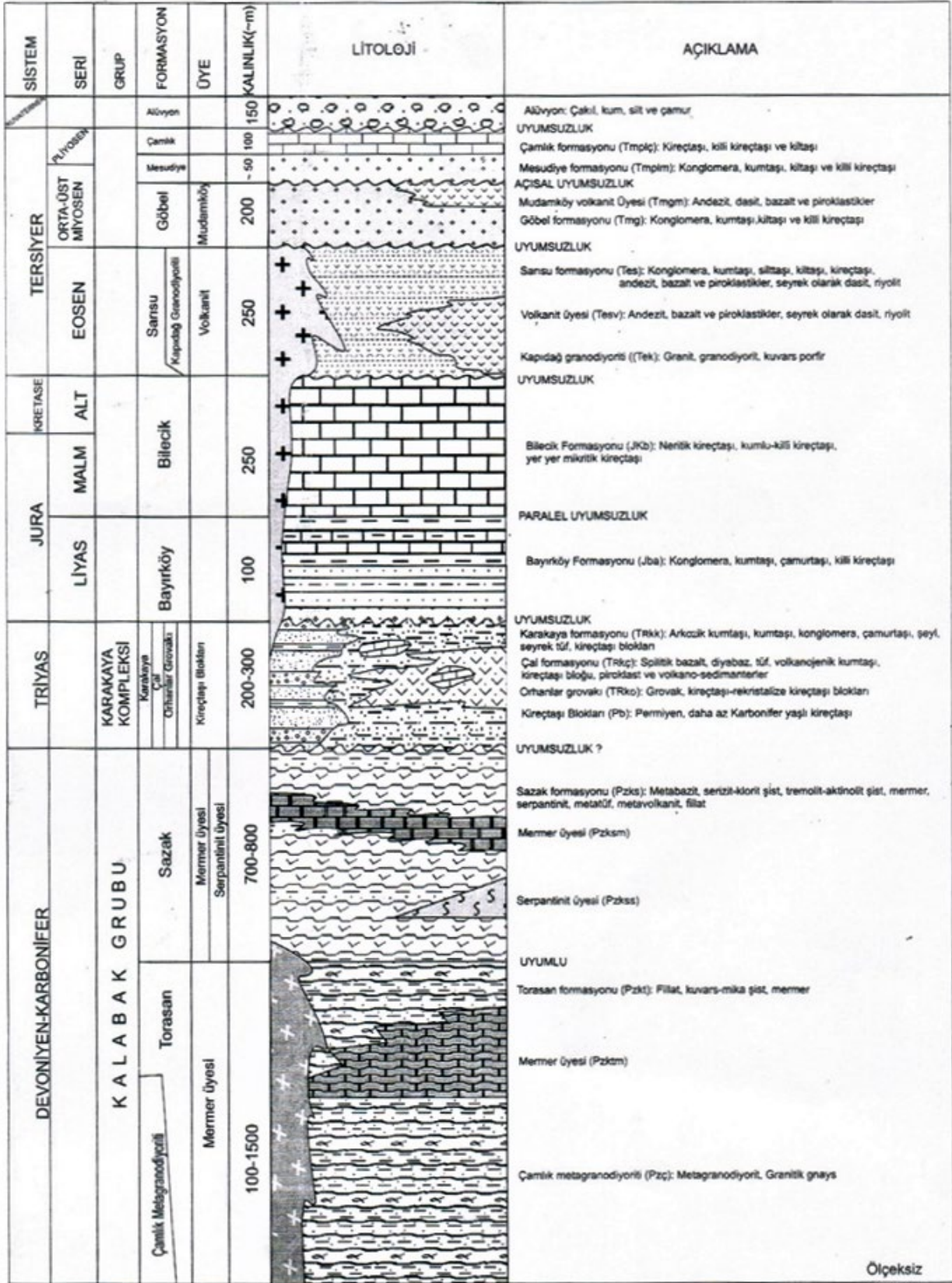
3. Bölgenin jeolojisi

H21 pafta alanı Kuzeybatı Anadolu’da, üç ayrı tektono-stratigrafik birimin bir araya geldiği bir alandır. İstanbul Zonu, Sakarya Zonu ve Tavşanlı Zonu’na ait birimler bu pafta alanında yer alır [1]. Bu tektonostratigrafik birimler kuzeyden güneye İstanbul Zonu [18], Sakarya Zonu [18] ve Tavşanlı Zonudur [19]. Bu birimler birbirleriyle tektonik ilişkilidirler. İstanbul Zonu ile Sakarya Zonu arasındaki ilişki, aralarında bulunan Marmara Denizi sebebiyle H21 paftasında gözlenmemektedir (Şekil 1). Tavşanlı Zonu’na ait birimler Sakarya Zonu birimleri üzerinde tektonik olarak yer almaktadır. Tersiyer birimleri tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Bölgede iki ayrı granitoyitin varlığı söz konusudur. Bunlardan birincisi Devoniyen-Karbonifer yaşlı Çamlık metagranodiyoriti, sadece Sakarya Zonu’nu kesmekteyken, Eosen yaşlı Kapıdağ granodiyoriti tüm zonları kesmektedir. Eosen döneminde Sarısu formasyonuna ait denizel birimler İstanbul Zonu ve Sakarya Zonu birimlerini açısız uyumsuzlukla üzerlemektedir. Neojen’de karasal çökeller önceki tüm birimleri açısız uyumsuzlukla örtmektedir [1].

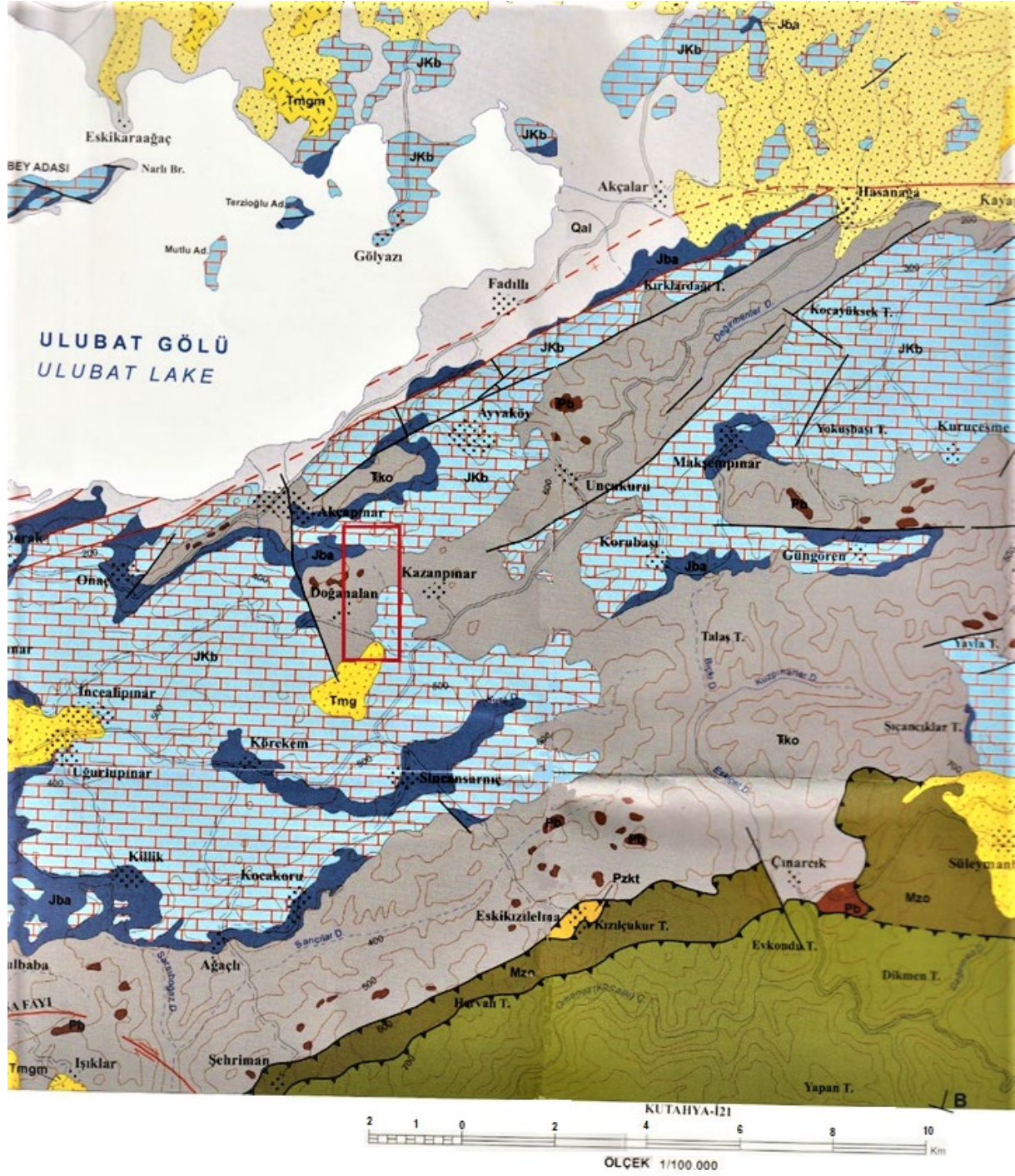
Sakarya Kıtası [20] ya da Sakarya Zonu [19] olarak isimlendirilen kuşak içinde bulunan bölgede birbiriyle tektonik ilişkili, genel olarak KD-GB uzantılı Geç Paleozoyik ve Triyas yaşındaki birimler temel kayalar olarak yüzeylemektedir [1] (Şekil 2).

Çalışma alanı Sakarya Zonu örtü birimlerini barındırmaktadır. Çalışma alanı 1/100000’lik jeoloji haritası içerisinde aşağıda görülmektedir (Şekil 3).

Şekilde inceleme alanı kırmızı renkli çerçeve içerisinde yaklaşık olarak işaretlenmiştir. Çalışma alanında Bilecik Formasyonu (JKb), Orhanlar Grovakı (Trko), Bayırköy Formasyonu (Jba) ve Göbel Formasyonu (Yolçatı Formasyonu) (Tmg) görülmektedir. Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru, Triyas yaşlı Orhanlar Grovakı, Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu ve Bilecik Kireçtaşı, Miyosen yaşlı Yolçatı Formasyonu bulunmakta olup aşağıdaki alt başlıklarda ayrı ayrı ele alınmıştır.



Şekil 2. Sakarya Zonu ve örtü birimlerinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [1]



Şekil 3. Bandırma – H21 paftası jeoloji haritası [21]

3.1. Bayırköy Formasyonu

Bayırköy Formasyonu, kaba dokulu, sert, dayanımlı ve çoğunlukla kötü boylanmış kumtaşı görünümünde olup, rengi genellikle kirli sarı – kahve arasında değişmektedir. Yer yer kırmızı – yeşil renklere rastlanılmaktadır.

Bayırköy Formasyonunun alt düzeyleri karasal ortamı, üst düzeyleri ise kıyı-sığ denizel ve yer yer de şelf önü ortamını yansıtır. Böylece bu Formasyon üzerine, mostra veren sığ denizel kireçtaşları gelmektedir. Yaklaşık 50-100 metre olan birimin kalınlığı [1] yer yer 500 metreye kadar ulaşmaktadır.

Taban konglomerası kuvars ve granit çakıllardan oluşmakta olup bu birim tavanına doğru yeşilimsi, sarımsı, beyazımsı olan çakılların boyu küçülmektedir. Taban konglomerası üzerine ise dayanımlı ve kötü boylanmış kumtaşları gelmektedir. Yüzeyde bozuşmuş olan kumtaşlarının üst seviyelerinde ise ince bir şekilde çamurtaşı ve silttaşı düzeyleri yer almaktadır.

Konglomera ve kumtaşlı seviyeler kalın-orta tabakalı, silttaşı ve kilttaşlı seviyeler ile killi kireçtaşları orta-ince tabakalıdır. Kırmızı, beyaz, pembe renkli, yaygın olarak ammonit, belemnit, brakriyapod fosilleri içeren yumrulu kireçtaşları, kırıntılılar içinde merccekler halinde olup, Ammonitico Rosso fasiyesi özellikleri taşımaktadır [1].

Temel birimlerin üzerine transgresyonla yerleşen Bayırköy Formasyonuna ait kırıntılı çökelimden uyumlu olarak beyaz, krem, açık gri renkli, kırılğan özellikli, Orta Jura – Erken Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşına geçilmektedir [2] ve [11].

3.2. Bilecik Kireçtaşı

Bilecik formasyonu şelf ortamında çökelmiş, platform tipi (neritik) kireçtaşlarından oluşmuştur [1]. Bu birim altta grimsi, beyaz renkli, kalın tabakalı, fosilli, yumrulu veya çakıllı kireçtaşı olarak başlayıp üste doğru beyaz pembe renkli, düzgün tabakalı, çok seyrek fosilli, ince kristalli ve kırılğandır [7]. Bilecik formasyonunun H21 paftasındaki kalınlığı 250-300 metre dolayındadır [1].

Birim; beyaz, krem, açık gri, ayrıışmış; oksitli yüzeyi ise sarı renkli, orta – kalın tabakalı ve yerel olarak masif görünümlüdür. Pürüzlü, kırıklı, çatlaklı, ikincil olarak gelişmiş kil ve kalsit dolgulu olan Bilecik Kireçtaşı, üst kesimlere doğru orta – kalın, seyrek olarak da ince katmanlıdır. Belirgin etmen ve çatlakların yer aldığı birimde, yüzeydeki kırık sistemlerine bağlı olarak yer yer mağaralar ve çukurluklar oluşmuştur. Genelde mikritik dokuda kireçtaşlarından oluşan kalsit dolgulu Bilecik Kireçtaşı homojen bir karbonat istifidir. Bakırköy Formasyonu ile Bilecik Kireçtaşı arasındaki dokanak uyumludur [9], [10] ve [11].

3.3. Yolçatı Formasyonu

Bursa'nın doğusunda mostra veren (Orta Miyosen – Pliyosen) genç karasal çökeller Yolçatı Formasyonu olarak adlandırılmaktadır [22]. Jeoloji haritasında Göbel Formasyonu olarak adlandırılmıştır [1], [21]. Bu birim, az eğimli ya da yataya yakın bir tabakalanma gösterir.

Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da geniş alanlara yayılan Yolçatı Formasyonu'nun üst kesimlerinde Pliyosen fosillerine rastlanılmıştır. Bu nedenlerle bu kırıntılı çökellerin yaş aralığı olarak Orta Miyosen – Pliyosen olarak kabul edilmiştir [12]. Bu Formasyon Görükle güneyi ile Ulubat Gölü güneyi ve güneydoğusunda yaygın olarak yüzeyler [1] (Şekil 3).

Çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı gibi litoloji topluluklarının yanıl ve düşeyde birbirleri ile girik olduğu bir istiftir. Temel kayalar (Kalabak grubu, Bilecik Formasyonu gibi) üzerine açılal uyumsuzluk ile gelen birim temelden tüeyen çakılların yoğun olduğu ve kumlu ara seviyeler baskın litoloji topluluğunu oluşturur. Buraya kadar birimin rengi kırmızı, kahverengi, kirli sarı görünümlüdür. Kanal dolgusu ve çapraz tabakalanmalı sedimanter yapılar çokçadır. Birim daha üstte ve yanılal giderek ince-orta tabakalı, bej-sarımsı beyaz renkli killi kireçtaşları ve bunlarla ardalanmalı gri, yeşilimsi, kirli beyaz renkli kiltası ile silttaşlarına geçer. Menderesli akarsu ve gölsel ortama geçişe işaret eden bu seviyelerde arazi alanı haricinde (daha güneyde) kömür ve bor gelişimleri vardır [1].

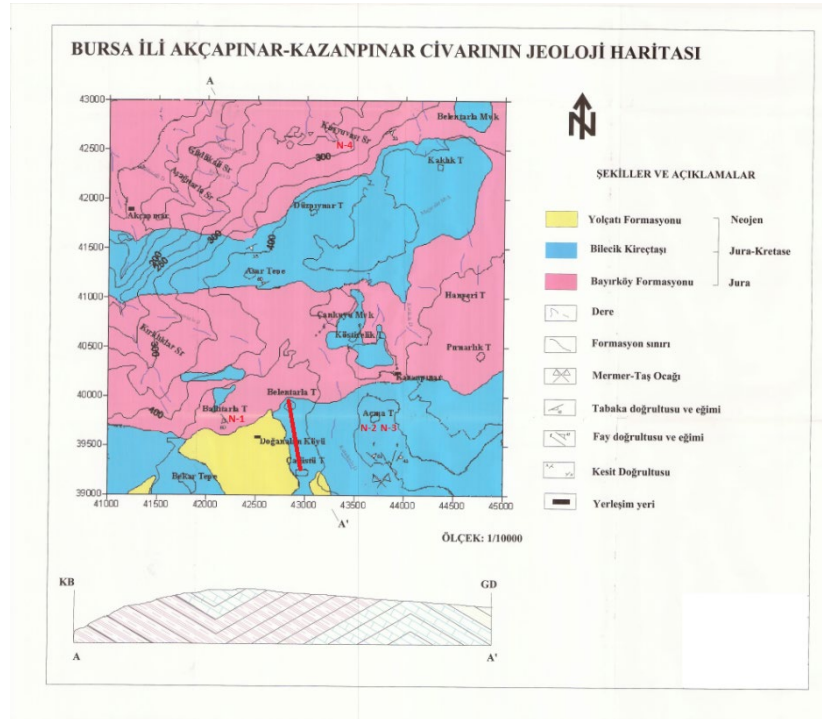
3.4. Orhanlar Grovaki (Trko)

Bu birim Karakaya kompleksi içerisinde likid ara katkılı monoton grovaplardan oluşmaktadır. Orhanlar grovaki sarımsı kahve renkli, taze yüzeyi nefti renkli, çoğunlukla altere olmuş, yer yer küresel ayrıışmalı grovaplardan oluşmaktadır. Masif ya da kalın tabakalanmalı grovaplal ince-orta

taneli, kötü tane boyu dağılımlı olup derlenen örneklerin petrografik incelemesinde (Tanımlayan Fatma Yavaş) köşeli kuvars, feldspat, daha ince silt boylu kuvars taneleri ve metaformik kayaç parçalı tanelerin killi ve serizitli bir matriksle bağlandığı tespit edilmiştir. Taneler genelde köşelidir. Bazı alkali feldspatlarda grafik doku gözlenmektedir. Orhanlar Grovaki içinde permiyen yaşlı neritik kireçtaşı bloklarına (Pb) sıklıkla rastlanılmaktadır. Permiyen Yaşlı Kireçtaşı Blokları (Pb); Karakaya formasyonu, Çal formasyonu, Orhanlar Grovaki içinde Sakarya Zonu boyunca yoğun olarak görülen siyahımsı, gri, bej renkli, kalsit damarlı yer yer kristalize olmuş küçüklü-büyükü kireçtaşı bloklarıdır. Bu bloklar tektonik hareketlenmelere eşlik etmiş platform ya da deniz tepeleri tipi sedimanter kökenli olistolit ve olistostromlar olarak yorumlanabilir [1].

4. İnceleme alanı jeolojisi

İnceleme alanı içinde yer alan kesimde üç farklı jeolojik birim yer almaktadır. Bunlar temelden itibaren stratigrafik olarak bölgesel ölçekli kumtaşı ve yer yer çakıllar içeren Bayırköy Formasyonu, bunun üzerine uyumlu olarak Bilecik Kireçtaşları, ve son olarak da açısız diskordansla Bilecik Kireçtaşlarının üzerine gelen Yolçatı formasyonu şeklinde sıralanmaktadır. Bursa Akçapınar-Kazanpınar civarının jeoloji haritası ve enine kesiti aşağıda görülmektedir (Şekil 4).

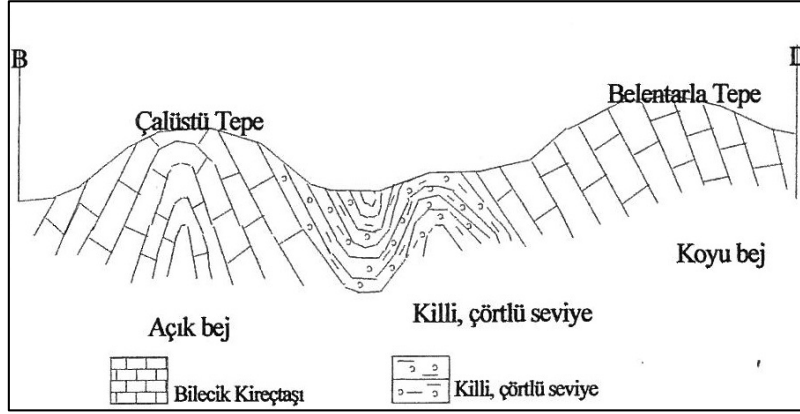


Şekil 4. Bursa Akçapınar-Kazanpınar civarının jeoloji haritası ve enine kesiti [23]

İnceleme alanında daha çok dere ve vadiler ile yamaçlarda yayılım gösteren Bayırköy Formasyonu; Burunlar Deresi, Kızılcıkdere, Kazanpınar ve Akçapınar Köylerinin kuzeydoğusunda ve civarında yüzeylenir. Bu birimi oluşturan kayaçlar, yüzeyde ince tabakalı, sarı-kahverengi, kötü bir şistoziteye sahip, yüzeyde kısmen ayrışma şekilleri gösterir. Şistozite genelde KD doğrultulu, güneydoğuya $68-70^{\circ}$ eğimlidir. Ayrıca inceleme alanı kuzeyinde Kuşyuvası sırtı- Belentarla civarında formasyon KD doğrultulu ve 35° güneybatıya eğimlidir. Birimin bölgesel ölçekli oluşum sırası geçirmiş olduğu tektonik olaylara bağlı olarak özellikle Akçapınar – Belentarla arasında KB – GD yönelimli 40-50 metre atımlı, düşey yönde vadiler oluşturan düşey atımlı faylanmalar izler.

Temelde yer alan Bayırköy Formasyonu üzerine gelen esas inceleme konusunu oluşturan Bilecik Kireçtaşlarına geçişler genelde uyumlu olup, kireçtaşlarında ölçülen tabaka doğrultuları KD-GB yönündedir.

İnceleme alanında kireçtaşları genelde morfolojik olarak tepe ve sırtlarda, özellikle tabanda yer alan Bayırköy Formasyonu ile uyumlu konumdadır. Bilecik Kireçtaşları, Köstirelik Tepe, Ballıtarla Tepe, Belentarla Tepe, Açma Tepe gibi kesimlerde sırt ve tepeleri oluşturmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalüstü Tepe – Belentarla Tepe arasındaki çörtlü seviyeleri gösteren enine kesit

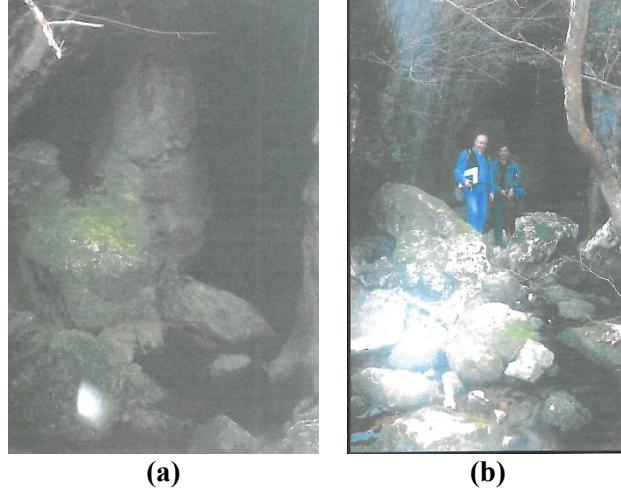
Çalüstü Tepe - Belentarla Tepe arası enine kesit bölgesi kırmızı renkle işaretli olarak Şekil 4 üzerinde de görülmektedir. Buralarda, farklı kalınlıkta, tabakalı ve yüzeyde çok kırıklı, ayrıca yüzeysel aşınımı yapraklanma göstermektedir. Tabakalaşma, Doğanalan Köyü kesiminde ayrıca ince kabukta 3-5 cm kalınlığında ve birkaç metre uzunluğunda, kahverengi çörtlü zonlar da içermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalüstü Tepe – Belentarla Tepe arasındaki çörtlü seviyeleri gösteren enine kesit-Foto

Benzer olarak, inceleme alanı içinde Köstirelik Tepe, Çankuyu mevkiinde kireçtaşlarının tabaka doğrultuları K-G yönünde olup 30-40° batıya eğilim gösterirler. Aynı mevkide KD-GB yönelimli tabaka doğrultusu, 30° güneydoğuya eğilimlidir. Aynı yörede, Mağaralar mevkiinde ve Kaklık mevkiinde kireçtaşları KD-GB doğrultulu, 30-50° eğim gösterir.

Kireçtaşları, yüzeyde Açma Tepe – Çalüstü Tepeleri arasında bol çatlaklı erime boşlukları içermektedir. Ayrıca Mağaralar mevkiinde ve Çankuyu mevkiinde mağara yapıları izlenmiştir (Şekil 7-b). Buradaki mağaralar su içerikli olup, yer altında uzun mesafelerde devam etmektedir (Şekil 7-a).



Şekil 7. Çankuyu Mağarası

Bu yöredeki mağaralar gerek turistik açıdan gerekse mağara bilimi açısından önem teşkil etmektedir. Mağara girişlerinde ve mağara boyunca, sarkıt- dikit gibi oluşumlara da rastlanmaktadır.

Çatlak sistemleri ikili veya üçlü sistemler halinde olup, Açma Tepe’de;

- 1) K25⁰D/45⁰GD eğimli
- 2) K30⁰B/60⁰KD eğimlidir.

Ayrıca, Karadonlu Dere’de gelişmiş, paralel çatlaklı yönleri K65⁰B/55⁰GB eğimlidir. Faylar, inceleme alanındaki kireçtaşlarının civarında gözlenmektedir. Açma Tepe’de izlenen faylar;

- 1) KD-GB yönelimli 45⁰ GD eğimli,
- 2) KB-GD yönelimli 65⁰ KD eğimlidir.

Diğer faylanmalar, Doğanalan Köyü-Ballıtarla mevkiinde yaklaşık D-B yönelimli, düşey atımlı faylar şeklindedir.

İnceleme alanı ve çevresinde açılacak ocaklardan blok mermer üretim potansiyeli bulunmaktadır. Açma Tepe’de yer alan mermer ocağı, blok üretim amaçlı olarak açılmış, fakat bugün için bir faaliyet göstermemektedir. Blok mermer ocağı, Açma Tepe sırtı altında açılmış olup ocak aynası güneye bakmaktadır. Burada kireçtaşları faylı-kırıklı bir sistem içinde sarkıt-dikit gibi mağara oluşumlarına rastlanmaktadır.

İnceleme alanında yer alan üçüncü birim Yolçatı Formasyonu olup Doğanalan Köyü’nün batısında ve Bekar Tepe’nin doğusunda yayılım göstermektedir. Birim blok ve çakıltaşlarının oluşturduğu taban konglomerası üzerinde kaba kum, kil ve silt ardalanmalı seviyeler şeklindedir.

5. Doğanalan Köyü Akçapınar-Kazanpınar civarı mermer oluşumları

İnceleme alanında jeolojik olarak %35 oranında kireçtaşları (Bilecik Formasyonu), %55 metamorfikler (Bayırköy Formasyonu) ve %10 oranında da Pilyosen oluşumlar (Doğanalan Köyü civarında) bulunmaktadır.

Mermer oluşturan Bilecik formasyonu kireçtaşları, jeolojik haritanın orta kesimleri Asar Tepe, Düzpınar Tepe, Mağaralar Mevkii, Köstirelik Tepe, Ballıtarla Tepe ve Doğanalan Köyü doğu kesiminde, Açma Tepe ve civarında yüzey verirler. Bu mermer oluşturan kireçtaşları; temelinde Bayırköy Formasyonu içinde yer alan kötü şistoziteli, çoğunlukla sarımsı-kahverengi tonlarında, oldukça ayrılmış olup, üstteki kireçtaşlarıyla uyumlu bir stratigrafiye sahiptir.

Mermer oluşturan kireçtaşları, tabandaki şistli seviye üzerinde farklı yüzeylere sahip, 4 farklı bölgede yer alır. Bunlar:

- 1) Asar Tepe-Kaklık Tepe-Mağaralar Mevkii
- 2) Köstirelik Tepe ve civarı
- 3) Ballıtarla Tepe ve civarı
- 4) Doğanalan Köyü-Açma Tepe Civarı

Bu bölgelerin jeolojik konumları ise şu şekilde sıralanabilir:

5.1 Asar Tepe-Kaklık Tepe-Mağaralar Mevkii

Bu bölgede tepe ve sırtlar halinde, inişli çıkışlı bir morfoloji hakimdir. Bölge yaklaşık 100-469 metre kotları arasındadır. Bu yörede karstik özelliklere dayalı olarak dolinler ve mağara oluşumları bulunmakta ve bunların çeşitli zonlar içermeleri nedeniyle blok mermer üretimi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır (Şekil 7). Bu kesimde *kireçtaşları* karstik özelliğe sahiptir.

5.2 Köstirelik Tepe ve civarı

Kireçtaşları; ince – kalın tabakalı, koyu bej renkli, çok boşluklu ve çörtlü ara mercekler içerirler. Bu çörtlü kireçtaşı zonu, Çalüstü Tepe – Köstirelik Tepe ve Kaklık Mevkii yönünde belirli bir genişlikte devam etmektedir (Şekil 4). Bu kesim, çörtlü ara merceksel seviyeler içermesi nedeniyle blok mermer üretimine uygun değildir.

5.3 Ballıtarla Tepe ve civarı

Burası, Doğanalan Köyü kuzeybatısında, Köyün yaklaşık 500 metre uzağında bulunan tepe ve sırt şeklinde iki ayrı mostradan oluşmaktadır. Buradaki *kireçtaşları* grimsi tonlarda ve bol ikincil kalsit damarlarıyla kesilmiştir.

Bu kesimde *kireçtaşları*; yüzeyde iri bloklu-çatlaklı, masif yapılarda olup, ayrıca belirgin bir fay zonu ile de çakışmaktadır. Morfolojik yönden ani yükselmeler, ayrıca bol kırıklı-parçalı blok yapılardan oluşmuştur.

5.4 Doğanalan Köyü- Açma Tepe ve civarı

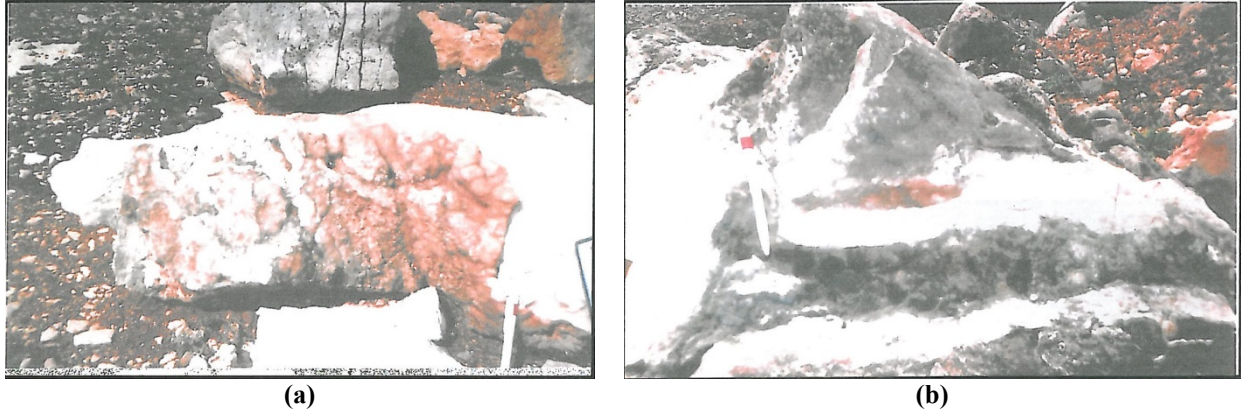
Doğanalan Köyü ve Açma Tepe civarında; özellikle Açma Tepe mermer ocağı civarında ve aynasında benzer özellikler izlenmiştir.

Doğanalan Köyü doğu kesiminde Alan Tepe - Çalüstü Tepe - Belentarla Tepe'leri arasında kuzey-güney yönünde alınan jeolojik kesitte izleneceği gibi, Çalüstü Tepe'de mermer oluşturan *kireçtaşları* düzgün, kalın ve ince tabakalı ve düzenli olup, kuzeye doğru devam eder. Çalüstü Tepe-Belentarla Tepe arası ara vadide *kireçtaşları*, ince plaketli, killi-çörtlü seviyeler içerir. Daha sonra Belentarla Tepe'ye doğru masif, kompakt, renk olarak da koyu bej veya kahverengi tonlarındadır. Belentarla Tepe civarı koyu bej mermer blok üretimi için çok uygun yapılara sahiptir.

5.5 Açma Tepe mermer ocağı

Çalışma alanında yer alan formasyonlar önceki bölümlerde de belirtildiği gibi Jura ve Neojen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Mermer olarak işletilen birim Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarıdır. Çalışma alanında aktif olarak Açma Tepe mermer ocağı bulunmaktadır. Açma Tepe ocağındaki

mermer blokları, renk açısından “Apolyont beji” [24] türündedir. Açma Tepe ocağında bulunan Apolyont beji renkli, bantlı oluşumlar gösteren mermer ocağı aşağıda görülmektedir (Şekil 8-a).



(a)

(b)

Şekil 8. Apolyont beji renkli mermer parçaları

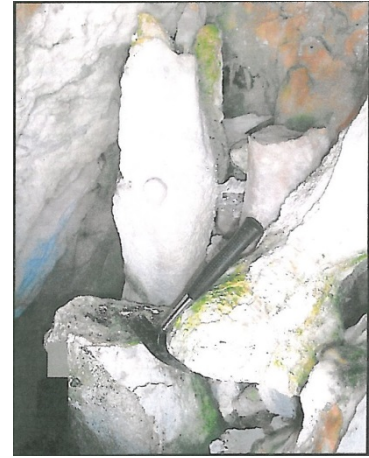
Çalışma alanında bulunan Açma Tepe mermer ocağında, kalsit ve aragonit oluşumlarının çok fazla olduğu görülmüştür (Şekil 8-b). Ocak üretiminin henüz başlangıç evresinde olması nedeniyle bazı blok yüzeylerinde çatlak zonlarına ve ayrıca ocak alanı doğu kesiminde mağara (karstik) oluşumları, sarkıt-dikit ve aragonit oluşumlarına rastlanmıştır. Bu sarkıt ve dikitlerin rengi kahverengisarı renkte olup, içleri iri kristalli, dış yüzeyleri ise mikritik yapıdadır. Bunlar oldukça boşluklu bir yapı göstermektedir. Şekil 9 (a) ve (b)’de Açma Tepe mermer ocağında yer alan sarkıtlar ve Şekil 9 (c)’de ise bu ocağıdaki Apolyont beji dikit görülmektedir.



(a)



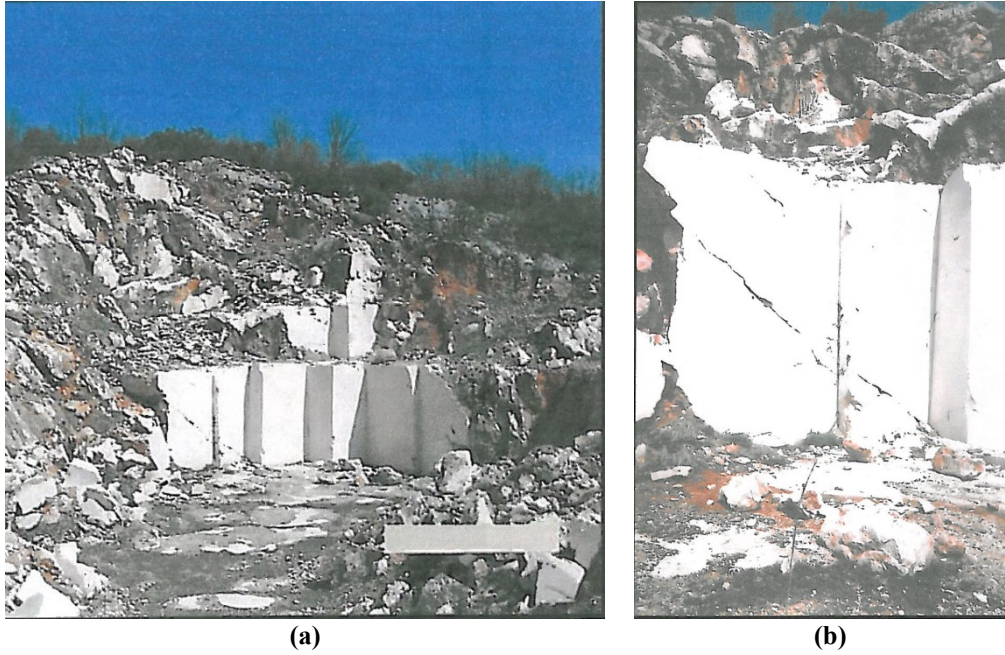
(b)



(c)

Şekil 9. Açma Tepe mermer ocağında yer alan sarkıtlar ve Apolyont beji dikit

Açma Tepe mermer blok üretim ocağı iki kademe halinde olup, düzgün yüzeyler oluşturularak bir miktar blok mermer üretimi yapılmıştır (Şekil 10-a). Açma Tepe mermer ocağındaki iki kademe (Şekil 10-a) ve kademelerin yakın görünümü (Şekil 10-b) aşağıda verilmiştir.



Şekil 10. Açma Tepe, iki kademe halindeki mermer ocağı

6. Deneysel bulgular ve tartışma

6.1. Mineralojik ve petrografik inceleme

6.1.1 Makroskopik inceleme

Akçapınar – Kazanpınar civarı kireçtaşları oluşumlarının yüzeylendiği alanlardan sistematik olarak alınan dört farklı numunenin makroskopik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi numunelerin makroskopik incelemelerinde renk, yapı, doku, sertlik, ayrışma, cila kabul ve kesme, asitte reaksiyon gibi özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 1. Numunelerin makroskopik özellikleri

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Alındığı yer	Ballıtarla Tepe	Açma Tepe	Açma Tepe	Kuşyuvası Sırtı
Renk	Bol kalsit (beyaz) damarlı, grimsi tonlarda	Krem-beyaz	Sarımsı kahverengi	Sarı-koyu kahverengi tonlarında
Yapı/doku	Masif, kompakt, herhangi bir yönelme ve yapraklanma yok.	Masif, kompakt	İri taneli, ara zonlarda ikincil oluşumlara rastlanır.	Masif, ezikli, az dayanımlı özelliktedir. İnce tabakalı ve kötü yapraklanma gösterir.
Ayrışma	Yüzeysel	İzlenmedi	İzlenmedi	Yüzeysel ayrışım gösterir.
Sertlik	3-3,5 Mohs	3-3,5 Mohs	3-3,5 Mohs	4-5 Mohs
Kesme özelliği	0,5 cm'lik plaka kesiminde kenar-köşe kopma izlenmez	0,5 cm'lik levha halinde kesmede kenar-köşe kopma izlenmez.	İyi-çok iyi	
Cila kabul	Çok iyi	İyi-çok iyi	İyi-çok iyi	

Asitte reaksiyon	%10'luk HCl asitte hızlı köpürmektedir. Kayaç bu özelliği ile karbonat grubuna ait olup; kalsit, dolomit, aragonit içerebilir.	Hızlı köpürme izlenir, karbonat grubuna aittir.	Hızlı köpürme izlenir.	%10'luk HCl ile reaksiyonda, çok az oranda köpürme izlenir.
-------------------------	--	---	------------------------	---

Tablo 1 Devamı

Genel olarak numunelerin makroskopik incelemelerine göre (Tablo 1);

- Numune 1 ve 2'nin renklerinin grimsi beyaz tonlarda, Numune 3 ve 4'ün ise sarı kahverengi tonlarında olduğu,
- Yapı ve doku açısından Numune 1 ve 2'nin masif, kompakt; Numune 4'ün de masif yapıda olduğu fakat ezikli ve az dayanımlı olduğu; Ancak Numune 3'ün iri taneli olduğu,
- Numune 1 ve 4'ün yüzeysel ayrışma, Numune 2 ve 3'ün ise ayrışma göstermediği,
- Numune 1, 2 ve 3'ün sertliğinin 3-3,5; Numune 4'ün ise 4-5 Mohs olduğu,
- Tüm numunelerde kesme özelliğinin iyi veya çok iyi olduğu,
- Cila kabulün iyi (numune 2 ve 3) veya çok iyi (Numune 1, 2 ve 3) olduğu,
- Asitte reaksiyon açısından Numune 1, 2 ve 3'ün %10'luk HCl'de hızlı köpürme gösterdiği, fakat Numune 4'ün çok az oranda köpürme gösterdiği belirlenmiştir.

6.1.2 Mikroskopik özellikler

Sistematik olarak alınan söz konusu dört numunenin petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla kireçtaşı örneklerine ait ince kesitler İstanbul Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında bulunan polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanarak farklı koşul ve zaman dilimi içinde oluşan kayaçların mineralojik bileşimleri ve petrografik olarak da dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Numunelerin mineral bileşimleri ve modal oranları Tablo 2'de, doku özellikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

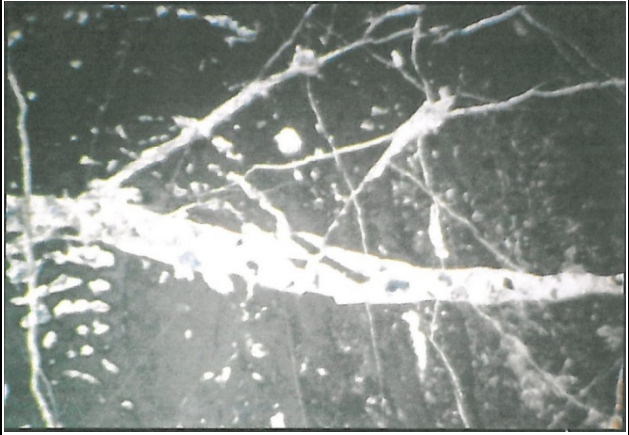
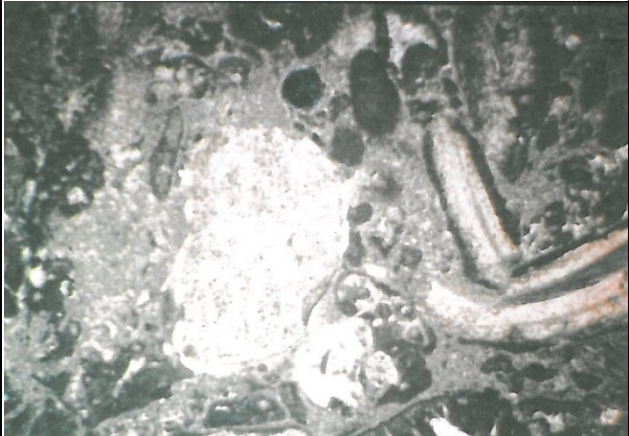
Tablo 2. Numunelerin mineral bileşimleri ve modal oranlar

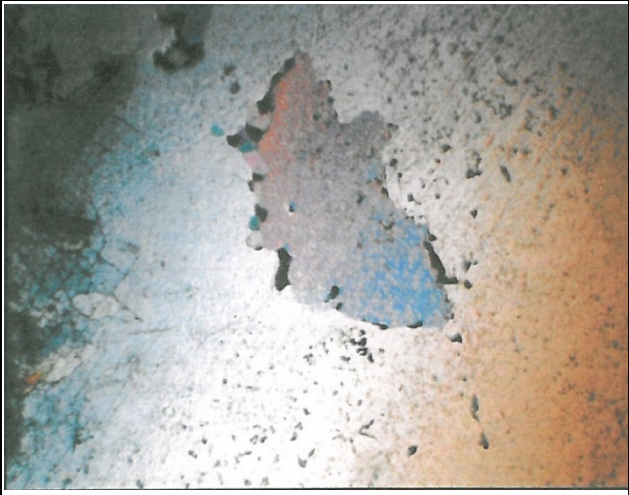
	Tane boyutu	Mineral türü	Modal oran (%)	Özellikler
Numune 1	0,45 – 1,2 mm. Daha iri taneler: 4,5 mm	Kalsit	80	Kristalin, ikizli, bazan opak imprute (kirlilik) içerir, farklı taneli, çoğunlukla iri kristalli, dilinim, ikizlenme gösterir.
		Kalsit (ikincil)	10	Damar dolgular halinde, kristalin, berrak.
		Opak mineral (imprute)	10	Muhtemelen, ikincil kalsitlerle beraber gelmiş olan opak limonit-hematit mineraller dağılımlı veya damarların kenarlarına yerleşmiş olarak bulunmaktadır.
	Kayaç adı: Demir içerikli kireçtaşıdır.			
Numune 2	0,15 – 0,75 mm	Kalsit (birincil)	25-30	İri-orta taneli, kristalin, ikiz ve dilinim gösterirler.
	0,03 – 0,09 mm. Daha iri taneler: 0,45 mm	Kalsit (ikincil)	20-25	Damar ve boşluk dolgular içinde ince-orta taneli kristalin yapıdadırlar.
	0,15-0,45 mm	Opak oolitler	45-50	Tüm kayaçta yaygın, şekiller altında; kalsitlerde farklı boyutlu
	Kayaç adı: Opak (demir) oolitli, bol damarlı mermer.			
Numune 3		Kalsit		İnce taneli kapanım ve kristallerden oluşmuştur.
		Dolomit		Dilinimli ve sarımsı-gri-mavi tonlardadır.
		Opak mineral (imprute)		Opak mineraller kalsitler içerisinde bulunmaktadır.
	Kayaç adı: Aragonit'tir.			
mu ne		Kuvars	36-46	Çok ince taneli, klorit, serisitle beraber.
		Biotit	15-17	Mercek şekilli

	Muskovit + Serisit	20-22	Muskovitler, biotitlerle beraber
	Klorit	3-4	Az oran
	Kalsit	4-5	Az oran, ara boşluklarda
	Opak	15-16	Bol oran
Kayaç adı: Ayrışmış kuvars - biotit – muskovit – serisitli şist.			

Tablo 2 Devamı

Table 3. Numunelerin doku özellikleri

	Numunelerin doku özellikleri	Numunelerin mikroskop görüntüleri. Büyütme: x120
Numune 1	İri taneli, kristalin, granüler doku içinde, farklı boyutta, iri-orta taneli kalsit kristalleri, ikizlenme ve dilinimler gösterirler. Kalsit kristalleri çoğunlukla berrak, şeffaf, bazen klivajlar boyunca opak ince demirli mineraller (limonit, hematit) içerir. Doku, ikincil olarak kalsit damarları ile kesilmiştir. Bunlar, muhtemelen hidrotermal evre ürünü olup, beraberinde opak (demirli) mineral getirimleri sağlamıştır. İri kalsit kristalleri içinde, daha büyük boyutlu kalsit inklüzyonları (kapanımları) gözlenmektedir.	
Numune 2	Oolitik, farklı boyutlu, demir içerikli, oval-küresel taneler kristalin kalsitlerle çimentolanmıştır. Bazen oolitik demirli oluşumların iç kısımları (merkezleri) kalsitten oluşmuştur. Kayacın kalsitle oluşturduğu doku; (orta-ince) taneli ikincil kalsit damarlar ile sıkça kesilmiştir. Oolitik demirli oluşumlarda, oval, küresel, yarı köşeli, farklı boyutlu şekiller gösterir. Bunları bazan içte bir tek kalsit halesi çevreler. İnce taneli kalsit kristalleri yuvarlak ikincil damar dolgularında taneli, kristalin ve berraktır. Yani tek nikelde demirli oluşumlar görülmemektedir. Kayaç oluşturan esas kalsit kristalleri, iri-orta taneli, ikizli, dilinimleri çok belirgin olup, çift nikelde irizasyon renklerini – koyu yeşil – mavi tonları sunarlar. İkincil damarlar farklı kalınlıklarda olup, taneli, kristalin kalsitlerden oluşmuştur ve birbirlerini sıkça keserler. Yoğun bir biçimde, farklı şekiller altında kayaçta ağ oluşturmuşlardır.	

Numune 3	İri ve geniş yüzeyle, bazan de ince taneler kapanım halindedir. Mineral sınırlarında ince taneli kalsit kristalleri oluşmuştur. Kalsit oluşumlarına ince taneli kapanımlar halinde de rastlanmaktadır. Aragonit tek nikolde renksiz, çift nikolde sarımsı-gri-mavi tonlardadır. Ayrıca opak içerikli dikdörtgen şeklinde değişik mineral oluşumlarına rastlanır. Aragonitin dilinimi belirgindir. Kayacın içerisinde kalsitler opak minerallerle beraber bulunmaktadır.	
Numune 4	Çok ince taneli, ayrılmış yapraklar gösteren opak mineralleri belirli düzlemler boyunca yönelmiştir. Bunlar mercek yapıları altında ve muskovit, serisit mercekssel mineralleriyle beraber yönelmeler gösterir. Bu yapılaşma özellikleriyle yönelme, şistozite gösterir. Ayrıca ince taneli matriks içinde çok ince taneli iğnecikler şeklinde klorit, serisit ve beraberinde kuvars içermektedir. İz oranda da kalsit ve mika içermektedir.	

Tablo 3 Devamı

Tablo 2’den görüldüğü üzere Numune 1’in daha iri taneli, daha çok kalsit içerdiği, opak mineral oranının (%10) daha az olduğu ve ayrıca kalsitlerin iri kristalli granüler doku içinde ikizli ve dilinimli özelliklerde olduğu, ikincil olarak kalsit damarları ile kesilmiş olduğu (Tablo 3) gözlenmektedir. Bu özellikleri ile bu numunenin demir içerikli kireçtaşı olduğu belirlenmiştir.

Numune 2 daha ince taneli olup yarı yarıya birincil ve bunları kesen ikincil kalsitler ile oval, küresel, yarı köşeli opak (demirli) oolitlerden oluşmuş olup, damarlı kristalin, ikiz ve dilinimli ağsal dokuya sahip olduğu (Tablo 3) gözlenmektedir. Bu özellikleri ile bu numunenin Opak (demir) oolitli, bol damarlı mermer olduğu (Tablo 2) ortaya çıkartılmıştır.

Numune 3’ün ince taneli kapanım ve kristalli kalsit ile dilinimli ve sarımsı dolomit içeriği ile aragonit kayacı olduğu, ayrıca kayacın içerisinde kalsitlerin opak minerallerle beraber bulunduğu Tablo 2 ve 3’den görülmektedir.

Numune 4’ün çoğunlula çok ince taneli kuvars (%36-46) olmak üzere mercekssel yapıli diğer silikat minerallerinden (biotit, muskovit, klorit vb.) oluştuğu ve ayrıca çok daha az oranlarda kalsit ile çok oranlarda da (%15-19) opak mineral içeriği ile kayacın ayrılmış kuvars - biotit – muskovit – serisitli şist kayacı olduğu (Tablo 2 ve 3) belirlenmiştir.

Numune 1, 2 ve 3’ün büyük oranlarda kalsit ve dolomit içermesi ve sertliklerinin de 3 ila 3,5 civarında olması nedeniyle karbonat kökenli yumuşak mermer olduğu belirlenmiştir. Bu özellikleri bu mermerlerin kesilebilirlikleri, işlenebilirlikleri ve cila alma kapasitelerinin de iyi veya çok iyi olmasını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bu kayaçların opak mineral içeriği, değişik renkler almasını sağladığı gibi, dilinimler, ikizlenmeler, kristal şekilleri ve boyutları, ikincil minerallerin birincil mineralleri kesmesi, iç içe büyümeler vb. yapı ve doku özellikleri de mermerlere değişik desenler katmaktadır. Ancak, Numune 4’ün daha fazla silikat minerali içermesi nedeniyle bunun orta sertliğe (4-5) sahip silikat kayacı olduğu belirlenmiştir. Bu kayacın diğer özellikleri uygun olmadığından mermer olarak değerlendirilmesi mümkün olmayacaktır.

6.2. Fiziko - mekanik testler

Fiziko - mekanik testler için kullanılan numuneler, mineralojik-petrografik özellikler açısından blok mermer potansiyeli en yüksek olan Açma Tepe mermer sahasının farklı kesimlerinden alınmıştır. A1 ve A2 olarak isimlendirilen numuneler, rengi krem-beyaz olan demir oolitle, bol damarlı mermer olarak tanımlanan Numune 2'nin alındığı saha üst seviyelerinden, K1 ve K2 olarak adlandırılan numuneler ise sarı-kahverengi tonlarında aragonit olarak tanımlanan Numune 3'ün alındığı ocak alt seviyesinden alınmıştır.

İnceleme sahasındaki ocaklardan alınan örnekler 6 x 8 x 6 cm ebadına getirilmiş ve fiziko-mekanik deneyler için hazırlanmıştır. Her numuneye birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, su emme, basınç dayanımı gibi özellikleri belirlemek amacıyla çeşitli testler yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları Tablo 4'de verilmiştir:

Tablo 4. Fiziko mekanik test sonuçları

Testler	A1	A2	K1	K2	TS 10449 [25] Sınır değerleri
Havada ağırlık (gr)	787,9	772,4	769,1	794,4	
Kuru ağırlık (gr)	787,7	772,1	769,4	794,2	
Yaş ağırlık (gr)	788,8	773,8	770,0	794,8	
Su emme (%)	0,14	0,22	0,10	0,07	< 0,40
Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	2,67	2,66	2,65	2,68	< 2,55
Özgül ağırlık	2,7	2,7	2,7	2,7	
Porozite (P) (%)	1,1	1,5	1,7	0,7	< 2,0
Basınç dayanımı (kg/cm ²)	870	845	890	>1000	>500

Yapılan deneysel çalışmalara göre, bütün numunelerin birim hacim ağırlık değerleri TS değerinin biraz üzerinde bulunmuştur. Fakat su emme ve porozite değerleri ise TS değerinin altında kalmıştır (Tablo 4).

Mermerlerde porozite (boşluk) istenmeyen bir durumdur ve genellikle su emme kapasitesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Porozite değeri en az (%0,7) olan K2 numunesinin su emme değerinin de (%0,07) en az olduğu Tablodan görülmektedir.

Kayacın yapısı ve dokusu, çeşidi, mineral tane büyüklüğü ve bağı, yeri ve çevresi, litoloji, süreksizlikler, su içeriği, çimentolanma ve kristallenme derecesi, homojenite, izotropluk ve ayrışma derecesi kayaların basınç dayanımına etki eden özelliklerdir. Numunelerin basınç dayanımlarının TS değerinin üzerinde kaldığı Tablodan görülmektedir. En yüksek değerler ise K1 (890 kg/cm²) ve K2 (>1000 kg/cm²) numunelerinden elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre yörede üretilen veya üretilecek olan bu mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayaç grubuna ait olduğu ortaya çıkmıştır.

Çalışma alanına yakın yerde bulunan Bursa – Doğanalan - Körekeş Civarında yapılan Fiziko - mekanik test çalışmalarında [17] da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

7. Sonuç ve öneriler

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, kayaların dayanım özelliklerinin mineralojik, petrografik ve fiziksel özellikleri ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

İnceleme alanı içinde blok mermer üretimi amaçlı 4 farklı bölgede yer alan kireçtaşları, saha ve laboratuvar verileriyle değerlendirilmiştir. Buna göre:

İnceleme alanı içerisinde; Asar Tepe – Kaklık Tepe arası alandaki kireçtaşları çok yaygın olarak karstik mağara – dolin oluşumları bulundukları için blok mermer üretimi için uygun değildir.

Köstirelik Tepe, çok boşluklu kireçtaşı zonu çörtlü ara merceksel seviyeler içermesi nedeniyle blok mermer üretimine uygun değildir.

Ballıtarla Tepe’de aşırı çatlakların olması ve fay zonu içinde bulunmasının yanında, mikroskop altında bol demirli minerallerin (%10) varlığı, kesme, cila kabul ve albenisi açısından mermer ocağı açısından negatif değerlendirmeleri beraberinde getirmiştir.

Mermer blok üretim potansiyeli olan Açma Tepe, Belentarla Tepe ile Çalüstü Tepe’si bölgesinden alınan Numune 2 ve 3 üzerinde yapılan makroskopik ve mikroskopik analizlere göre;

- Numunelerin masif kompakt yapılı ve ayrışmasız olduğu belirlenmiştir.
- Büyük oranlarda kalsit ve dolomit içermeleri ve sertliklerinin düşük olması (3-3,5 Mohs) karbonat kökenli yumuşak mermer olduğu belirlenmiş ve böylece bu durum kesilebilmeleri ve cila kabullerinin iyi veya çok iyi olmasını sağlamıştır.
- Ayrıca bu kayaların opak mineral içeriği, değişik renkler almasını sağladığı gibi, dilinimler, ikizlenmeler, kristal şekilleri ve boyutları, ikincil minerallerin birincil mineralleri kesmesi, iç içe büyümeler vb. yapı ve doku özellikleri de mermerlere değişik desenler katmıştır.

Yörede üretim yapan mermer ocaklarından alınan 4 adet örneğe (A1, A2, K1 ve K2) fiziko-mekanik testler uygulanarak; özgül ağırlık, porozite, su emme ve tek eksenli basınç dayanımı gibi elde edilen değerlerin TS değerlerine göre oldukça uygun özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra %0,07 su emme, %0,7 porozite ve 1000 kg/cm² üzerinde tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile en iyi değerleri K2 numunesi ile elde edilmiştir.

Bu sonuçlara ve saha çalışmalarına dayanarak, yörede üretilen mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayaç grubuna dahil olduğu ve blok üretimi, plaka üretimi ve cilalanmasına uygunluk gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Öneriler;

Blok mermer üretimi yapılan Açma Tepe mermer ocağı ve kuzeye doğru devamında, hali hazır mermer üretim aynalarında izlenen bazı kırık zonlarının, ocağın ilerlemesi halinde (hem kuzeye hem de tabana doğru inilmesi halinde) ortadan kalkacağı beklenmektedir. Ayrıca aynanın doğu kesiminde yer alan mağara oluşumları, işletme süresince dikkate alınarak bu oluşumun devamının izlenmesi gerekir.

Açma Tepe – Belentarla Tepe ve Çalüstü Tepe civarında blok mermer üretimi için uygun ocak oluşturulmasında;

- Karstik boşluk ve yapılarla dikkat edilmeli veya bu yapılardan uzak durulmalı,
- İşletme ve üretimi negatif yönde etkilememesi açısından çörtlü zonların bulunduğu yerlere dikkat edilmeli,
- Mermer blok verimi yüksektir. Ayrıca albenisi açısından “Apoliyont beji”ne benzemesi gibi özellikler ocak oluşturmada etkili olan faktörlerdir.
- Ocak yerinden kuzeye, doğuya, batıya doğru genişletme olanaklarının bulunmasına dikkat edilmelidir.

NOT : “Bu çalışma, Prof. Dr. Bektaş Uz’un danışmanlığında, Selen Ülgen’in İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü lisans bitirme tezinden geliştirilerek üretilmiştir.”

Kaynaklar

- [1] Kandemir Ö, Pehlivan Ş, Kanar F, Tok T. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No. 191: Bandırma – H21 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 22 s., 2013.
- [2] Granit T, Tintant H. Observation Preliminaries Sur le Jurasique de la Region Bilecik (Turque). C.R. Acad. Scien. Paris, 1960; 251: 1801-1803.
- [3] Altınlı İE. Bilecik Jurasığı. 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi., Tebliğler Dergisi, MTA yayımı, 1973; 112-113. [1]'den alıntılanmıştır.
- [4] Ergül E, Gözler Z., Akçören F, Öztürk Z. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Balıkesir F-6 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 1986. [1]'den alıntılanmıştır.
- [5] Akkuş MF. Dağakçaköy (GB Bursa) ve Fındıklı (GB Gönen) Mıntıklarındaki Üst Jura. TJK Bülteni 1963; 8 (1-2): 1-9.
- [6] Altıner D, Koçyiğit A, Frinacci U, Nicosia U, Conti MA. Kuzeybatı Anadolu'nun Kuzey Anadolu Fay Zonu Güneyindeki Rosso Ammonitiko'lu Jura – Alt Kretase Stratigrafisi, Bölgenin Paleocografik ve Tektonik Evrimi. TÜBİTAK Raporu, 270 s., 1989.
- [7] Eroskay SO. Paşalar Boğazı – Gölpazarı Sahasının Jeolojisi. İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, Seri: B, 1965; 30 (3-4): 135-170.
- [8] Altınlı İE. Yenişehir Havzasının Jeoloji ve Hidrojeolojisi. İstanbul Üniversitesi (İ.Ü.) Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, 1965; 30: 40-42.
- [9] Saner S. Mudurnu – Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelim Nitelikleriyle Paleografik Yorumlanması. TJK Bülteni 1980; 23: 39-52.
- [10] Yılmaz Y. Sakarya Kıtası Güney Kenarının Tektonik Evrimi. İstanbul Üniversitesi Yer bilimleri dergisi 1981; 1: 33-52.
- [11] Genç Ş. Geology of The Region Between Uludağ and The İznik Lake. MTA Enstitüsü yayımı, 1986; 19-25.
- [12] Ercan T, Ergül E, Akçören F, Çetin A, Granit S, Asutay J. Balıkesir – Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrojeolojisi ve Bölgesel Yayışımı. MTA Dergisi, 1990; 110: 113-130.
- [13] Lisenbee AI. Structural Setting of Orhaneli Ultramafic Term Masif Near Bursa, Northwestern Turkey. Tez, Pennsylvania State University, 157 s., 1972.
- [14] Emre H. Orhaneli Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrojeolojisi. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1986.
- [15] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>
- [16] Uz B. Marmosan Mustafakemalpaşa Sincansarnıç Sahasının Etüd ve Değerlendirilmesi. İTÜ Maden Fakültesi YBYK Raporu, 1991; 55-96.
- [17] Uz B, Yıldız TD. Bursa – Doğanalan – Körekeş Civarında Mermer Oluşturan Kireçtaşlarının Etüt ve Değerlendirilmesi. Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi, Antalya, 2017; 557-569.
- [18] Okay Aİ. Alpine-Himalayan blueschists. Annual Reviews of the Earth and Planetary Sciences, 1989; 17: 55-87. [1]'den alıntılanmıştır.
- [19] Okay Aİ, Siyako M, Bürkan KA. Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1990; 1 (3): 183-199. [1]'den alıntılanmıştır.
- [20] Şengör AMC, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics. 1981; 75: 181-241. [1]'den alıntılanmıştır.
- [21] Kandemir Ö, Duru M, Pehlivan Ş, Kanar F, Tok T. Bandırma – H21 Paftası Jeoloji Haritası – 2013. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [22] Dar Mühendislik, Bursa Çevreyolu Kesimi Kesin Proje Jeoteknik Raporu. Kısım II, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 1998.
- [23] Kayıkçı S. Bursa İli Akçapınar – Kazanpınar civarının jeolojik haritası (1/10000) ve enine kesiti. İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2005.
- [24] Tahir Dörtünar ile kişisel görüşme, 2005.
- [25] T.S.E. TS 10449 Mermer- Kalsiyum Karbonata Esaslı - Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Kasım 1992, Ankara.

VARIATION OF AIR CONCENTRATION IN SKI JUMP JETS

Cüneyt YAVUZ^{1*}

¹Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şırnak, 73000, Türkiye
Geliş tarihi: 18.06.2020 Kabul tarihi: 03.09.2020

ABSTRACT

Scour is a significant problem for the stability and safety of a dam. Water jet issued from flip bucket of a dam creates an air-water mixture and finally plunges at the downstream of a dam. Depending on the discharge, total head, thickness of the water body, aeration conditions and geometrical features of the flip bucket, the jet is dispersed in air. It is obvious that air concentration is inversely proportional with the dynamic pressures at impingement area of the water jet coming from the flip bucket of spillway of a dam. Impact of the ski jump jet at the impingement point may be reduced depending on the air concentration of the jet. In this study, experimental and numerical assessments are performed to analyze the distribution of the air into the ski jump jet depending on the dynamic pressures at the impingement point. The impact of the ski jump jet is analyzed and air percentages are defined into the jet according to dynamic pressure measurements using pressure transmitters at the impingement area. By doing so, aeration characteristics and impact values of water jets are revealed to generate reliable scour estimations.

Keywords: *Spillway, air concentration, ski jump jets, dynamic pressure distribution, jet dispersion, numerical solution*

DOLUSAVAKLARDA SIÇRATMA EŞİĞİNDEN ÇIKAN SU JETİ HAVA KONSANTRASYONUNUN DEĞİŞİMİ

ÖZET

Baraj stabilitesi ve güvenliği için baraj mansabındaki oylulma her zaman önemli bir tehdit olmuştur. Sıçratma eşliğinden çıkan su jeti hava-su karışımı oluşturur ve sonrasında barajın mansap tarafına düşer. Su jeti debi, toplam enerji yüksekliği, su jetinin büyüklüğü, havalanma koşulları ve sıçratma eşliğinin geometrik özellikleri gibi parametrelere bağlı olarak havada yayılır. Su jetinin düştüğü noktada oluşan dinamik basınç dağılımı jetin içerisinde bulunan hava konsantrasyonu ile ters orantılı olarak değişir. Buna göre, su jetinin düştüğü noktadaki oylulma büyüklüğü jetin hava konsantrasyonunun artırılması ile düşebilir. Bu çalışmada, su jeti içerisindeki hava konsantrasyonu, nehir yatağında oluşan dinamik basınçların deneysel ve nümerik değerlendirmesi yapılarak incelenmiştir. Su jetinin düşme noktasındaki etkisi basınç sensörleri ile belirlenen dinamik basınçlar ile ölçülmüş ve hava konsantrasyonu yüzdeleri buna göre belirlenmiştir. Böylece, güvenilir bir su jeti hava konsantrasyonu analizi bu çalışma ile sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Dolusavak, hava konsantrasyonu, su jeti, dinamik basınç dağılımı, jet yayılımı, nümerik çözümleme*

* e-mail: cyavuz@srnak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-7234>

1. Introduction

Numerous experimental and numerical investigations in air-water mixture issued from a spillway of a dam were carried out during the last century[1-5]. These investigations show that air concentration into the water jet mostly depends on the geometrical features of the flip bucket and boundary conditions. Flip bucket at the end of a spillway of a dam assessed to be a good application to dissipate the energy of the water jet with high velocities [6-8].

Flip buckets can be designed in various shapes and scales according to geological and economic circumstances involving relative curvature, deflection angles, take-off angles and special components. However, It is stated that, there is only a few guidelines are available to standardize the flip buckets [9]. Heller et al. [10] conducted experiments to investigate the two-dimensional jet trajectories. Bucket angle, trajectory angle, jet trajectories with different air concentration ratios and pressure distributions on the flip bucket were also examined for minimum model approach flow depth of around 40 mm. Steiner R., Hager W.H., and Minor H.E. [11] decided to investigate the effects of the triangular-shaped flip bucket placed at the take-off of ski jump rather than the general form of the circular-shaped bucket. They revealed that, pressure on the flip bucket depends on the approach flow Froude number and the deflector angle of the bucket and energy dissipation of the water jet depends on the deflector angle of the flip bucket and the drop height of the bucket take-off to the channel. Limits of the Froude number are determined according to the model to prevent choking of the spillway bucket[11].

Chanson [12] studied some experiments on naturally occurred air entrainment into turbulent water jets and compared the results with two-dimensional jet calculations using empirical equations for jet velocities between 4.5 and 36.5 m/s Schmocker et al. [13] mentioned that, water jet dispersion into the air and air concentration into the jet greatly depend on the jet velocity, height of the spillway and geometrical structure of the bucket lip located at the end of the spillway. Kawakami [14] showed that aeration of the water jets from flip buckets reduce the trajectory length based on the field data. Kawakami [14] developed some empirical equations and an aeration constant to calculate the jet length with air entrainment from the flip bucket lip to the impingement point of the jet. In this study, air concentration of the ski jump jet at impingement area is studied experimentally. Measured, calculated and simulated trajectory lengths are compared to validate the reliability of the method used in the study. Reliable estimation of air concentration in water jet is extremely significant to prevent adverse effects of scour at the downstream of a dam.

The study differs from the previous researches with its accurate dynamic pressure evaluations and air concentration determination method. Hereby, it may shed light on a better scour estimation at the downstream of a dam. Necessary precautions might be taken in advance with referring the results of this study in order not to experience a stability problem generated by an extreme scour in the river bed.

2. Experimental Facility

Experiments were conducted for 6 different discharges starting from 0.07 m³/s to 0.22 m³/s by adding 0.03 m³/s on the previous test discharge. 1:25 scaled hydraulic model of Laleli Dam and HEPP [15] was used for experimental investigations in Hydromechanics laboratory of Middle East Technical University (METU) (Figure 1).

Height of the ogee crested weir of the spillway from the lip of the bucket is 3.8 m. Model spillway has 0.8 m width and the angle of the spillway is 55°. Cross-sectional view of the spillway and the dimensions can be seen in Figure 2.



Figure 1 Hydraulic Model of the Study

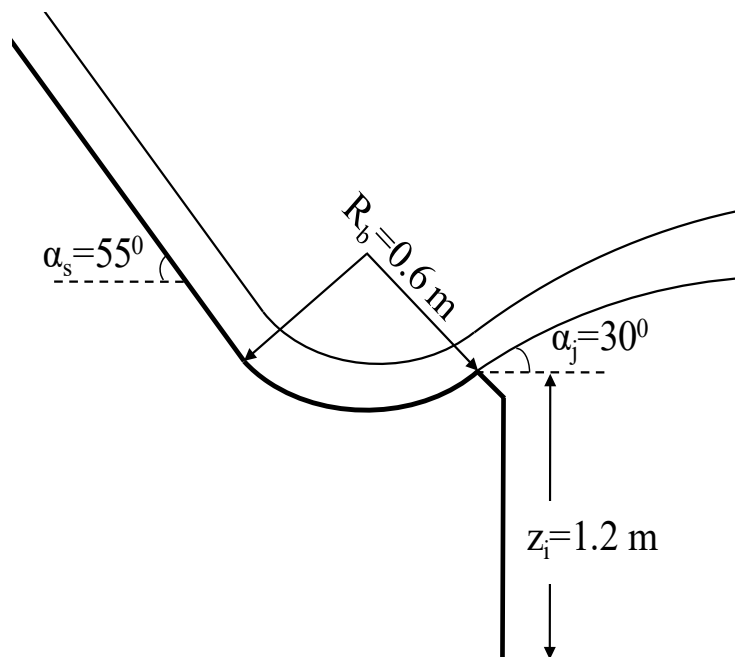


Figure 2 Cross-sectional view of the spillway

Jet velocities, trajectory lengths and jet dispersions at the impingement point were measured from the experimental set up for every single discharge. Trajectory lengths were calculated by using Kawakami's formula to determine the installment location of the pressure transmitters.

10 pressure transmitters of type 501 produced by Huba Control were positioned at the impingement area of the water jet coming from the flip bucket lip. The positions of the transmitters were arranged depending of the aerated trajectory length calculations using Kawakami's formula (Figure 3).

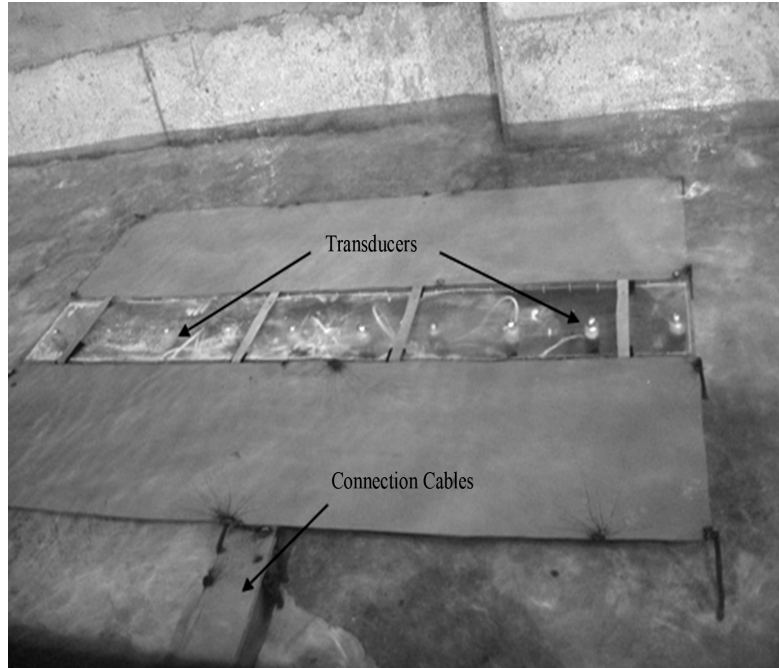


Figure 3 Position of the pressure transmitters in the impingement area

Metal plates were fixed at the both sides of the pressure transmitters to compensate the elevation difference adjacent to the transmitter box. Adjusted and amplified sensor signals were recorded and converted into digital data by using DAQ software [16].

Dynamic pressures were recorded for a period of 180 seconds and digitized at 40 Hz frequency for every test case. These pressure data were evaluated to determine dynamic pressure variations into the impingement area. Since the dynamic pressure and the air concentration can be assumed inversely proportional, the air concentration of the water jet can be determined depending on the pressure variations obtained from the pressure transmitters.

3. Methodology

3.1. Trajectory Length Determinations

3.1.1. Measured and Calculated Trajectory Lengths

Positioning of the pressure transmitters is one of the most significant steps to perform dynamic pressure measurements for determining the air concentration of water jet at the impingement area. Therefore, trajectory lengths with air entrainment for the selected discharges should be precisely defined. Trajectory lengths were calculated for every single test case using the jet velocities measured on the flip bucket lip. Positions of the pressure transmitters were determined according to the calculated trajectory lengths using Kawakami's equations [14]. To check the correctness of the calculations, experiments were conducted for the selected discharges and trajectory lengths were also measured from the experimental facility. Additionally, Flow 3D simulations were conducted to determine aerated trajectory lengths. All these measured, calculated and computed trajectory lengths were compared to generate a reliable estimation of air concentration in ski jump jets.

Kawakami [14] proposed the following equations to determine the trajectory lengths with air entrainment.

$$L = \left(\frac{1}{gk^2}\right) \ln(1 + 2k\alpha V_j \cos \alpha_j) \quad (1)$$

where

$$\alpha = \tan^{-1}(kV_j \sin \alpha_j) \quad (2)$$

and L is trajectory length with air entrainment, k is Kawakami's aeration constant, α_j is the water jet angle and V_j is the jet velocity at the lip of the flip bucket.

Figure 4 was also prepared by Kawakami [14] to present the relationship between the aeration constant and trajectory lengths vs prototype jet velocities. In the figure, α_j is the water jet angle at the bucket lip, L_t is the trajectory lengths obtained from projectile motion theory. In projectile motion theory, the motion occurs in a frictionless domain. So, L_t can be denoted as trajectory length without air entrainment. The parameters shown in Figure 4 are applicable to all types of design for the given jet velocity intervals.

Since Kawakami's investigations were based on the field data, air concentration constant was defined for prototype velocities. Therefore, Froude Similarity law must be used to calculate equivalent prototype jet velocities. By doing so, the air concentration constant can be obtained from Figure 4.

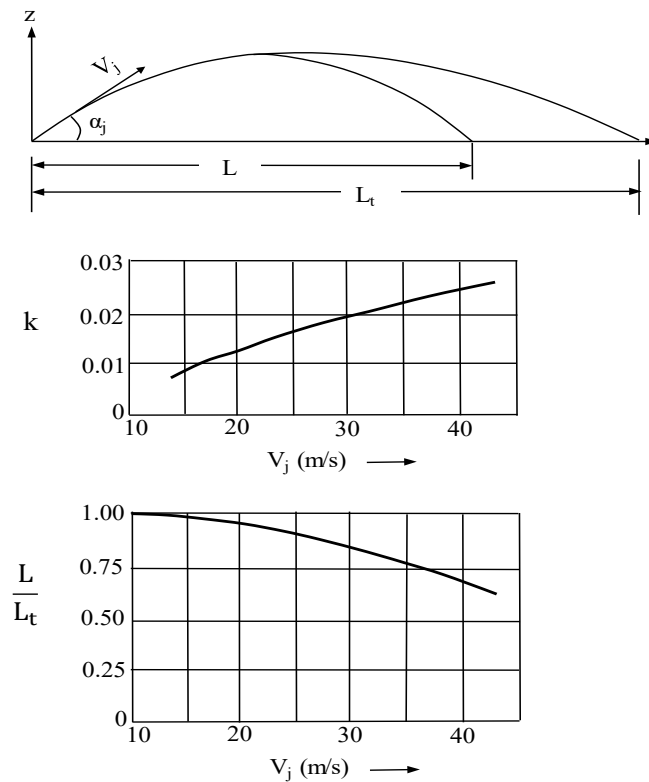


Figure 4 Relationship between the aeration constant and trajectory lengths vs prototype jet velocities proposed by Kawakami [14]

3.1.2. Simulated Trajectory Lengths

Characteristics of flow in experimental studies can also be determined using numerical model applications generally named as Computational fluid dynamics (CFD). A model is generated into mesh format to investigate the conditions of flow and flow characteristics using computer programs (i.e. Fluent, Flow 3D). Principal flow equations like Navier-Stokes and continuity are solved for every single mesh of the model. However, if the numerical model is not generated appropriately, the

solutions obtained by CFD might be specious. To refrain from these kinds of misleading outcomes, numerical solutions should be verified with experimental studies.

Commercial CFD code Flow 3D was used for the numerical solution of the study. Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations were used for an incompressible, Newtonian fluid in the numerical model. The k- ϵ model of turbulence was used in the computation of Reynolds stresses and turbulent viscosity [17]. Especially for the flows with high Reynolds numbers, k- ϵ model can be advantageous [18].

RANS and continuity equations, Eqs. (3) and (4), used for the numerical model are given below.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i A_i) = 0 \quad (3)$$

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (4)$$

where x_i and x_j are Cartesian coordinate components, u_i is the velocity component in direction i , A_i is the fractional area in the direction i , ρ is the density, P is the pressure and f_i is the body forces and ν is the kinematic viscosity and τ_{ij} is the Reynolds stress for a turbulence model respectively. In order to reduce the equations for incompressible ones; A_j is taken equal to 1. For k- ϵ model, Reynolds stress can be found using the following equation, Eq. (5).

$$\tau_{ij} = -\rho u_i' u_j' = 2\rho \nu_t S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (5)$$

where u_i' and u_j' are the fluctuating velocity components, ν_t is the eddy viscosity, S_{ij} is the strain-rate tensor and δ_{ij} is the kronecker delta. The equations of these parameters, Eqs. (6), (7) and (8), are also defined as follows;

$$\nu_t = C_\mu \frac{k}{\epsilon} \quad (6)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{if } i \neq j \end{cases} \quad (8)$$

where C_μ is a coefficient and taken as 0.09 for a standard k- ϵ model [19]. k- ϵ model is also elaborated in Speziale's studies [20].

Flow 3D, which is appropriate commercially available CFD software, uses Fractional Area Volume Obstacle Representation (FAVOR), improved Volume Of Fluid technique (VOF) and multi block meshing to increase its capabilities [21]. Since it was not possible to measure the air concentration of the water jet coming from the flip bucket of the hydraulic model, only calculated and simulated trajectory lengths of the jets were compared using experimental setup and FLOW-3D, respectively. Furthermore, two-phase numerical flow analysis was evaluated as useless due not to create a probable comparison between experimental and numerical air concentrations.

AutoCAD, which is commercially available computer aided software, was used to generate a model of the test facility and saved as .stl format to employ in Flow 3D. Free gridding method was used to discretize the flow domain. In this way, the required time for the grid generation and computation can be significantly decrease. Not to cause any misleading on determining the slip effects between the water, boundary of the model and wall shear stresses, mesh sizes were designed as 100

mm in x direction, 20 mm in y direction and 50 mm in z direction, respectively. Initial flow conditions for the reservoir were assumed to be constant for 3000 mm upstream of the spillway crest and were fixed for each test case (Figure 5).

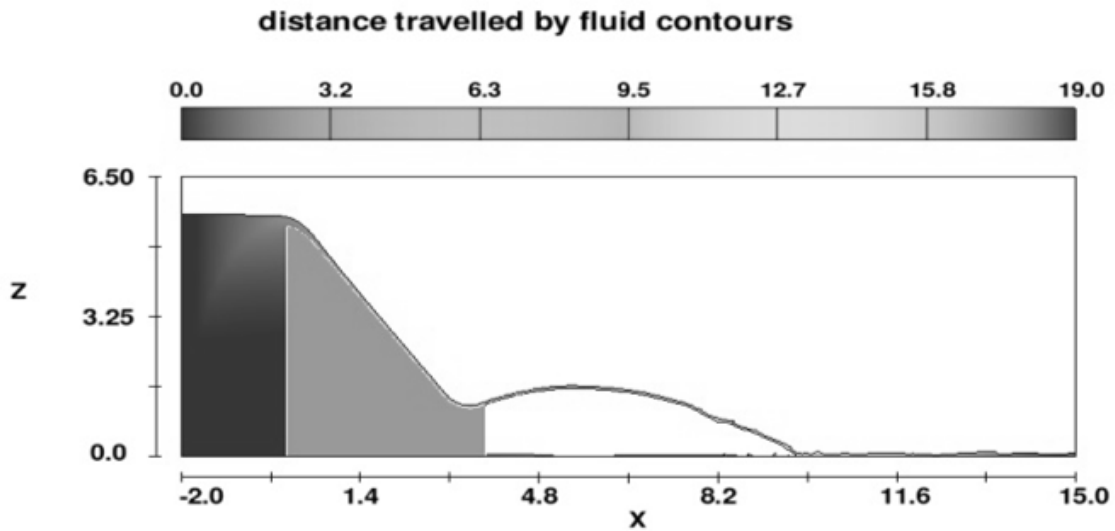


Figure 5 Side view of the numerical model of the experimental test facility

Boundary conditions were described for side walls, top of the spillway and downstream of the model as symmetrical, and for flow inlet as constant water height with specified pressure. Time intervals were defined as depending on Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) condition. The numerical model was generated as 3D and computations were done for this model accordingly.

3.2. Determination of Air Concentration

The amount of dispersion of water jet in the air was measured from the photos taken during the experiments. Impingement area of the aerated jet was measured to determine the air-water percentage at the point of impact. This area was assumed to be elliptic (Figure 6) and air-water ratios were found based on mass conservation of the water jet.

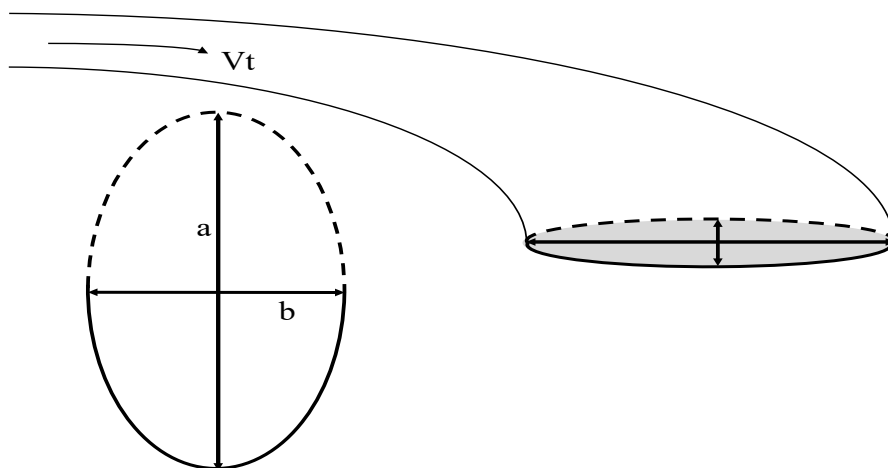


Figure 6 Measurement method of impingement area on the water surface

The longitudinal dimension ‘b’ and the lateral dimension ‘a’ were determined for each test case and

results are summarized in Table 1. The sample photographs indicating the measurement for $Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$ are shown in Figure 7.

Table 1 Lateral, a, and longitudinal, b, dimensions of the jet dispersed in the air for every single discharge

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	a (m)	b (m)
0.22	1.40	1.21
0.19	1.27	0.83
0.16	1.20	0.76
0.13	1.07	0.61
0.10	0.87	0.53
0.07	0.80	0.45



Figure 7 Lateral (a) and longitudinal (b) dimensions of the dispersed jet for $Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$

Since V_j was measured from the lip of the flip bucket, the area of the water at the bucket lip was easily calculated by dividing the discharge to the lip velocity. Since the flow area at the bucket lip was known, the rest of the area at the impingement can then be assumed as full of air. Additionally, dynamic pressure is inversely proportional with the air ratio, determination of the air percentages depending on dynamic pressure levels at the impingement can be possible (Figure 8).

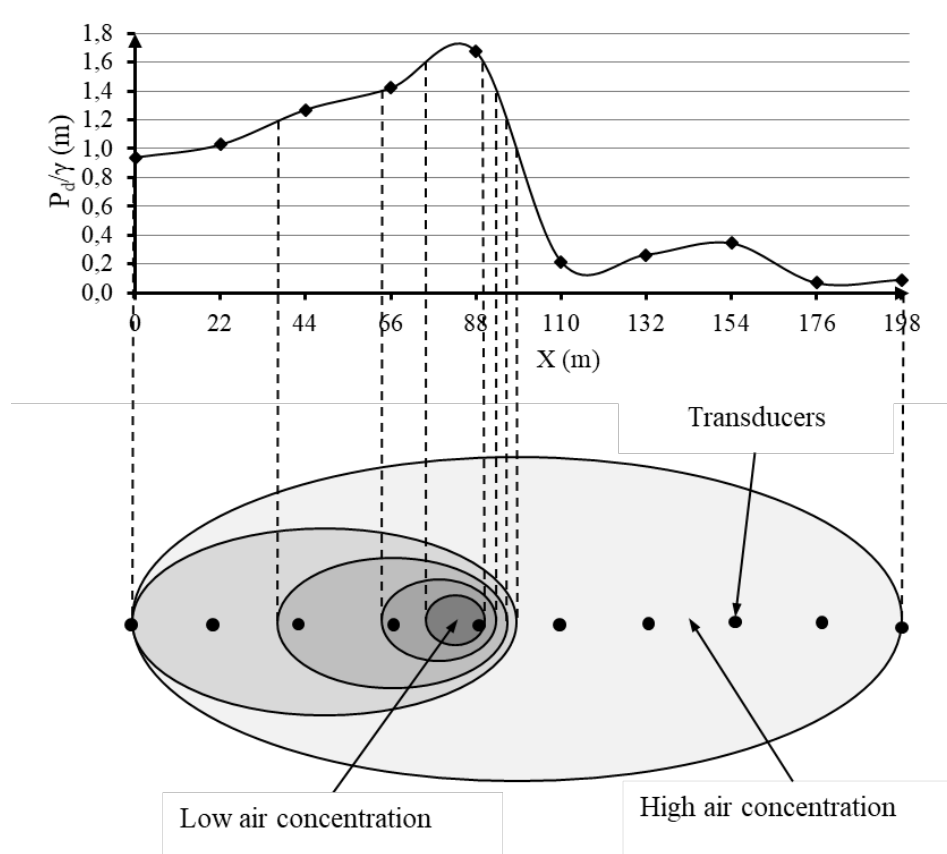


Figure 8 Determination of air concentration with respect to dynamic pressure levels

Percentage of the air concentration at the impingement area depending on the dynamic pressure variations can be calculated by using the equation given below.

$$Air \% = \frac{(P_d/\gamma)_{min} * (Air\%)_{max}}{(P_d/\gamma)} \quad (9)$$

where P_d/γ is the dynamic pressure head at the impingement point. Due to inverse proportion between the air and water percentages, the air concentration is assumed to be 100% where the dynamic pressure is zero. The rest of the air concentrations are calculated depending on the mentioned fact.

4. Results and Discussions

4.1. Comparison of the Measured, Calculated and Simulated Trajectory Lengths

The following data are measured from the conducted experiments for 6 different cases to determine the trajectory lengths using Kawakami's equations [14] (Table 2).

Table 2 Measured data from the test cases

Discharge for the test cases, Q (m ³ /s)	Water depth on the bucket lip, h_j (m)	Water jet velocity at the bucket lip, V_j (m/s)
0.22	0.035	7.86
0.19	0.031	7.66
0.16	0.027	7.41
0.13	0.023	7.07
0.10	0.019	6.58
0.07	0.015	5.83

To use the provided empirical equations by Kawakami [14], Froude similarity law is applied to find equivalent prototype velocities of the model jet velocities for 1:25 scaled hydraulic model (Table 3).

Table 3 Prototype jet velocities obtained by using Froude similarity law

Q (m ³ /s)	V _j (m/s)	V _{jprototype} (m/s)
0.22	7.86	39.29
0.19	7.66	38.31
0.16	7.41	37.04
0.13	7.07	35.33
0.10	6.58	32.89
0.07	5.83	29.17

The correctness of the numerical solution can then be checked by comparing with the empirical calculations and experimental measurements. Since this study deals with the air concentration of the water jet from flip bucket at impingement area, measured trajectory lengths from the experiments, calculated trajectory lengths from Kawakami's equation and simulated trajectory lengths derived from FLOW 3D should be examined first. Cross tabulation of the trajectory lengths for all test cases can be seen in Figure 9.

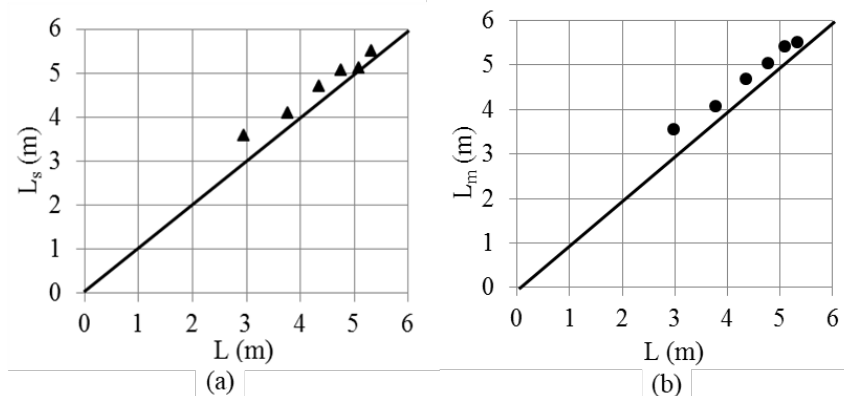


Figure 9 Cross tabulation of (a) simulated-calculated and (b) measured-calculated trajectory lengths

L_m is the measured trajectory length from the model and L_s is the simulated trajectory length obtained from the numerical solutions. Although there are many assumptions in numerical software and analytical calculation, and randomness in measurements, the deviations between the trajectory lengths assumed to be reasonable. Coincidence of the calculated, measured and simulated trajectory lengths show that, positioning of the pressure transmitters depending of the calculated trajectory lengths is applied properly and dynamic pressure measurements are assessed to be reliable for the selected experimental cases.

4.2. Comparison of the Measured and Numerical Dynamic Pressures

Dynamic pressures are measured using pressure transmitters at the impingement area and shown in the figures above. Numerical dynamic pressure values are also obtained after the simulations in FLOW-3D for 6 different discharges. Comparison of the numerical and experimental maximum dynamic pressure values can be seen in Figure 10.

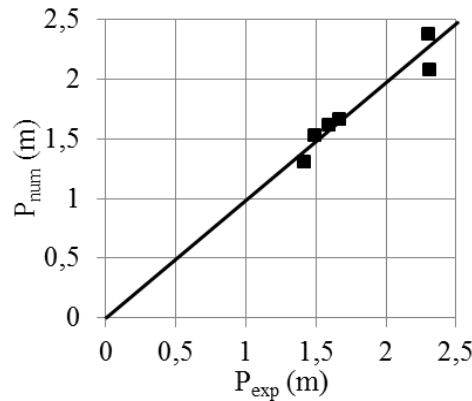


Figure 10 Comparison of the numerical and experimental maximum dynamic pressure values

P_{num} and P_{exp} are the numerical and experimental maximum dynamic pressures for each test case, respectively. Maximum dynamic pressures are compared to obtain more reliable data from numerical and experimental studies. Consistency between the experimental and numerical dynamic pressures shows that both data can be used to determine air concentration in ski jump jets.

4.3. Air Concentration in Ski Jump Jet

Since air concentration of the jet is inversely proportional with dynamic pressure of the jet as mentioned before, it is easy to calculate the distribution of the air percentage into the water jet from flip bucket. It is assumed that the air concentration is 100% where the dynamic pressure is 0, and 0% when the dynamic pressure is maximum. Related results are given in Table 4.

Table 4 Determination of air concentration along the impingement area for two test cases

$Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$		
X (m)	P/γ (m)	Air %	X (m)	P/γ (m)	Air %
0	0.94	7	0	1.38	2
22	1.03	6	22	0.94	3
44	1.27	5	44	0.91	3
66	1.42	5	66	1.28	2
88	1.67	4	88	1.38	2
110	0.22	31	110	2.30	1
132	0.26	25	132	0.03	95
154	0.34	19	154	0.24	12
176	0.07	98	176	0.18	16
198	0.09	74	198	0.17	17

Hence, the concentration of the air absorbed from the medium can be determined in accordance with the dynamic pressure variations at impingement area for the test cases.

However, when trajectory jet impinged the ground, jet may jump at some points after hitting the impingement area. So, dynamic pressure values can be very low owing to this situation as shown in Table 4 with highlighted rows. To abstain from this occurrence, the point where the lowest dynamic pressure value is obtained can be neglected to obtain more reliable data for air concentration of the water jet. Determination of the air concentration amount into the impinging jet and dynamic pressure variations are calculated based on this fact. So as to determine aeration concentration into the jet coming from the flip bucket, aeration percentages are distributed according to the dynamic pressure head at the impingement points (Figure 11).

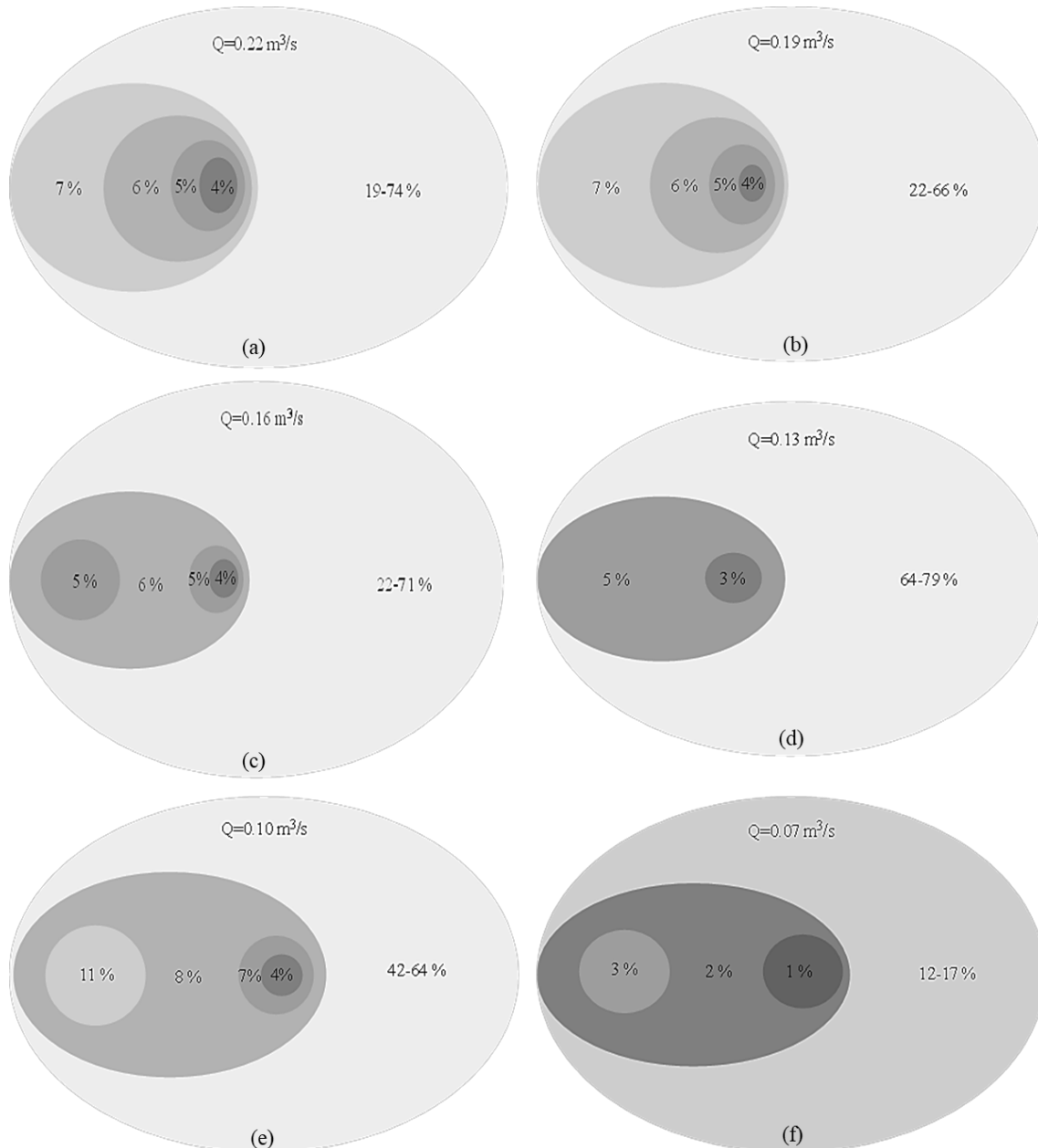


Figure 11 Air concentration percentage in the impinging jet for all test cases

5. Conclusions

This study deals with air concentration amount of ski jump jet from flip bucket at impingement area in uncontrolled section which is one of the most complex problem in civil engineering. Dispersion of the jet into the air and relationship between the dynamic pressure and air concentration are investigated for 6 different discharges experimentally. Trajectories are determined using three different methods by measuring from the test facility, calculating with empirical equations and obtaining from the numerical runs. All these experimental and numerical data are compared with each other and the following conclusions can be drawn:

i. Air concentration of the water jet can be higher in prototypes than model studies due to much more higher discharges.

ii. Trajectory lengths are affected from air entrainment which shows considerably high energy dissipation into the water jet after the flip bucket of spillway.

iii. Numerical and experimental solutions are almost matching up for the selected test cases. This can be a good method to determine the air concentration into the water jet especially in uncontrolled section using simple equations and assumptions.

iv. Significant increase in dynamic pressures can be observed for jet discharges less than 0.130 m³/s. This behavior was partly attributed to low air concentration, a result of small jet velocities at the lip of the bucket and can be result of a scale effect for low discharge values.

Acknowledgement

This experimental study was conducted on Laleli Dam and Hydroelectric Power Plant model built for DSIM Projects in Middle East Technical University Hydromechanics Laboratory. The author wants to express deepest gratitude to Prof. Dr. Mustafa M. Aral for his valuable guidance, patience, encouragement and support to completion of this study.

Abbreviations

A_{total}	:	Elliptic area at impingement point (m ²)
A_w	:	Water area at impingement point (m ²)
A_a	:	Air area at impingement point (m ²)
a	:	Width of the dispersed jet at impingement point (m)
b	:	Length of the dispersed jet at impingement point (m)
g	:	Gravitational acceleration (m ² /s)
ρ	:	Density
h_j	:	Water depth on the bucket lip (m)
V_m	:	Model velocity (m/s)
V_p	:	Prototype velocity (m/s)
L_m	:	Measured Trajectory length (m)
L_s	:	Simulated Trajectory length (m)
L	:	Calculated Trajectory length (m)
k	:	Constant related to air resistance
Q	:	Water discharge (m ³ /s)
P_d/γ	:	Dynamic pressure head (m)
V_j	:	Velocity at the bucket lip (m/s)
w	:	Channel width (m)
z_i	:	Vertical drop from lip to tail-water level (m)
α	:	Trajectory length constant from Equation 2
α_j	:	Flip bucket lip angle (degree)
γ	:	Specific weight of water (N/m ³)
X	:	Distance of the pressure transmitter from the bucket lip (m)
τ_{ij}	:	Reynold's Stress
Fr	:	Froude Number

Kaynaklar

- [1] Carrillo JM, Castillo LG, Marco F, García JT. Experimental and numerical analysis of two-phase flows in plunge pools. *Journal of Hydraulic Engineering* 2020; 146(6).
- [2] Sarwar MK, Ahmad I, Chaudary ZA, Mughal HUR. Experimental and numerical studies on orifice spillway aerator of Bunji Dam. *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 2020; 43(1): 27-36.

- [3] Li S, Zhang J, Xu W. Numerical investigation of air–water flow properties over steep flat and pooled stepped spillways. *Journal of Hydraulic Research* 2018; 56(1): 1-14.
- [4] Dong Z, Wang J, Vetsch DF, Boes RM, Tan G. Numerical Simulation of Air–Water Two-Phase Flow on Stepped Spillways behind X-Shaped Flaring Gate Piers under Very High Unit Discharge. *Water* 2019; 11(10): 1956.
- [5] Li S, Yang J, Li Q. Numerical Modelling of Air-Water Flows over a Stepped Spillway with Chamfers and Cavity Blockages. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2020; 24(1): 99-109.
- [6] Juon R, Hager WH. Flip bucket without and with deflectors. *Journal of Hydraulic Engineering* 2000; 126(11): 837-845.
- [7] Tsen-ding C. ON The Energy Dissipation of High Overflow Dam with Flip Bucket and Estimation of Downstream Local Erosion. *Journal of Hydraulic Engineering* 1963; 2.
- [8] Khatsuria RM. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*, CRC Press, Taylor & Francis Group, NW, 2005; ISBN: 978-0-203-99698-0.
- [9] Rajan BH, Shivashankara Rao KN. Design of trajectory buckets. *J. Irrig. Power India* 1980; 37(1): 63–76, ISSN : 0974-4711.
- [10] Heller V, Hager WH, Minor HE. Ski jump hydraulics, *J. Hydraul. Eng.* 2005; 131(5):347–355, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:5(347).
- [11] Steiner R, Heller V, Hager WH, Minor HE. Deflector ski jump hydraulics, *Journal of Hydraulic Engineering* 2008; 5(134): 562-571, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:5(562).
- [12] Chanson H. Air Bubble Entrainment in Turbulent Water Jets Discharging into the Atmosphere, *Australian Civil/Structural Engineering Transactions* 1996; 1(39).
- [13] Schmocker L, Pfister M, Hager WH, Minor HE. Aeration characteristics of ski jump jets, *ASCE Journal. of Hydraulic Engineering* 2008; 134(1):90-97.
- [14] Kawakami K. A Study on the Computation of Horizontal Distance of Jet Issued from Ski-Jump Spillway, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers* 1973; 1973(219):37-44, Doi: http://doi.org/10.2208/jscej1969.1973.219_37.
- [15] Aydin I, Göğüş M, Altan-Sakarya AB, Köken M. Laleli Dam and HEPP Spillway Hydraulic Model Studies, *Hydromechanics Laboratory, Civil Engineering Department*, 2012, METU.
- [16] Data Acquisition (DAQ) Software retrieved from: <http://turkey.ni.com/>
- [17] Launder BE, Spalding DB. The numerical computation of turbulent flows, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engng.* 1974; 3(2):269–289, DOI:10.1016/0045-7825(74)90029-2.
- [18] Wilcox DC. *Turbulence modelling for CFD*, DCW Industries, Inc. 2000, La Canada CA, DOI: 10.1017/S0022112095211388.
- [19] Zhang N, Chato DJ, McQuillen JB, Motil BJ, Chao DF. CFD simulation of pressure drops in liquid acquisition device channel with sub-cooled oxygen, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2012; 58:1180-1185, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.035.
- [20] Speziale CG. Analytical methods for the development of Reynolds-stress closures in turbulence, *Annual Review of Fluid Mechanics* 1991; 23:107–157, DOI: 10.1146/annurev.fl.23.010191.000543.
- [21] Flow 3D, v10.1 User Manuel, 2012, Available at:http://www.easysimulation.com/public/flow3dcast/documentation/FLOW-3D_Cast_3.2_Manual.pdf

2012-2018 YILLARI TIBBİ ATIKLARININ NÜFUS İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ VE MEVCUT BERTARAF YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan ERYILMAZ¹, Kazım Onur DEMİRARSLAN^{2*}

¹⁻² Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin.
Geliş tarihi: 29.07.2020 Kabul tarihi: 13.10.2020

ÖZET

Teknolojik gelişmeler ve buna bağlı olarak sağlıklı bir toplum olma yolundaki ilerlemeler sonucunda çevreyle insan sağlığını tehdit edebilecek atıklar da ortaya çıkmaktadır. Tehlikeli kabul edilen atıkların bir kısmı da tıbbi atıklardır. Bu tıbbi atıklar hastaneler, laboratuvarlar, aile sağlığı merkezleri, diş hekimleri gibi yerlerden meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Çevre Müdürlüklerince hazırlanan 2012-2018 yılları İl Çevre Durum Raporları incelenerek illere ve bölgelere göre tıbbi atıkların durumları değerlendirilmiştir.. Akdeniz bölgesinde Hatay, Mersin, Antalya ve Adana; Doğu Anadolu Bölgesinde Elazığ, Van, Erzurum ve Malatya; Ege Bölgesinde İzmir; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şanlıurfa, Diyarbakır ve Gaziantep; İç Anadolu Bölgesinde Kayseri, Konya ve Ankara; Karadeniz Bölgesinde Bolu, Çorum, Tokat, Ordu, Zonguldak, Trabzon, Samsun ve Marmara Bölgesinde ise İstanbul'da toplanan atık miktarı bölgelerin ortalamasından yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerle illerin nüfus bilgileri kullanılarak doğrusal regresyon analizi yardımıyla nüfus-tıbbi atık ilişkileri incelenmiştir. Sonuç olarak ilişki yıllara göre artış göstermektedir. Türkiye'deki bertaraf yöntemlerine bakıldığında 3 ilde yakma ve 54 ilde sterilizasyon tesisi olduğu görülmüştür. Herhangi bir bertaraf tesisi olmayan 25 il ise topladıkları tıbbi atıkları kendilerine en yakın tesise göndermektedir. Yapılan bu çalışmayla Türkiye'deki tıbbi atıkların envanteri çıkarılarak diğer çalışmalara öncülük etmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık nüfus ilişkisi, Bertaraf yöntemleri, Tıbbi atıklar, Doğrusal regresyon

EVALUATION OF 2012-2018 MEDICAL WASTES WITH THE POPULATION AND CURRENT DISPOSAL METHODS

ABSTRACT

As a result of technological developments and progress to become a healthy society, wastes which may threaten the environment and human health, are also emerging. Some of the wastes considered hazardous are medical wastes. These medical wastes are generated in hospitals, laboratories, family health centres and dentists. In this study, a medical waste inventory was prepared according to the provinces and regions, by examining the Provincial Environmental Status Reports for 2012-2018 years of the Ministry of Environment and Urbanization. The amount of wastes collected in Hatay, Mersin, Antalya and Adana in the Mediterranean region; Elazığ, Van, Erzurum and Malatya in the Eastern Anatolia Region; İzmir in the Aegean Region; Şanlıurfa, Diyarbakır and Gaziantep in the South-eastern Anatolia Region; Kayseri, Konya and Ankara in the Central Anatolia Region; in Bolu, Çorum, Tokat, Ordu, Zonguldak, Trabzon, Samsun in the Black Sea Region; and in İstanbul of Marmara Region, are higher than the average of the regions. The data and relationships were also examined with the help of linear regression analysis by using the population information of the provinces. As a result, it has been determined that the relationship has increased over the years. When the disposal methods in Turkey were examined, three incineration facilities were determined to be in the three provinces and sterilization facility in 54 provinces. Twenty-five provinces without any disposal facilities send the medical wastes which they collect to the nearest facility. In this study, by subtracting the inventory of medical waste in Turkey, it is intended to lead to other studies.

Keywords: Population-waste relation, Disposal methods, Medical wastes, Linear regression

e-posta: h.eryilmaz.artvin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4909-6907>

* e-posta: onurdemirarslan@artvin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1023-7584>

1. Giriş

Günümüzde nüfusun ve bilimsel çalışmaların artması sonucunda tıp bilimi önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bu gelişmeler dünyadaki sağlık hizmetlerinin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Ancak kaçınılmaz olarak da sağlık personeli ve hastalar için tehlike oluşturan bunun yanında da çevre ve insan sağlığını da tehdit eden atıklar meydana getirmektedir [1-3]. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tıbbi atıklar enfeksiyon yapıcı, patolojik ve kesici-delici atıklar olarak tanımlanmaktadır [4]. Genellikle tıbbi atık miktarı nispeten küçük olmasına karşın, oluşumundan bertarafına kadar önem verilmesi gereken atık türüdür [5]. Tıbbi atıklar radyoaktif atıklardan sonra gelen ikinci tehlikeli atıktır ve yönetimi yüksek standartta eğitim gerektiren tehlikeli bir işlemdir [6]. Tıbbi atıklar kliniklerden, bakım evlerinden, diş hekimlerinden, laboratuvarlardan, veteriner kliniklerinden tıbbi bakım ve tedavi süreçlerinden meydana gelmektedir [7, 8]. Bu atıklar birçok alanlardan elde edilse de hastaneler büyük bir ağırlığa sahiptir. Gerek sağlık personellerinin eğitimsizliği gerekse tıbbi atık konusundaki vurdumduymazlık bu atıkların daha fazla meydana gelmesine neden olmaktadır [9]. Sağlık kurumlarında meydana gelen bu atıklar genel ve özel atıklar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Genel atıklar evsel atıklarla benzerlik gösterdiğinden ve tehlikeli veya potansiyel olarak tehlikeli olarak değerlendirilmediğinden özel muamele ve bertaraf gerektirmemektedir. Özel atıklar ise belirli yönetmelik ve yönergelerle göre özel muamele ve bertaraf gerektiren, içerisinde potansiyel sağlık tehlikeleri bulunduran atıklar olarak belirtilmektedir [10]. Bu konuda yapılan çalışmalarda tıbbi atıkların %75-90'lık kısmının riskli olmayıp evsel atıklar ile karıştırılabilecek cinsten olduğu; geri kalan %10-25'lik kısmının ise tehlikeli veya özel atık olarak tanımlandığı görülmektedir. Birlikte ayrıca bu atıkların %15-25'inin bulaşıcı olduğu kabul edilmektedir [2, 11]. Tıbbi atık yönetiminin temel amacı insan sağlığı ve çevreye zarar vermeden, atıkların toplanması, ayıklanması, miktar ve hacminin azaltılarak güvenli bir şekilde bertaraf edilmesidir [12]. Uygun bir atık yönetiminde personelin eğitimi de önemli bir rol oynamaktadır [13]. Tıbbi atıkların bertarafı için birçok teknoloji bulunmaktadır. Dünyada tıbbi atıkların %59-60'ı yakma, %20-37 si buhar sterilizasyonu ve %4-5'i diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir [10]. Avrupa ülkelerine bakıldığında tıbbi atıkların bertarafında %49-60'ın yakılarak, %20-37'si buhar sterilizasyonu ile ve %4-5'inin diğer teknolojiler kullanılarak bertaraf edildiği görülmüştür [14].

Bu çalışmada Türkiye İstatistik Enstitüsü (TÜİK), Sağlık Bakanlığı ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı kaynakları kullanılarak; Türkiye'de bulunan sağlık kuruluşlarında, 2012-2018 yıllarında oluşan tıbbi atık miktarları illere göre ele alınmıştır. Ayrıca tıbbi atık miktarları ile illerin nüfus sayıları arasında ilişki ortaya konmuştur. Bunun yanında Türkiye'deki kişi başına düşen tıbbi atık miktarı da hesaplanmış ve bazı yabancı ülkelerdeki yıllık kişi başına düşen tıbbi atık miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Türkiye tıbbi atık miktarının değişim eğilimi, son durumlar tespit edilerek, bazı yeni teklifler yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Çalışma alanı olan Türkiye'de 2018 yılı hastane sayıları incelendiğinde Sağlık Bakanlığına bağlı 889, üniversitelere bağlı 68, özel 577 olmak üzere toplamda 1534 hastane bulunmakla birlikte, yatak sayılarına bakıldığında Sağlık Bakanlığı hastanelerinde 139651, üniversite hastanelerinde 42066, özel hastanelerde 50196 toplamda ise 231913 adet yatak bulunmaktadır [15].

Çalışmada TÜİK, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile İl Çevre Müdürlüklerince hazırlanmış olan 2012-2018 yılları arası İl Çevre Durum Raporları, Sağlık Bakanlığı, tarafından elde edilen bilgiler, tablo ve grafikler haline getirilerek yorum ve değerlendirmelerle, Türkiye tıbbi atık miktarının değişim eğilimi ve son durumlar tespit edilmiştir [16, 17].

Ayrıca 2012-2018 yılları il nüfusları ve meydana gelen tıbbi atık miktarları arasındaki ilişki doğrusal regresyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Analizler SPSS 19.0 programı kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizleri bağımsız değişkenlerin sonuç değişkenler üzerindeki etkilerini hesaplamaktadır. İstatistiksel uygulamalarda, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla birçok regresyon yöntemi geliştirilmiştir [18]. Doğrusal regresyon ise bir bağımlı değişkenle bir ya da daha çok bağımsız değişkenin ilişkisini doğrusal bir model ışığında bulmanın istatistiksel yöntemi olarak tanımlanabilir[19].

3. Bulgular

Tıbbi atıkların miktarları ülkelere göre farklılık gösterdiği gibi, aynı ülke içinde bölgelere göre de farklılık gösterebilmektedir [20]. Çizelge 1’ de Kanada ve ABD’deki hastanelerin atık miktarı ile gelişmekte olan birkaç ülkedeki hastanelerden kaynaklanan atık miktarları verilmektedir. Düşük ve orta gelirli ülkelerde yatak başı tıbbi atık oluşumu genellikle geliri yüksek olan ülkelere göre daha azdır. Tıbbi atıkların miktarı; kuruluşların atık yönetim metodları, kuruluşların tipleri, hastanelerin özellikleri, kullanılan sağlık malzemelerinin yeniden kullanılabilirlik oranları ve günlük hasta miktarı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Sağlık hizmetlerinden meydana gelen atıkları karşılaştırmak için uygun bir birim seçimi oldukça zordur. Sağlık kuruluşlarından günlük üretilen toplam tıbbi atık miktarları, genellikle yatak başına verilmektedir. Yatak başı üretilen miktar ise sağlık tesislerinin atık yönetim şekilleri, hastanelerin özel ya da genel hastane oluşu ile günlük hasta yatış miktarı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu durum ise bazı problemlere yol açmaktadır. Örneğin 1 saat içinde tedavi edilen ve taburcu olan hastalar ile günlerce yatarak tedavi olan hastaların da atıkları bu toplama girmektedir [14]. Hasta trafiğinin hızlı olduğu bir hastaneden çıkacak yatak başı atık miktarının çok fazla olacağı açıktır. Böyle kalabalık bir hastanede, yatak başı atık miktarı artarken, yatan veya tedavi olan hasta başına atık miktarı tam tersine azalacaktır. Sonuç olarak Çizelge 1 rakamlarına göre, sanki kalabalık bir hastane ABD şartlarında çok iyi bir hizmet verirken; kalabalık olmayan rahat konforlu bir hastane de Nepal şartlarında kötü bir hizmet veriyor gibi görünmektedir. Bu durum oldukça yanıltıcı ve yanlış bir izlenim ortaya çıkarmaktadır.

Çizelge 1. Farklı ülkelerin tıbbi atık üretim oranları [21]

Ülkeler	Tıbbi Atık Miktarı (kg-gün/yatak)
Nepal	0,53
İran	1,04
Vietnam	1,42
Türkiye	1,53
Sırbistan	1,92
Pakistan	2,07
Birleşik Krallık	3,30
Kuveyt	3,65
Kanada	4,10
ABD	4,40

Bu nedenle yatak başı atık miktarı hesaplaması, sağlık kuruluşunun etkin olarak çalışıp çalışmadığını ölçmek için kullanılabilir. Atık miktarı kişi başına olarak hesaplanırsa daha rasyonel sonuçlar elde edilebilecektir. Yeni yapılan araştırmalarda kişi başına yıllık atık miktarlarının da kullanıldığı görülmektedir. 2016 yılında TUİK tarafından yapılan araştırmanın sonuçları Çizelge 2’ de kişi başı olarak verilmiştir.

Çizelge 2. Sektörlere göre 2012-2016 yılları arası tıbbi atık miktarı [22]

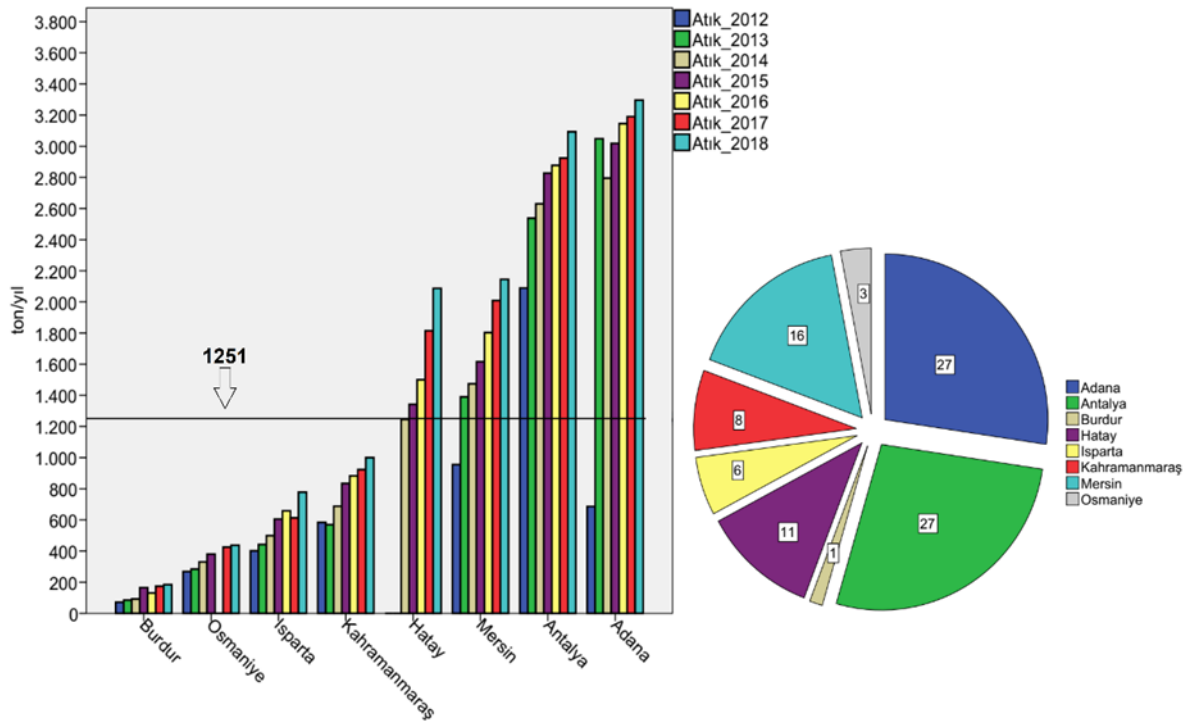
	Sağlık kuruluşu sayısı			Tıbbi atık miktarı (kg)			Hasta başına atık miktarı (kg/kişi)		
	2012	2014	2016	2012	2014	2016	2012	2014	2016
Sağlık Bakanlığı hastaneleri	869	894	887	37.303.772	38.752.842	41.632.187	0,14	0,13	0,12
Özel hastaneler	515	538	567	1.542.342	18.910.552	21.465.033	0,27	0,28	0,30
Üniversite hastaneleri	65	66	73	15.082.685	16.831.652	17.927.049	0,56	0,53	0,49
Toplam	1.449	1.498	1.527	68.928.799	74.495.046	81.024.269	0,97	0,94	0,91

Çizelge 2’deki rakamlardan anlaşılacağı gibi; beş yıl (2012–2016) içinde bütün sektörlerde artan sağlık kuruluşu sayısına paralel olarak tıbbi atık miktarı da artmaktadır. Ancak hasta başına ortalama tıbbi atık miktarı özel hastaneler hariç, hem toplamda hem de ayrı ayrı devlet ve üniversite hastanelerinde azalmaktadır. Özel hastanelerde 0,27→0,28→0,30 kg/kişi şeklinde artışı, muhtemelen tedaviler sırasında, hastaların mali gücüyle orantılı olarak artan özeni göstermektedir. Çizelge 2’de görüleceği üzere, üniversite hastanelerinde kişi başı tıbbi atık üretimi çok yüksektir. Her ne kadar yıllar içinde bu miktar 0,56→0,53→0,49 kg/kişi şeklinde azalmışsa da Sağlık Bakanlığına bağlı hastanelerde çıkan kişi başı atık miktarının dört katına, özel hastanelerin atık miktarının da iki katına yakındır. Üniversite hastanelerinin eğitim-araştırma-hizmet hastaneleri olması ve hem özen, hem yeni teknolojilerin geliştirilmesi için fazla denemelerin yapılması açısından, atık miktarının yüksek çıkması da normaldir. Bu oran hastanenin teknolojik alt yapısıyla ilgili olduğundan, günümüzde yüksek teknolojik alt yapısı olan şehir hastanelerinde de benzer hatta daha yüksek oranların çıkması olasıdır.

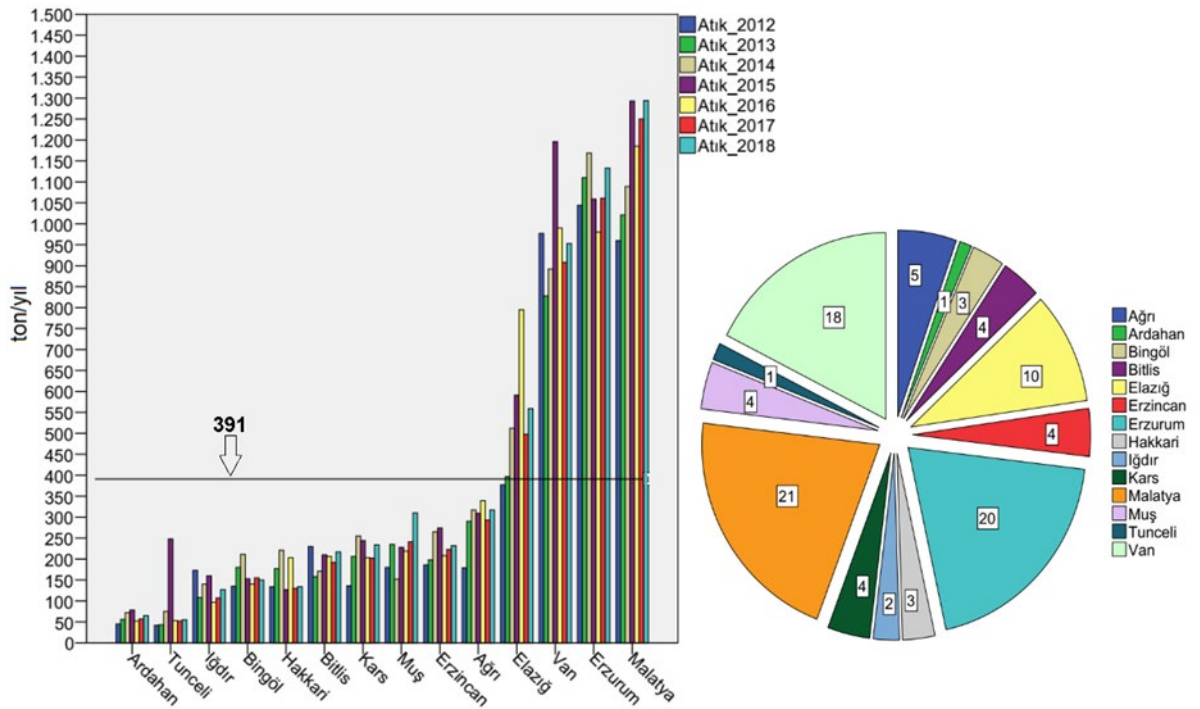
Tıbbi atık miktarları hastane içi servisler arasında da çok farklıdır. Rakamlar değişken de olsa, bir fikir vermek bakımından bir hastanede, günde kişi başı atık miktarı ameliyathanede 8,61 kg iken, iç hastalıklarında 0,95 kg, acil serviste 0,1 kg kadardır [23]. Literatürde bulunan çalışmalara göre ise bulaşıcı tıbbi atıkların %52’sinin kısa süreli hastalardan meydana geldiğini göstermiştir. Bunun dışında %23 oranında laboratuvarlar, %14 ameliyathalar, %7 diyaliz servisleri, %4 ise ilk yardım servisi olduğu görülmüştür. Tayvan’da yapılan benzer çalışmalarda ise diyaliz ünitesi %23, yoğun bakım ünitesi %17, acil bakım ünitesi ve poliklinikler %12 olarak görülmüştür [14].

3.1. Türkiye’deki Tıbbi Atık Miktarları

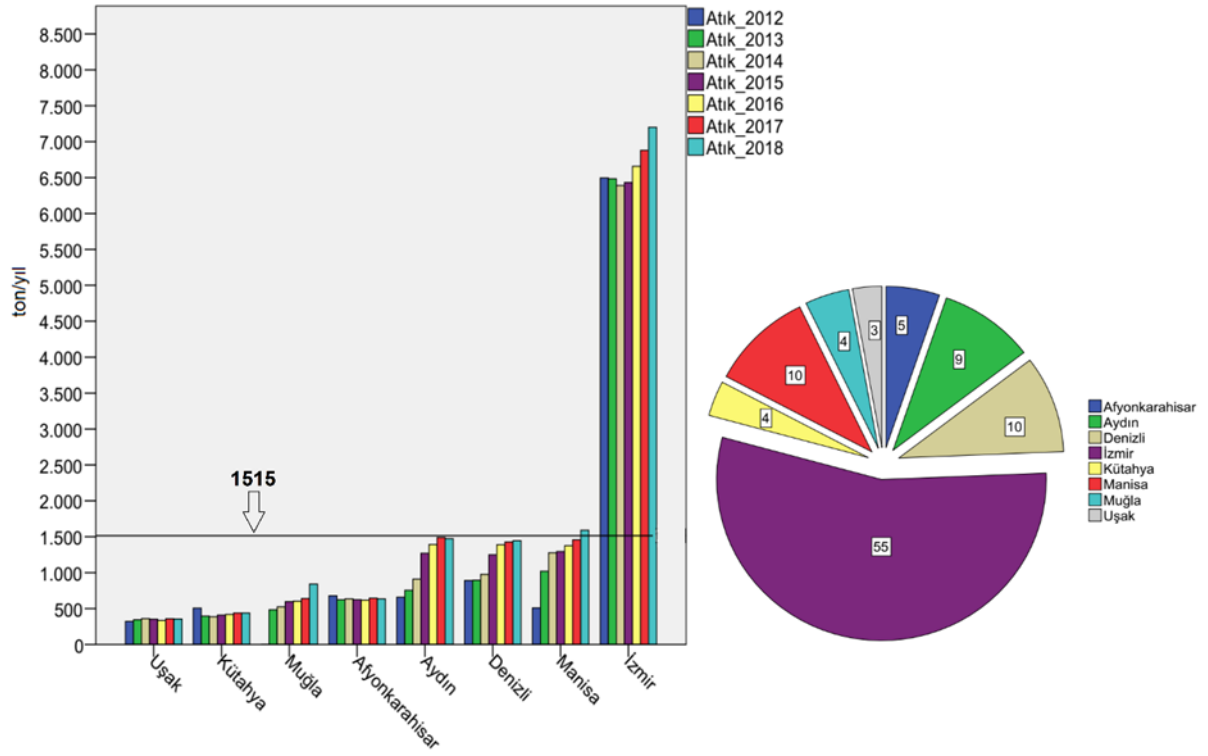
Türkiye’de toplam tıbbi atık miktarındaki artış hızı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. İstanbul’da 1996–2008 yılları arasında %18,44 artarken; Bursa’da 2000-2004 arasında %20,75; Sakarya’da 2000–2008 yılları arasında %56,42 artmıştır. Önceki senelerde atık üreticileri, belediyeler ve ilgili bakanlık tarafından tıbbi atıkların, katı atıklar ile birlikte değerlendirilmekte olduğu görülebilmektedir. Avrupa Birliği uyum sürecinde yenilenen çevre politikalar/mevzuatı ve çevre konularında gerçekleştirilen yeni proje ve düzenlemelerle beraber tıbbi atıklar ayrı bir yönetim sistemi altında değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda Türkiye’de bölgeler arası eski atık miktarları arasında büyük farkların olması normaldir, son yılların değerleri daha doğru bir eğilimi gösterecektir. Türkiye’de sağlık kuruluşlarında tıbbi atığın düzgün ve ayrı ayrı toplanması 2012 yılında tamamlanabilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı da, İl Çevre Durum Raporlarını sistemli bir şekilde 2012 yılından itibaren yayınlamaya başlamıştır. Bölgelere ve yıllara göre tıbbi atık miktarları Şekil 1-7’de verilmektedir.



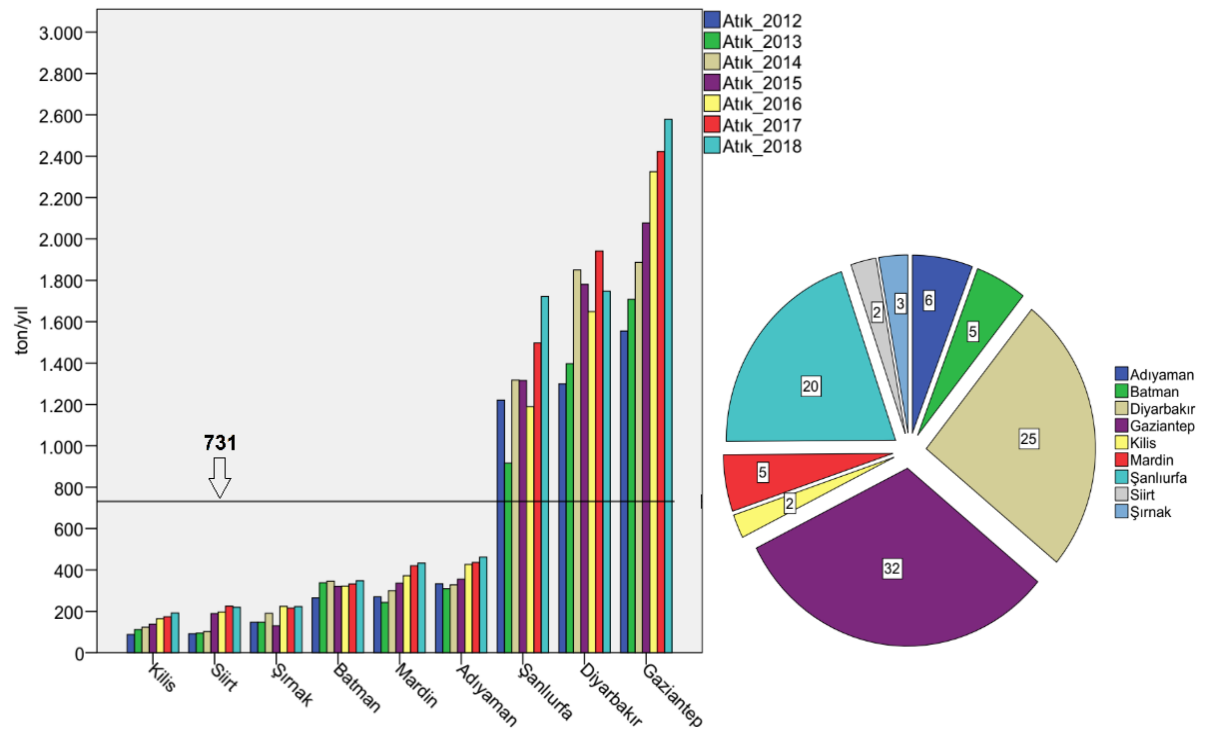
Şekil 1. Akdeniz Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



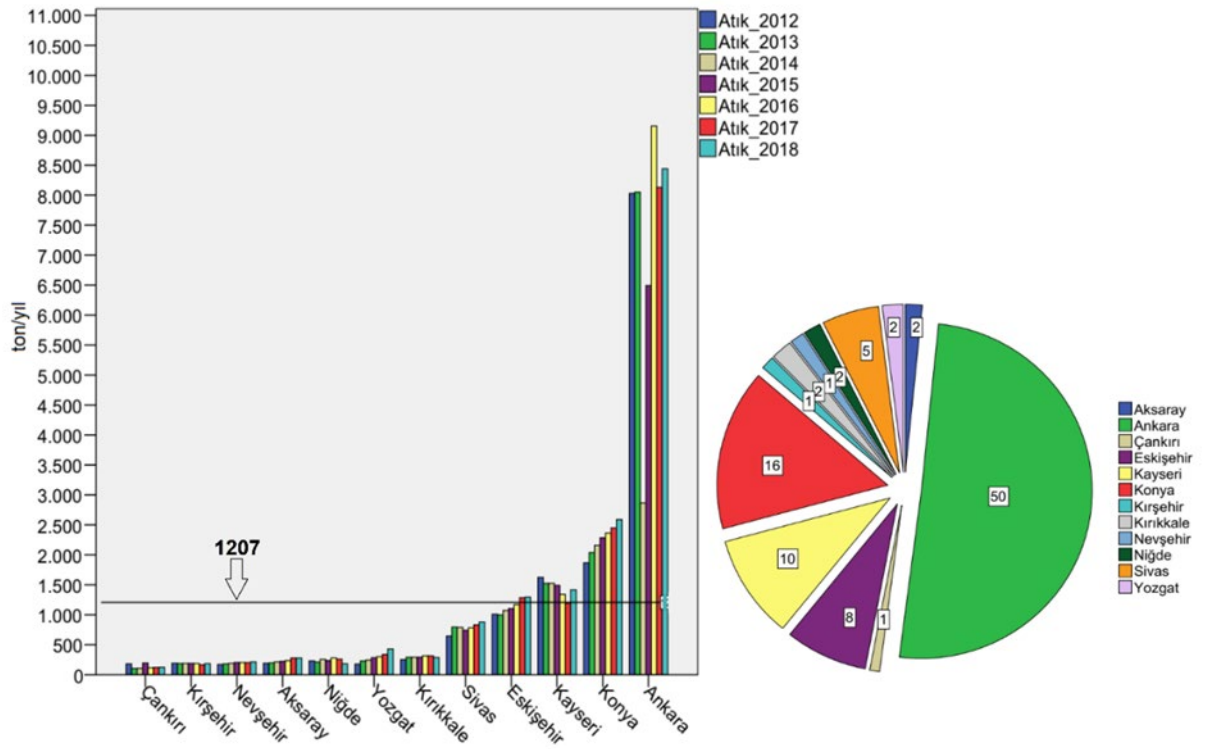
Şekil 2. Doğu Anadolu Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



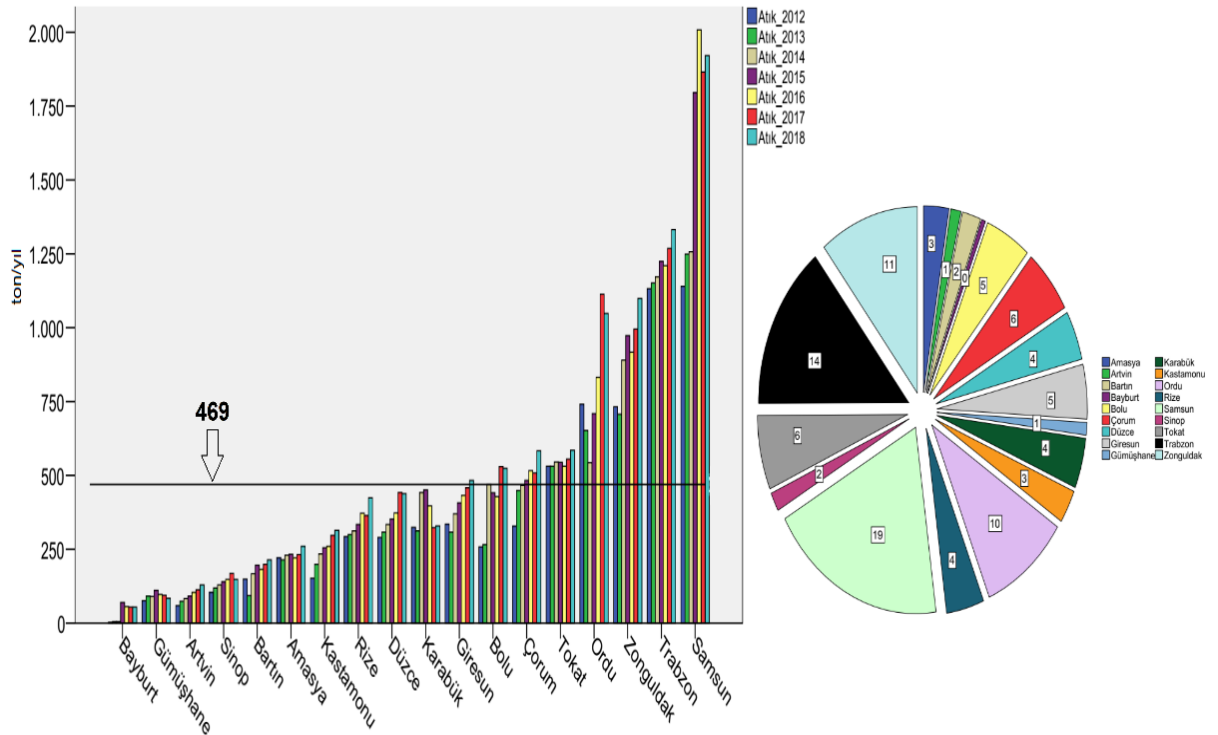
Şekil 3. Ege Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



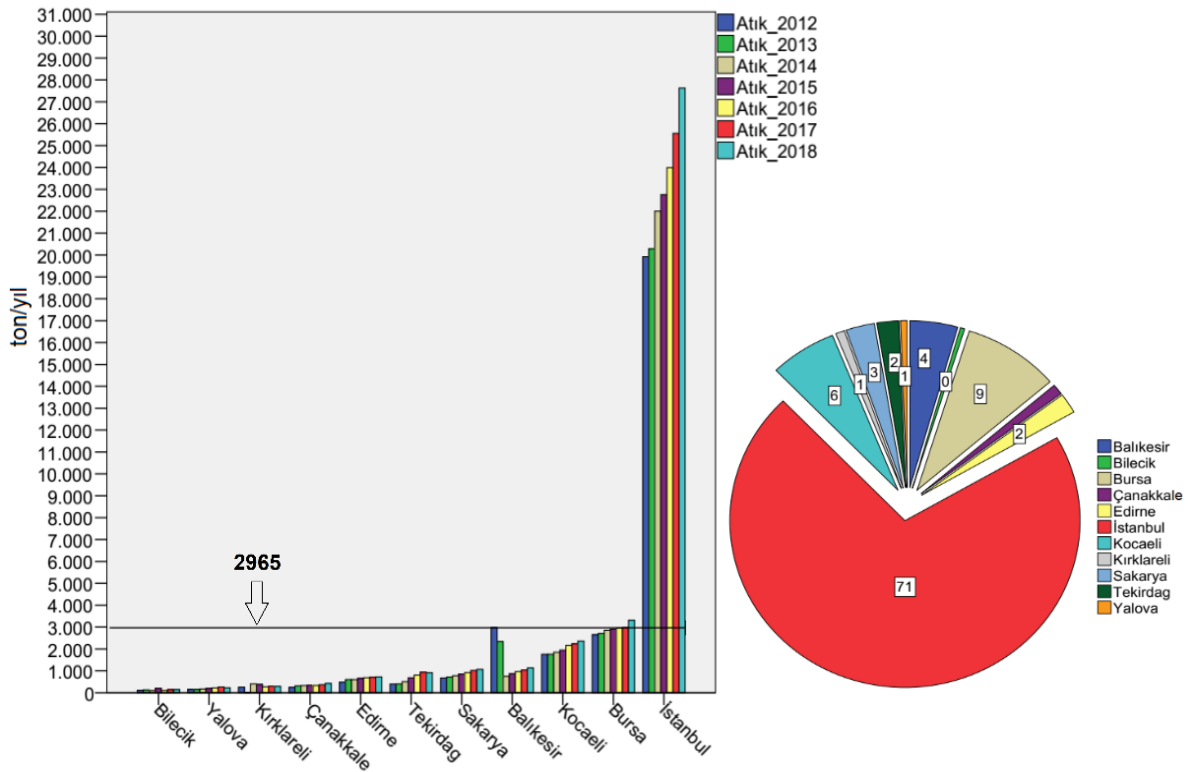
Şekil 4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



Şekil 5. İç Anadolu Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



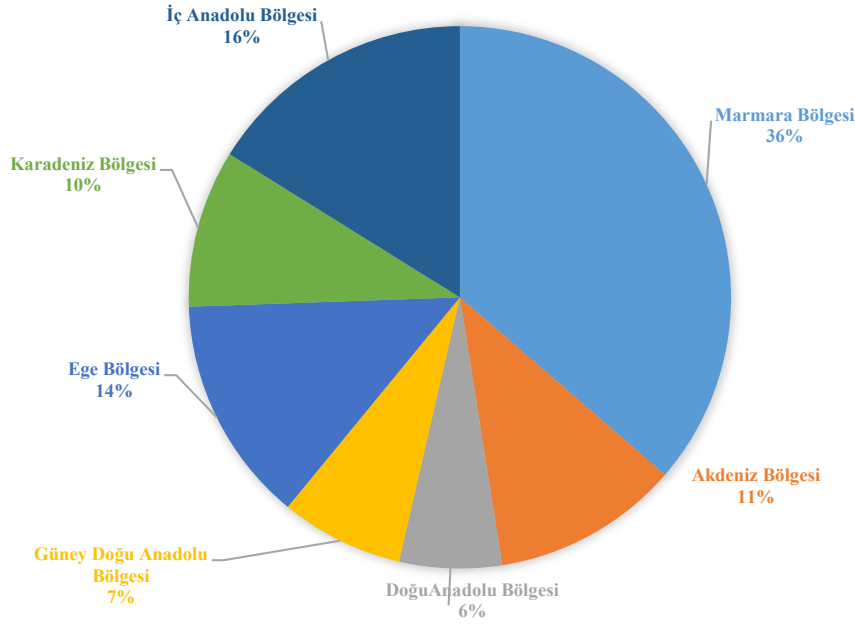
Şekil 6. Karadeniz Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları



Şekil 7. Marmara Bölgesi illeri 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarları

Şekil 1’de verilen değerlere göre Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde olan Antalya ve Adana en fazla tıbbi atık oluşturan illerdir. En düşük il ise Burdur olarak belirlenmiştir. Bölgede ortalama miktar ise 1251 ton/yıldır. Doğu Anadolu Bölgesi’nde (Şekil 2) 2012-2018 yılları arasında Van, Erzurum ve Malatya en fazla tıbbi atık çıkaran şehirler, Ardahan ise en düşük miktarda atık çıkaran il olmuştur. Bölgenin ortalamasına bakıldığında atık miktarının 391 ton/yıl olduğu görülmektedir. Şekil 3’deki Ege bölgesi grafiğinde ise en çok İzmir’de tıbbi atık meydana gelmektedir ve bölgenin ortalaması ise 1515 ton/yıldır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri olan Şanlıurfa, Diyarbakır ve Gaziantep bölgenin en fazla tıbbi atık çıkaran illeridir (Şekil 4). Bölgenin 2012-2018 yıllarındaki ortalaması 731 ton/yıldır. İç Anadolu Bölgesinde ise (Şekil 5) Ankara’nın tıbbi atık üretimi konusunda başı çektiği görülebilmektedir. Bölgede yıllık ortalama 1207 ton olarak hesaplanmıştır. Karadeniz Bölgesi’nde en fazla tıbbi atık Bolu, Çorum, Tokat, Ordu, Zonguldak, Trabzon ve Samsun illerinde meydana gelmektedir (Şekil 6). Bölgedeki ortalama miktar ise 469 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 7’deki Marmara bölgesine ait grafik incelendiğinde ise İstanbul’un en fazla tıbbi atık üreten il olduğu görülebilmektedir. Bölgenin yıllık ortalaması ise 2965 ton olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen veriler ilin o yıla ait nüfuslarına [16] bölünerek, ilin kişi başına yıllık tıbbi atık miktarları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. Ortalama değerler için, sadece 2015-2018 değerleri kullanılmıştır. Bazı illerde tıbbi atık miktarlarının hiç olmadığı, bazı illerde ise sonraki yılların değerleriyle çok farklılık gösterdiğinden dolayı 2012-2014 yıllarının değerleri ortalamaya katılmamıştır. Ayrıca bölgelerde 2012-2018 yılları arasında meydana gelen tıbbi atık miktarları yüzde olarak incelenmiş ve Şekil 8 de verilmiştir. Şekil 8’ e göre 2012-2018 yılları arasında tıbbi atıkların en yoğun meydana geldiği bölge Marmara Bölgesi olup ardından İç Anadolu ve Ege bölgesi gelmektedir.



Şekil 8. Bölgelere göre 2012-2018 yılları arası tıbbi atık miktarlarının karşılaştırılması

Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (EHCIP) Projesi çerçevesinde Türkiye belirli bölgelere ayrılmıştır. Bu bölgelerden ilki Marmara ve Ege Bölgeleri, ikincisi Karadeniz, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgesi, üçüncüsü de Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgesidir [24]. Bu bölgeler baz alındığında 2012-2018 yılları arasında meydana gelen tıbbi atık miktarları incelenmiş Marmara ve Ege Bölgeleri > Karadeniz, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgeleri > Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri olduğu görülmüştür.

2018 yılı verilerine göre Sağlık Bakanlığı hastanelerinde 139651, üniversite hastanelerinde 42066, özel hastanelerde 50196 toplamda ise 231913 adet yatak bulunmaktadır [15]. 2018 yıllarına ait toplam tıbbi atık miktarı yatak sayısına göre oralandığında Türkiye için 1,24 kg gün/yatak değeri ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3. İl bazında 2015-2018 yılları kişi başına tıbbi atık üretim miktarları (kg/kişi yıl)

İl	2015	2016	2017	2018	Ort.	İl	2015	2016	2017	2018	Ort.
Adana	1,38	1,44	1,44	1,48	1,44	Kahramanmaraş	0,76	0,79	0,82	0,87	0,81
Adıyaman	0,59	0,70	0,71	0,74	0,69	Karabük	1,91	1,64	1,32	1,33	1,55
Afyonkarahisar	0,88	0,86	0,90	0,88	0,88	Karaman	0,63	0,64	0,73	0,73	0,67
Ağrı	0,56	0,63	0,55	0,59	0,58	Kars	0,83	0,70	0,70	0,81	0,76
Aksaray	0,58	0,59	0,70	0,68	0,64	Kastamonu	0,68	0,69	0,80	0,82	0,75
Amasya	0,72	0,68	0,70	0,77	0,72	Kayseri	1,11	0,99	0,87	1,02	1,00
Ankara	1,84	1,71	1,54	1,53	1,71	Kırkkale	1,09	1,14	1,13	1,12	1,12
Antalya	1,24	1,24	1,24	1,27	1,25	Kırklareli	1,08	0,76	0,83	0,80	0,87
Ardahan	0,79	0,53	0,59	0,66	0,64	Kırşehir	0,84	0,81	0,71	0,76	0,78
Artvin	0,54	0,62	0,68	0,74	0,65	Kilis	1,06	1,25	1,28	1,35	1,24
Aydın	1,21	1,30	1,38	1,34	1,31	Kocaeli	1,09	1,18	1,19	1,24	1,18
Balıkesir	0,74	0,81	0,86	0,93	0,86	Konya	1,07	1,09	1,12	1,17	1,14
Bartın	1,03	0,95	1,03	1,08	1,02	Kütahya	0,72	0,73	0,77	0,76	0,75
Batman	0,57	0,56	0,57	0,58	0,57	Malatya	1,67	1,52	1,59	1,62	1,60
Bayburt	0,89	0,62	0,67	0,66	0,61	Manisa	0,94	0,99	1,03	1,11	1,02

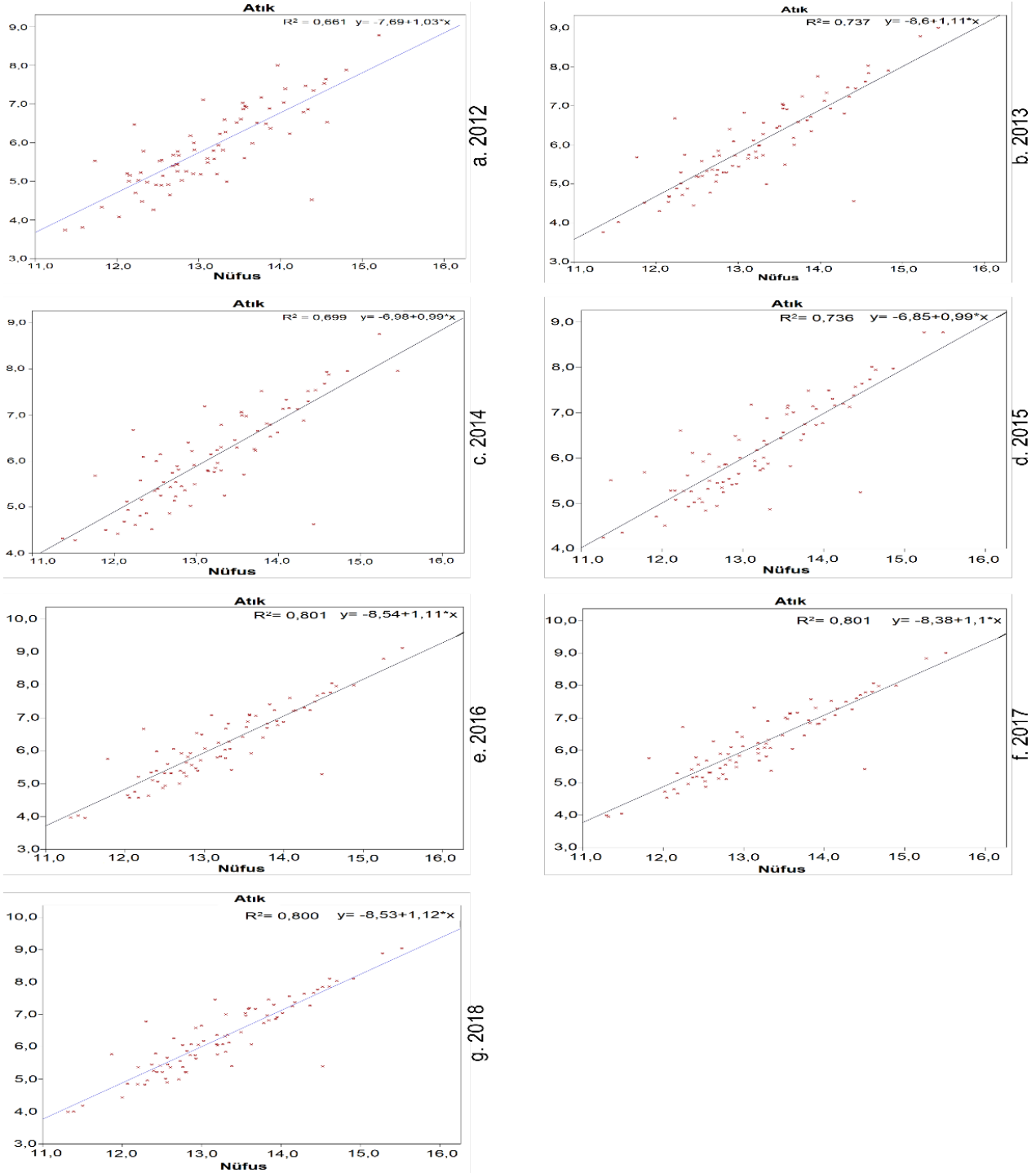
Bilecik	0,46	0,47	0,65	0,64	0,56	Mardin	0,42	0,47	0,52	0,52	0,48
Bingöl	0,57	0,52	0,57	0,53	0,55	Mersin	0,93	1,02	1,12	1,18	1,07
Bitlis	0,62	0,60	0,56	0,62	0,60	Muğla	0,66	0,65	0,68	0,87	0,72
Bolu	1,51	1,43	1,75	1,68	1,59	Muş	0,56	0,54	0,60	0,76	0,62
Burdur	0,64	0,50	0,66	0,68	0,62	Nevşehir	0,71	0,70	0,69	0,72	0,71
Bursa	1,02	1,02	1,02	1,11	1,04	Niğde	0,68	0,80	0,73	0,50	0,68
Çanakkale	0,66	0,63	0,69	0,78	0,69	Ordu	0,97	1,11	1,50	1,36	1,24
Çankırı	1,08	0,63	0,66	0,58	0,74	Osmaniye	0,74	-	0,81	0,82	0,79
Çorum	0,92	0,98	0,96	1,09	0,99	Rize	1,02	1,12	1,10	1,22	1,10
Denizli	1,26	1,38	1,40	1,41	1,36	Sakarya	0,89	0,94	1,03	1,06	0,98
Diyarbakır	1,08	0,99	1,14	1,01	1,06	Samsun	1,40	1,55	1,42	1,44	1,50
Düzce	0,98	1,01	1,17	1,13	1,07	Siirt	0,59	0,61	0,69	0,66	0,64
Edirne	1,63	1,71	1,74	1,76	1,71	Sinop	0,69	0,72	0,81	0,67	0,72
Elazığ	1,11	1,25	1,26	0,94	1,14	Sivas	1,20	1,26	1,34	1,36	1,29
Erzincan	1,23	0,92	0,96	0,98	1,02	Şanlıurfa	0,70	0,61	0,75	0,85	0,73
Erzurum	1,39	1,29	1,40	1,46	1,39	Şırnak	0,27	0,46	0,43	0,43	0,39
Eskişehir	1,34	1,38	1,49	1,48	1,42	Tekirdağ	0,73	0,83	0,93	0,89	0,85
Gaziantep	1,08	1,78	1,21	1,27	1,34	Tokat	0,92	0,88	0,92	0,95	0,92
Giresun	0,95	0,97	1,05	1,06	1,01	Trabzon	1,59	1,55	1,61	1,65	1,60
Gümüşhane	0,73	0,56	0,55	0,52	0,59	Tunceli	2,88	0,64	0,63	0,62	0,63
Hakkâri	0,46	0,76	0,47	0,47	0,54	Uşak	1,00	0,93	0,98	0,96	0,97
Hatay	0,88	0,96	1,15	1,30	1,07	Van	1,09	0,90	0,82	0,85	0,92
İğdir	0,83	0,50	0,55	0,64	0,63	Yalova	0,83	0,91	1,04	0,86	0,91
İsparta	1,43	1,54	1,41	1,76	1,54	Yozgat	0,68	0,72	0,81	1,01	0,81
İstanbul	1,55	1,62	1,70	1,83	1,68	Zonguldak	1,63	1,53	1,67	1,83	1,67
İzmir	1,54	1,58	1,61	1,67	1,60						

Çizelge 3 Devamı

3.2. Tıbbi Atıkların İstatiksel Değerlendirilmesi

Türkiye’de 2012-2018 yılları arasında toplanan katı atık miktarları ile illerin nüfusları doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen regresyon grafikleri Şekil 9’ da verilmektedir. Literatürde kentsel atıklar ile nüfus arasında ilişkiyi gösteren pek çok çalışma bulunmasına rağmen tıbbi atıklarla nüfus arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışma fazla değildir [Korkut 2018]. İstanbul için yapılan bir çalışmada regresyon analizi kullanılarak nüfus ve tıbbi atık arasındaki ilişki incelenmiş ayrıca gelecek yılların modellenmesi yapılmıştır. Çalışmaya göre İstanbul nüfusu ile tıbbi atıklar arasında %99’luk bir ilişki hesaplanmıştır [25].

Şekil 9 da verilen nüfus-tıbbi atık miktarları dağılım grafiklerinde noktaların doğruya yaklaşması nüfus ile tıbbi atık arasındaki ilişkinin arttığını göstermektedir. Örneğin 2012 ve 2014 ü gösteren Şekil 9-a ve 9-c grafiklerinde noktalar doğrudan uzak bir şekilde dağılmış durumdadır. Bu durum da nüfus ile tıbbi atık arasındaki ilişkinin azaldığını göstermektedir. Diğer grafiklerde ise doğruya yakın bir dağılım söz konusudur. Şekil 9-a’daki 2012 yılında Türkiye’de atık ve nüfus arasındaki regresyon analizi incelendiğinde R^2 değerinin 0,661 olduğu belirlenmiştir. Bu değer 2013 yılında 0,737, 2014 yılında 0,699, 2015 yılında ise 0,736 olduğu görülmektedir. Böylelikle nüfus ile atık arasında %66 ile %73,3’ lük bir ilişki olduğu söylenebilir. R^2 değerlerinin 2016 yılında 0,801 (Şekil 9-e), 2017 yılına 0,801 (Şekil 9-f), 2018 yılında ise 0,800 (Şekil 9-g) olduğu görülmektedir. Verilen bu değerler yorumlandığında 2016-2018 yılları arasında nüfus ile tıbbi atıklar arasında %80’lik bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Ayrıca bu sonuçlar Çizelge 3’deki 2012-2013-2014 yıllarına ait il atık miktarlarının hesaba katılmamasını da doğrular niteliktedir.



Şekil 9. 2012-2018 yılları arası nüfus-atık miktarları doğrusal regresyon grafikleri

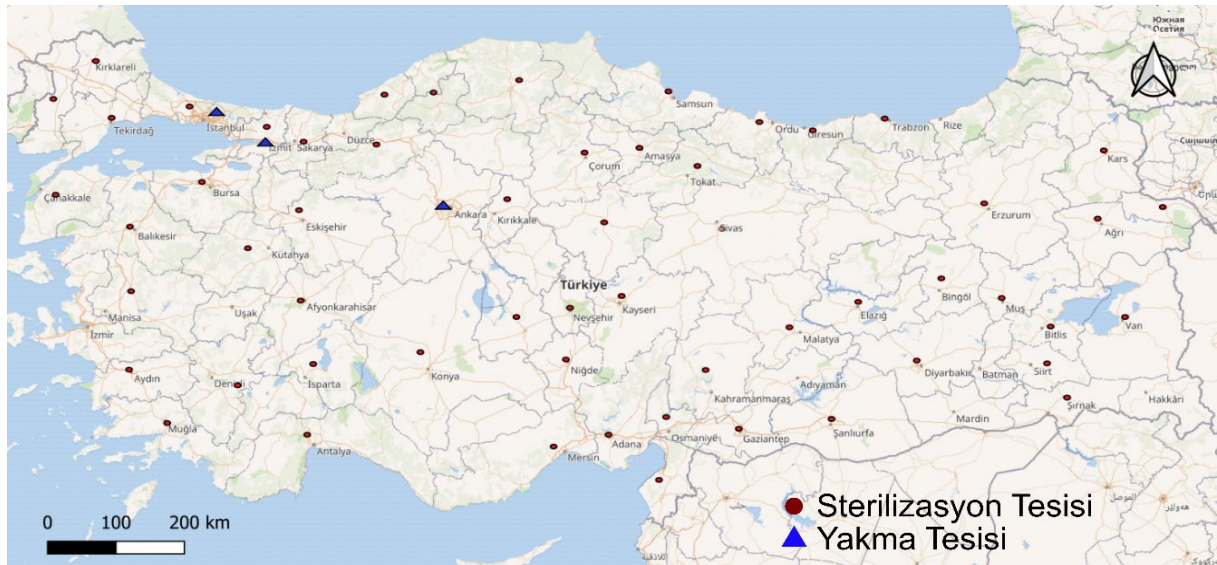
3.3. Türkiye’de Meydana Gelen Tıbbi Atıkların Bertarafı

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklar, insan ve çevre sağlığı ile ekolojik dengeyi bozabilecek özelliktedir. Tıbbi atıkların üretim, taşıma, depolama ve bertarafına ilişkin özel önlemler alınması gerekmektedir [26]. Dünyada tıbbi atıkların bertarafı için çeşitli yöntemler ve tesisler

kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan yakma işlemi yüksek sıcaklıkta gerçekleşen kuru oksidasyon işlemidir. Böylelikle tıbbi atıklar zararsız hale getirilmektedir [27]. Bir diğer yöntem olan sterilizasyon işleminde ise tıbbi atıklar parçalanmakta ve yüksek sıcaklıkta 1 bar basınç altında kızgın buhara tabii tutulmaktadır [28]. Kullanılan diğer yöntemler ise kimyasal dezenfeksiyon, düzenli depolama ve mikrodalga olarak sınıflandırılabilir [29]. Türkiye'de 25/01/2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde tıbbi atıkların bertaraf teknolojileri hakkında düzenlemeler yapılmıştır. Yönetmeliğe göre enfeksiyon yapıcı atıklar ile kesici-delici atıklar sınıfına giren tıbbi atıkların yakılarak, sterilizasyon işlemi uygulanarak veya düzenli depolanarak zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Zararsız hale getirilen tıbbi atıklar, 26/03/2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre ise düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmelidir [30].

Tıbbi atıkların bertarafında yakma en etkili ve güvenli metottur. Ancak yatırım ve işletme maliyetinin yüksek olması ve uygun baca gazı arıtma sistemi kullanılmaması durumunda hava kirliliğine sebep olması nedeniyle bu yöntemin Türkiye için uygun olmadığı düşünülmüş ve yakmadan son yıllarda vazgeçilip yeni teknolojilere yönelim olmuştur. Tıbbi atıkların sterilizasyonu ise daha düşük yatırım ve işletme maliyetine sahip olması, kullanım kolaylığı, etkinlik, güvenlik, ekonomik ve çevre dostluğu gibi avantajları nedeniyle tavsiye edilmektedir [27].

Türkiye'deki tıbbi atıkların bertaraf yöntemleri illere ait il Çevre Durum Raporları yardımıyla incelenmiştir. 2018 yılı raporlarına göre ülkemizde tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesislerinin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 10). Türkiye'de sadece Ankara'da yakma tesisi, İstanbul ve Kocaeli'nde hem sterilizasyon hem de yakma tesisi bulunmaktadır. 2018 yılı bertaraf tesisi durumuna göre 54 ilde sterilizasyon tesisi vardır ve 25 ilde herhangi bir tesis bulunmamaktadır. Bu iller topladıkları tıbbi atıkları kendilerine en yakın illere göndererek bertaraf etmektedirler.



Şekil 10. Türkiye'de tıbbi atık bertaraf tesisleri

4. Tartışma ve Sonuç

Atık sorunu önemi ve boyutu bakımından günümüzde giderek artmaktadır. Çevre kirliliğinin başlıca nedenlerinden olan atıklar içerisinde, sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıkların toplanmasından bertarafına kadar olan süreç dikkatli bir şekilde yönetilmelidir. Özellikle pandemi gibi dünya çapında tüm insanlığı etkileyen bir süreçte tıbbi atıkların önemi kat kat artmaktadır. Ülkemizde oluşan tıbbi

atıkların bertarafı için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar yakma ve sterilizasyon yöntemleridir. Sterilizasyon yöntemi ülkemizin çoğu yerinde bulunmaktadır. Sterilizasyon tesisi bulunmayan illerin yıllık tıbbi atık miktarları düşük olsa da, İstanbul ve Ankara'dan sonra, Türkiye'nin en büyük üçüncü atık üreticisi (2018 yılı 7200 ton) olan İzmir gibi bir ilde hala sterilizasyon tesislerinin bulunmayışı büyük bir eksikliklerdir. Tonlarca atığın Manisa'ya taşınması büyük bir maliyettir.

Bu çalışmada tıbbi atık miktarlarının alındığı il çevre durum raporlarında tıbbi atık miktarlarının, birçok ilde birbirini tutmadığı da anlaşılmıştır. Örneğin Aksaray ilinin 2015 yılına ait tıbbi atık miktarı 2015 yılı raporunda 165 ton, 2016 yılı raporunda 224 ton, 2018 raporunda 220 ton olarak belirtilmiştir.

2018 yılı Türkiye geneli toplam tıbbi atık miktarı ise 1,24 kg gün/yatak olarak bulunmuştur. Bölgelere göre tıbbi atık miktarları incelendiğinde Marmara > İç Anadolu > Ege > Akdeniz > Karadeniz > Güney Doğu Anadolu > Doğu Anadolu bölgeleri gelmektedir. EHCIP Projesi çerçevesindeki bölgelere göre incelendiğinde ise Marmara ve Ege Bölgeleri > Karadeniz, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgeleri > Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri olduğu görülmektedir.

İllere göre bakıldığında Akdeniz bölgesinde Hatay, Mersin, Antalya ve Adana, Doğu Anadolu Bölgesinde Elazığ, Van, Erzurum ve Malatya illeri, Ege Bölgesinde İzmir, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şanlıurfa, Diyarbakır ve Gaziantep, İç Anadolu Bölgesinde Kayseri, Konya ve Ankara, Karadeniz Bölgesinde Bolu, Çorum, Tokat, Ordu, Zonguldak, Trabzon, Samsun, Marmara Bölgesinde ise İstanbul'da toplanan atık miktarının bölgelerin ortalamasından yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bunların yanında tıbbi atıklar ile nüfus arasındaki ilişkiye doğrusal regresyon ile bakıldığında 2012 yılında %66,1, 2013'de %73,7, 2014'de %69,9, 2015 de %73,6, 2016'da %80, 2017' de %80 ve yine 2018'de %80 olduğu görülmüştür. Nüfus ve atık arasındaki doğrusal ilişki yıllara göre artış göstermektedir. Buna neden olarak atık envanterlerinin 2015 yılından sonra daha sağlıklı tutulduğu ve bertaraf işlemlerinin de arttığı söylenebilir.

Türkiye'deki bertaraf yöntemlerine bakıldığında 3 ilde yakma ve 54 ilde sterilizasyon tesisi olduğu, bertaraf tesisi olmayan 25 ilin ise topladıkları tıbbi atıkları kendilerine en yakın tesise gönderdikleri belirlenmiştir.

Tüm bunların dışında atık miktarları kişi başına olarak hesaplandığında daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Sonuçta yeni yapılan bazı araştırmalarda kişi başına yıllık atık miktarlarının da kullanıldığı görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Oweis, R., Al-Widyan M., Al-Limoon O., Medical waste management in Jordan: A study at the King Hussein Medical Center, Waste Management, 2005; 25: 622–625.
- [2] Taghipour, H., Mosaferi M., Characterization of medical waste from hospitals in Tabriz, Iran, Science of The Total Environment, 2009; 407: 1527–1535.
- [3] Terzi, Ö., Yüce, M., Bir hastanedeki stajyer öğrencilerin tıbbi atık yönetimi konusundaki bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2017; 6(1): 58-64.
- [4] Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25 Ocak 2017 tarih, 29959 sayılı Resmi Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170125-2.htm>, (07.10.2020)
- [5] Cheng, Y.W., Sung, F.C., Yang, Y., Lo, Y.H., Chung, Y.T., Li, K.C., Medical waste production at hospitals and associated factors, Waste Management, 2009; 29: 440–444.
- [6] Manyele S.V., Anicetus H., Management of medical waste in Tanzanian hospitals, Tanzania Health Research Bulletin, 2006; 8(3): 177-182.
- [7] Abdullai, F., Qdais, H.A., Rabi A., Site investigation on medical waste management practices in northern Jordan, Waste Management, 2008; 28: 450–458.

- [8] Coker, A., Sangodoyin, A., Sridhar, M., Booth, C., Olomolaiye, P., Hammond, F., Medical waste management in Ibadan, Nigeria: Obstacles and prospects, *Waste Management*, 2009; 29: 804–811.
- [9] Ertaş, H., Güden, M.A., Hastanelerde tıbbi atık yönetimi, *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 2019; 1: 53-67.
- [10] Lee, B.K., Ellenbecker M.J., Moure-Ersaso, R., Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes, *Waste Management*, 2004; 24: 143–151.
- [11] Yong, Z., Gang, X., Guanxing, W., Tao, Z., Dawei, J., Medical waste management in China: A case study of Nanjing, *Waste Management*, 2009; 29: 1376–1382.
- [12] Özel, Ş., Tozlu, G., Ercan, N., Tatar, Z., Türkeri, İ., Ünkoç, E., Engin Üstün, Y., Bir Kadın Doğum Hastanesindeki Tıbbi Atık Yönetim ve Maliyet Analizi, *Jinekoloji - Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, 2018; 15(1): 21-23.
- [13] Ögeve, C., Utku A.Ö., Sağlık Kurumlarında Atık Kovalarının Tıbbi Atık Yönetimine Göre Mikrobiyolojik Değerlendirilmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2016; 21(3): 294-301.
- [14] Windfeld, E.S., Brooks, M. S. L., Medical waste management a review, *Journal of Environmental Management*, 2015; 163: 98-108.
- [15] Bora Başara, B., Soyutun Çağlar İ., Aygün A., Özdemir T.A., Kulali B., Uzun S.B., Birge Kayış B. and Aydoğan Kılıç D., T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2018, Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Sağlık Bakanlığı. 2019; <https://www.saglik.gov.tr/TR,11588/istatistik-yilliklari.html>, (07.12.2019)
- [16] Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK, 2019. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, <http://tuik.gov.tr>, (12.01.2020)
- [17] İller Bazında Çevre Durum Raporları, 2012-2018, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://ced.csb.gov.tr/il-cevre-durum-raporlari-i-82671>, (07.12.2019)
- [18] Ürük E., İstatistiksel Uygulamalarda Lojistik Regresyon Analizi, 2007; Yüksek Lisans Tezi, T.C. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü, doğrusal bağlanım (müh.), <http://www.tubaterim.gov.tr/> (07.10.2020)
- [20] WHO, 2014. Safe management of wastes from health-care activities. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wastemanag/en/, (12.01.2020).
- [21] Küçük A., Tıbbi Atık Yönetiminin Ekonomisi, *Sayıştay Dergisi*, 2013; 90 (Temmuz-Eylül): 73-95
- [22] Sağlık Kuruluşları Atık İstatistikleri, <https://ohsad.org/tuik-2016-saglik-kuruluslari-atik-istatistikleri-aciklandi/>, (12.01.2020)
- [23] Ege H., Adana İli Tıbbi Atık Yönetimi Sorunlar ve Çözüm Önerileri, 2009; Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [24] Öztürk İ., Arıkan O., Altınbaş, M., Alp, K., Güven, H., Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri El Kitabı, Türkiye Belediyeler Birliği, 2019, https://www.tbb.gov.tr/online/kitaplar/kati_atik_teknolojileri/index.html#p=48, (07.10.2020)
- [25] Korkut E.N., Estimations and analysis of medical waste amounts in the city of Istanbul and proposing a new approach for the estimation of future medical waste amounts, *Waste Management*, 2018; 81: 168-176.
- [26] Güvez H., Dege M., Eren T., Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi İle Tıbbi Atıkların Toplanması, *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, 4(1), 41-45.

- [27] Gül Y., İssi M., Baykalır B.G., Araştırma Laboratuvarlarında Biyogüvenlik, Zoonotik Hastalıklar ve Tıbbi Atıkların Bertarafı, Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg, 2013; 8(1): 81-96.
- [28] Durmuşcan Ö., Türkiye’de tıbbi atık sorunları ve çözüm önerileri, 2019; Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [29] Uzuner M., Sağlık kuruluşlarında tıbbi atık yönetimi yazılımlarının değerlendirilmesi (Kars ili örneği), 2019; Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [30] Koçer N.N., Gözegir M., Elazığ İli Tıbbi Atık Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi ve Mali Sürdürülebilirlik, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2018; 7(1): 1-10.

IDENTIFICATION OF KNIGHTS' RELATIONS FOR 5×5 KNIGHT GRAPH BY MODULARITY

Serkan GÜLDAL¹,

¹Adiyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 09.09.2020 Kabul tarihi: 24.09.2020

ABSTRACT

Modularity is a widely utilized technic to analyze graphs. The modularity divides the specified network into relational clusters. The clusters highlight the shared properties between the clustered nodes. In the present study, we analyze 5×5 knight graph by modularity to extract 5 Knight Covering Problem (5-KCP) solutions. Our investigation is completed for resolutions from 0.1 to 1.8. The maximum modularity score is 0.3 found for resolution 0.8. Moreover, resolution 0.1 is the best resolution to find more solutions of 5-KCP. Also, the analyses show resolution 1.0 is the best resolution to find the solutions of 5-KCP efficiently. Lastly, modularity extracts the solutions from 1 to 7 out of 172 solutions.

Keywords: *ht graph, modularity, 5-KCP*

5×5 AT ÇİZGESİ İÇİN MODÜLERLİK İLE AT İLİŞKİLERİ TANIMI

ÖZ

Modülerlik çok kullanılan çizge analiz tekniğidir. Modülerlik belirtilen ağı anlamlı ilişkili gruplara ayırır. Gruplar aynı gruptaki düğümler arasındaki ortak özelliklerin varlığını belirtir. Bu çalışmada 5 At Kaplama Problemi (5-AKP) çözüm arayışında 5×5 at çizgesi modülerlik ile analiz ediyoruz. Araştırmamız çözünürlüğün 0.1 ile 1.8 olduğu aralık için tamamlandı. Maksimum modülerlik puanı 0.8 çözünürlüğü için 0.3 bulundu. Buna ek olarak 0.1 5-AKP'nin bazı çözümlerini bulmak için ideal çözünürlüktür. Ayrıca, analizler 1.0 çözünürlüğünün 5-AKP'nin çözümleri bulmak için en optimize çözünürlük olduğunu gösterdi. Son olarak modülerlik 172 çözümden 1'den 7'ye kadar tanımlayabilmektedir.

Anahtar kelimeler: *At çizgesi, modülerlik, 5-AKP*

1. Introduction

The knights on chess are important pieces of complicated defenses and attacks because of their unintuitive moves. Thus, various problems are introduced based on the knights' movements on the chess-board-likes. For example, the knight's tour problem is one of the entertaining problems for mathematicians and computer scientists. There are many algorithms are developed to obtain solutions [1-5]. Additionally, it is extended to more complex problems without losing the heart of the problem [6-8]. The knight moves inspired to encrypt images [9-13]. Moreover, to place the knights on a chess-board-likes with the legal chess moves is the basis for the various versions of problems which are called the Knight Covering Problem (KCP) [14-21]. Since it is an NP-Hard problem, there is no known analytical solution. However, there are many algorithms are developed to identify KCP solutions such as the independent set [22, 23] and the Girvan-Newman clustering algorithm [24] of the responding knight graphs of KCP. In this study, the knight graph representation of 5-KCP (KCP on the 5×5 board) is introduced and investigated by the modularity method. 5-KCP is the problem to place certain number of knights on 5 by 5 chessboard-like, so every cell is either occupied or attacked. In Figure 1, 5-KCP solutions which are made of 5 knights are presented on the 5 by 5 boards. The solutions are shown in Figure 1.b and .e are rotationally symmetric solutions and Figure 1.c,d,f, and g are also rotationally symmetric solutions to each other. Thus, there are 3 unique solutions by 5 knights.

¹ e-mail: sguldal@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4247-0786>,

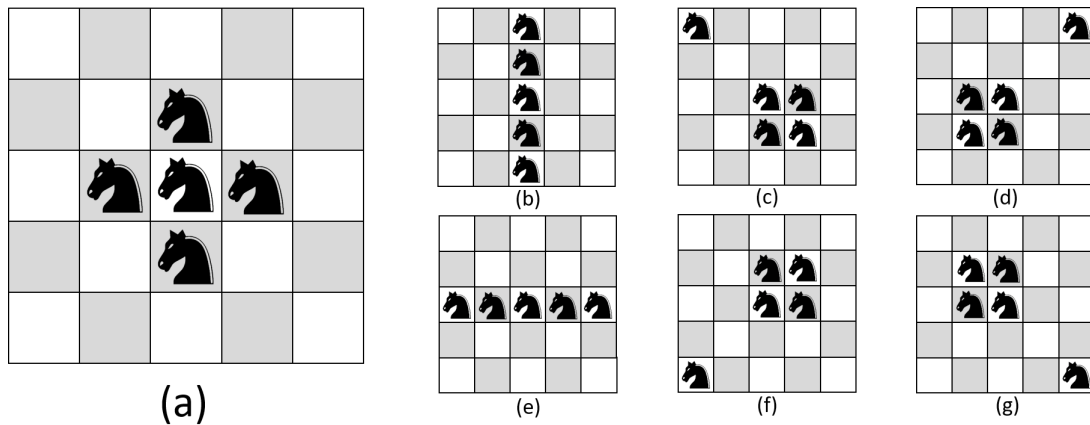
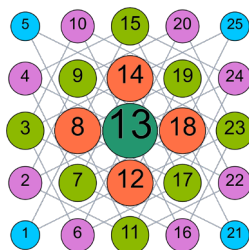


Figure 1. 5-KCP solution by utilizing 5 knights

We intend to measure the effectiveness of the modularity algorithm to solve 5-KCP. Thus, the investigation of 5-KCP problem starts with conversion to the knight graph. Figure 2 shows the graph which nodes are colored and sized respect to the degrees of the nodes. Each node represents a cell on the board and is labeled by an index number. The cells on the corners (colored light blue) can attack 2 cells. The cells on the edges (colored purple) can attack 3 cells, and the cells (colored green) are next can attack 4 cells. The cells, colored orange, can cover 6 cells. Lastly, cell 13 (colored dark green) can attack 8 cells. The cells which are threatened are reachable by one move. Additional to the cells in which the knight attacks, an extra cell is occupied by the particular knight. In summary, the graph form of 5-KCP is composed of 25 nodes and 48 edges. The nodes have 2, 3, 4, 6, and 8 degrees. They are distributed from the entire graph by the portion respectively 16%, 32%, 32%, 16%, and 4%. Every knight and their relations on the board is explicitly shown in Figure 3.



Color code	Degree	Number of Nodes	Percentage in the graph (%)
Light Blue	2	4	16
Purple	3	8	32
Green	4	8	32
Orange	6	4	16
Dark Green	8	1	4

Figure 2. 5-KCP graph is shown. The nodes are colored and sized proportional to the degrees of nodes (See Figure 3)

The graph analyses are important tools to extract information from networks of data such as computational networks [25-27], social networks [28-31], biological networks [32-34], word networks [35-37], infection networks [38, 39]. One of the analyses methods is clustering. Clustering divides the whole network into smaller clusters of the nodes. Each cluster presents a common property (or properties) of included nodes in the same cluster. The clustering algorithms are extensively utilized since it is relatively computationally efficient. There are numerous graph clustering algorithms which highlight the network properties. For example, the Girvan-Newman algorithm is based on edge betweenness, Highly Connected Clusters utilizes graph connectivity, k-means clustering divides the network by mean value, and Modularity generates modules (a.k.a. clusters) by means of the strength of division of a network. In this study, we investigated 5-KCP by modularity. The modularity algorithm is an adjustable algorithm with respect to the resolution. To increase resolutions divide the network to a greater number of clusters and to decrease the resolution is a lesser number of clusters. The appropriate resolution is found based on the intention with the help of the modularity score. Since our intention is to provide modularity application to 5-KCP, we changed the resolution from 0.1 to 1.8 for all meaningful resolutions.

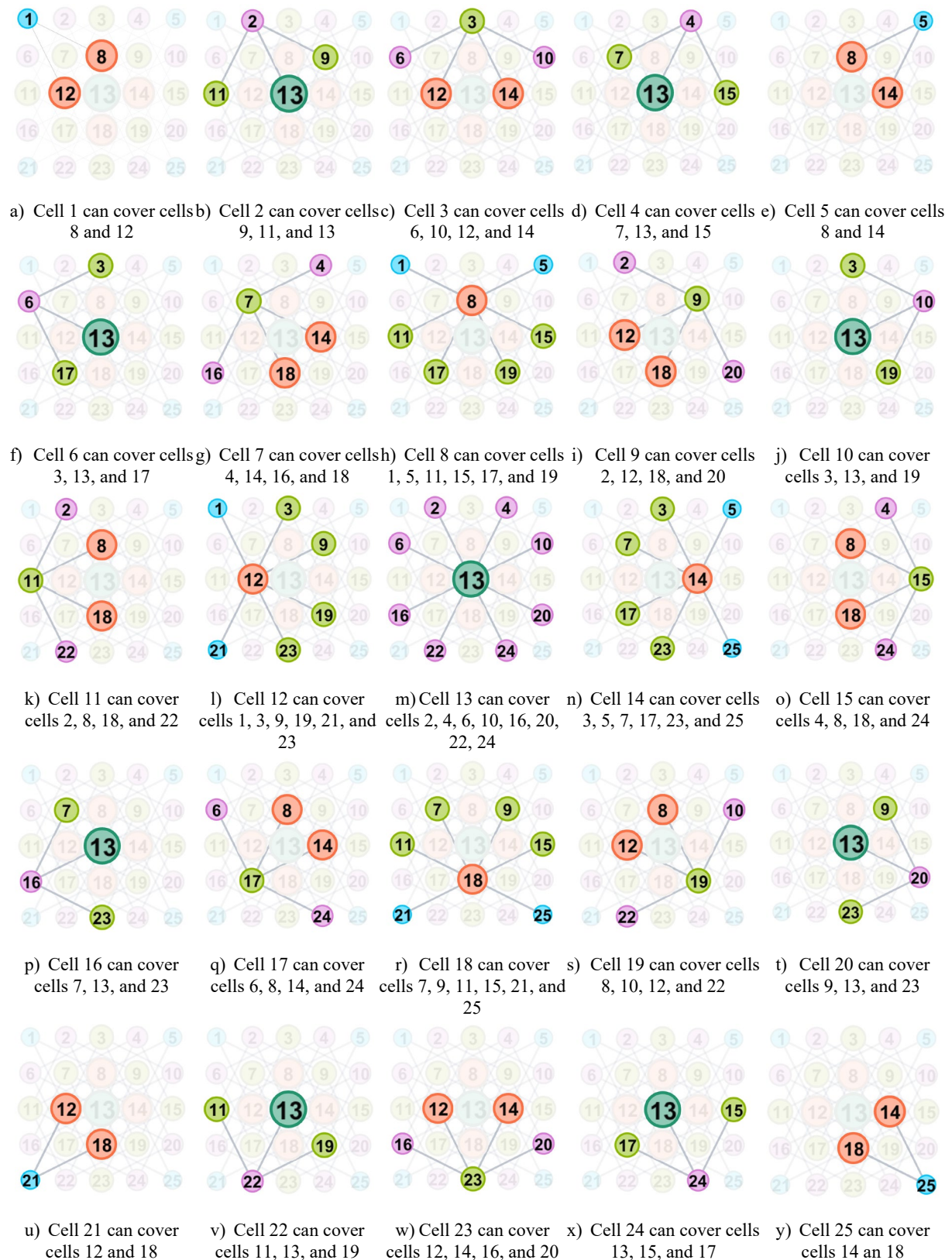


Figure 3. 5-KCP has 25 cells to place the knight. Each cell is represented by a node, and they are connected to the nodes which they can cover

Various algorithms are developed to solve N-KCP based on knight graphs [22]. In Figure 1, the 5-KCP solutions are presented which are found by the independent set algorithm. In the visualized solutions are limited by placing 5 knights to cover 5x5 board. The found solutions are grouped regarding the inherited rotationally symmetries. Likewise, we are benefited by graph forms in the search of 5-KCP solutions. Specifically, we use modularity to analyze the 5-KCP graph to find solutions. The considered analysis method divides the 5-KCP network into densely connected clusters. The clustered nodes present a stronger relationship between the knights. Thus, this highlights the knights which are less likely to be in the same solution. The details of the modularity method and the solution algorithm is introduced in the following sections.

2. Modularity

We used the graph modularity to identify the closely related knights for the 5-KCP. The modularity score is calculated by various formulas. The formula which we utilized is as follows [40]:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left(A_{ij} - \gamma \frac{k_i k_j}{2m} \right) \delta(c_i, c_j)$$

where δ -function is 1 if $c_i = c_j$; in other words, node i and j are in the same cluster. m stands for the number of edges in the graph. γ stand for resolution. k_i is the degree of node i and k_j is the degree of node j . A_{ij} represents the weights of the edge between nodes i and j . It is the same for all since the effect of all knights is equal.

Throughout our analysis, we used the Gephi [41-43]. The resolutions are limited from 0.1 to 1.8 which is defined specific to the 5-KCP graph. The analysis and implementation results will be given in the Results and Discussion section.

3. Results and Discussion

The investigated relational information of the 5-KCP graph by modularity score is extracted communities from 1 to 11 respect to modularity resolution.

The modularity identifies the strong relationships between nodes. However, the 5-KCP solutions are to place the knight which should have weak/no relations. Thus, the extracted clusters reveal the list of positions that are the least likely to be in the same solutions.

In **Figure 4**, modularity results on 5-KCP (for resolution = 0.1 – 1.8) graphs are presented. The resolution 1.8 is extracted 1 cluster in 5-KCP graph as shown in **Figure 4.r**. Thus, the generated solutions from the graphs show that there is no two nodes could be included simultaneously in a solution. Also, there is no solution by one knight hence 26 permutations which include no knight are not solutions for 5-KCP. In **Figure 4.o, p, and q**, 2 clusters are generated by modularity with the resolutions 1.5, 1.6, and 1.7. Similarly, 2 nodes (a.k.a. 2 knights) solutions do not exist for 5-KCP. Likewise, modularity application for resolutions = 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, and 1.6 cannot generate 5-KCP solutions. For the resolution = 1 in **Figure 4.j**, the 5-KCP graph is divided into 5 clusters. 2 solutions are found with the length of 5 are generated by the 7200 permutations. For resolution 0.8, 1 solution, length of 5, is found. The resolution 0.6 is found 3 solutions. While the resolution is 0.5, 2 solutions with length 5 is found. The resolution for 0.4 is lead to 3 solutions with length 5 and 1 solutions with length 9. The resolution 0.3 is found the solutions for length 5 and 9, and the number of solutions are 3 and 1 respectively. The resolution 0.2 results with 1 solution with length 9 and 3 solutions with length 5. The smallest resolution is 0.1 has the highest number of solutions with 7 solutions 3 of their length is 5 and the rest are with length 9. To sum up, the modularity mostly cover the length of the solutions 5 and then 9.

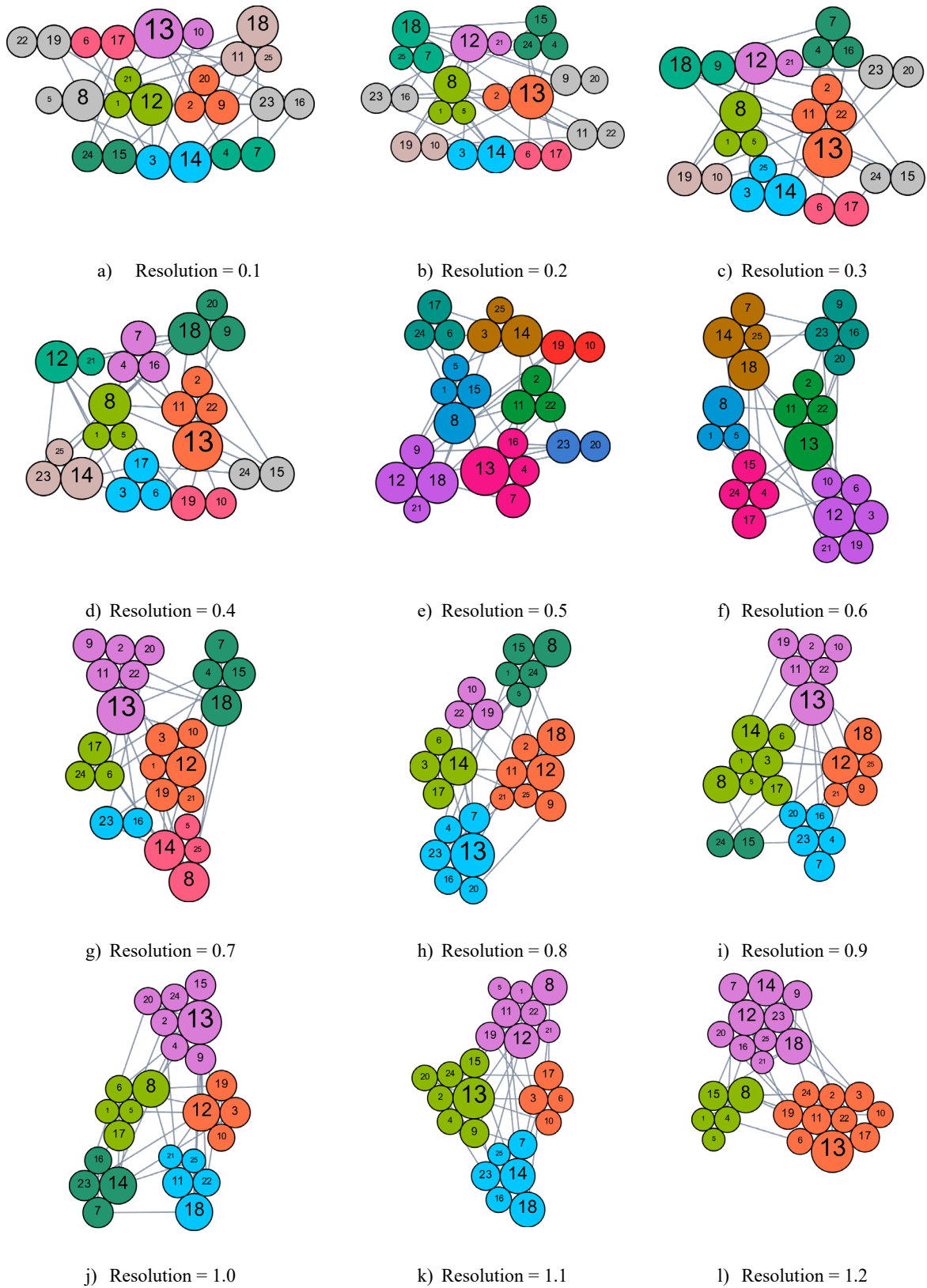


Figure 4. Modularity is applied to 5-KCP graphs for various resolutions from 0.1 to 1.8

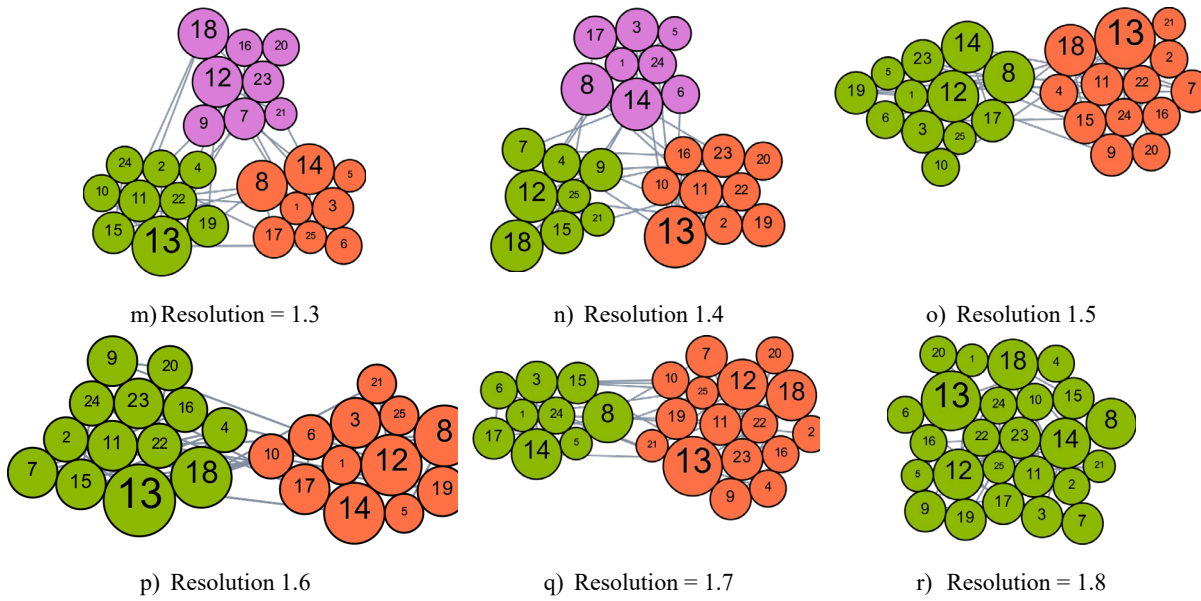


Figure 4. Modularity is applied to 5-KCP graphs for various resolutions from 0.1 to 1.8 (Continues)

The modularity is identified some solutions of 5-KCP. **Figure 5** presents the number of solutions vs the number of required knights. The found solutions are limited to length 5 and 9. While resolution 0.1 has the highest capability since it found 7 solutions, resolution 0.8 identifies the lowest number of solutions by 1 solution.

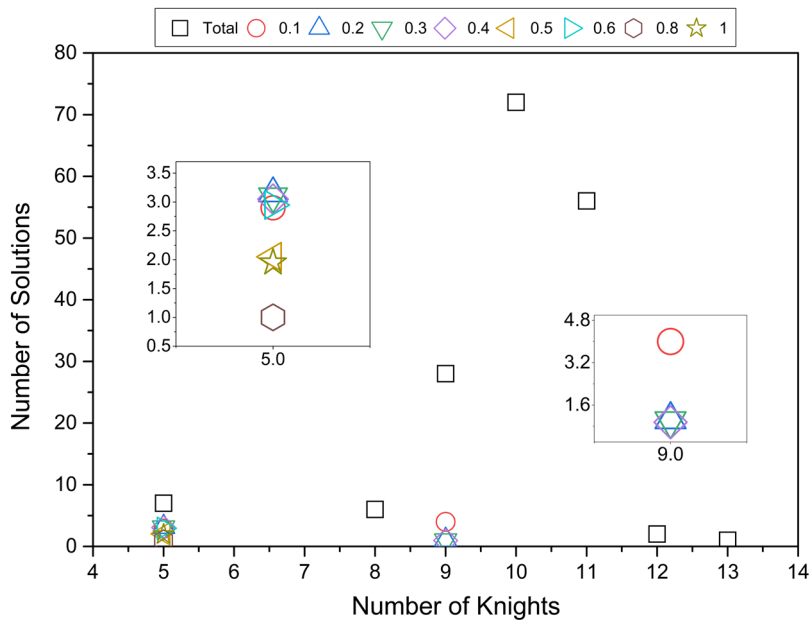


Figure 5. Number of the found solutions by modularity compared with total solutions

In **Table 1**, all the found solutions are summarized. The consistency of the found solutions for each resolution implies the robustness of the modularity algorithm. The solution includes 9 knights (1,2,6,14,15,16,19,20,21) is appeared in the modularity results of the resolutions namely 0.2, 0.3, and 0.4. The solutions by 5 knights (1,13,14,18,19 and 8,12,13,14,18) are found for the resolutions: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.6.

Table 1. The solutions are generated by modularity for various resolutions.

Resolution	Solution length is 5	Solution length is 9
0.1	1,13,14,18,19 8,12,13,14,18 8,9,13,14,21	1,2,3,4,5,17,18,19,23 1,2,3,4,5,17,18,22,23 1,2,3,4,5,18,19,23,24 1,2,3,4,5,18,22,23,24
0.2	1,13,14,18,19 8,12,13,14,18 8,9,13,14,21	1,2,6,14,15,16,19,20,21
0.3	1,13,14,18,19 8,12,13,14,18 8,9,13,14,21	1,2,6,14,15,16,19,20,21
0.4	1,13,14,18,19 8,9,13,14,21 8,12,13,14,18	1,2,6,14,15,16,19,20,21
0.5	1,13,14,18,19 8,12,13,14,18	
0.6	1,13,14,18,19 8,9,13,14,21 8,12,13,14,18	
0.8	1,13,14,18,19	
1	1,13,14,18,19 8,12,13,14,18	

The applied modularities for the resolutions between 0.1 to 1.8 clustered the 5-KCP graph. In **Figure 6**, the increasing resolutions divide the network into smaller numbers of clusters. The investigations show the increasing number of clusters more likely to find 5-KCP solutions (See **Figure 5** and **Table 1**). The modularity score which identifies the quality of clustering has no explicit correlation with the number of found solutions for the specified resolutions as shown in **Figure 6**. The highest modularity score is 0.3 (for resolution 0.8). Thus, clustering for 0.8 presents the best sub-communities.

In **Figure 7**, the number of generated permutations is compared with the number of identified solutions for the resolution between 0.1 and 1.2. Although communities are identified, no solutions are obtained for the resolutions 1.2-1.8. The resolution 0.1 and 0.2 leads to 419904 permutations which identify 7 and 4 solutions, respectively. The resolutions 0.3 and 0.4 identify 4 solutions similar to resolution 0.2 with a smaller number of permutations. This is highlighted in computational efficiency (See **Figure 8**). The highest resolution which identifies 5-KCP solution is 1.0. 2 solutions are identified by 7200 permutations. The rest of the resolutions do generate no solutions regardless of generated permutations.

By comparison of the number of generated permutations and the number of found solutions, computational efficiency of the particular resolution is defined. The computational efficiency of a resolution is presented with respect to the resolution in **Figure 8**. The computational efficiency is formulated as:

$$\text{Efficiency of the cluster} = \frac{\text{Number of found solutions} * 100}{\text{Number of permutations}} \quad (1)$$

Resolution 0.1 introduces the best clustering which obtains relatively more solutions, 7 solutions. However, it is not computationally efficient (0.00167) because it is one of the resolutions which generate the highest number of permutations. The most computationally efficient resolution is 1.0 by 0.02778. It finds 2 solutions by 7200 permutations. Thus, resolution 1.0 extracts relatively more meaningful clusters by means of 5-KCP.

For the lower resolutions, generated permutations effect efficiency, so computational efficiency and the number of found solutions lose correlations. On the other hand, for the higher resolutions, the number of found solutions and computational efficiency are strongly correlated.

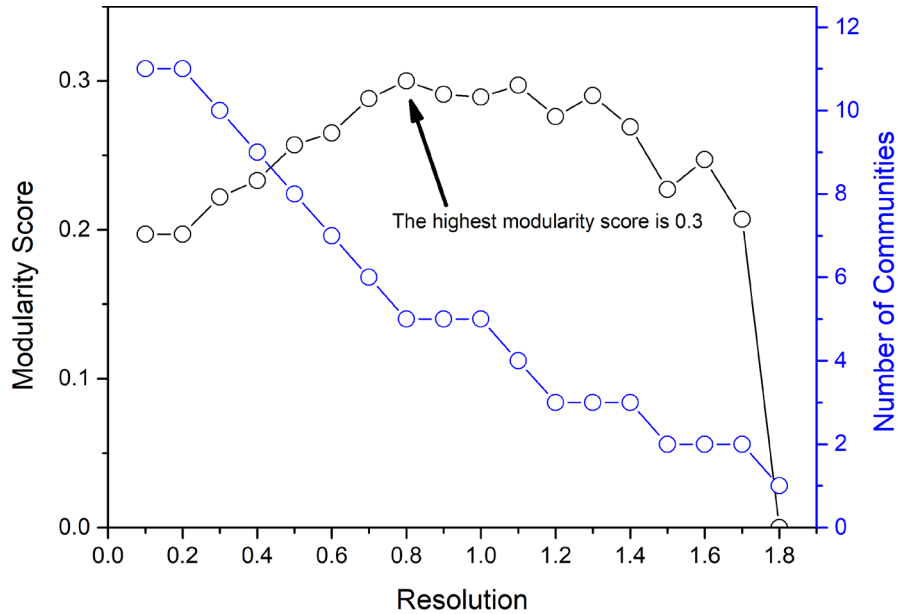


Figure 6. (Color online) An increase in the resolution causes to the lower number of communities for 5-KCP graph

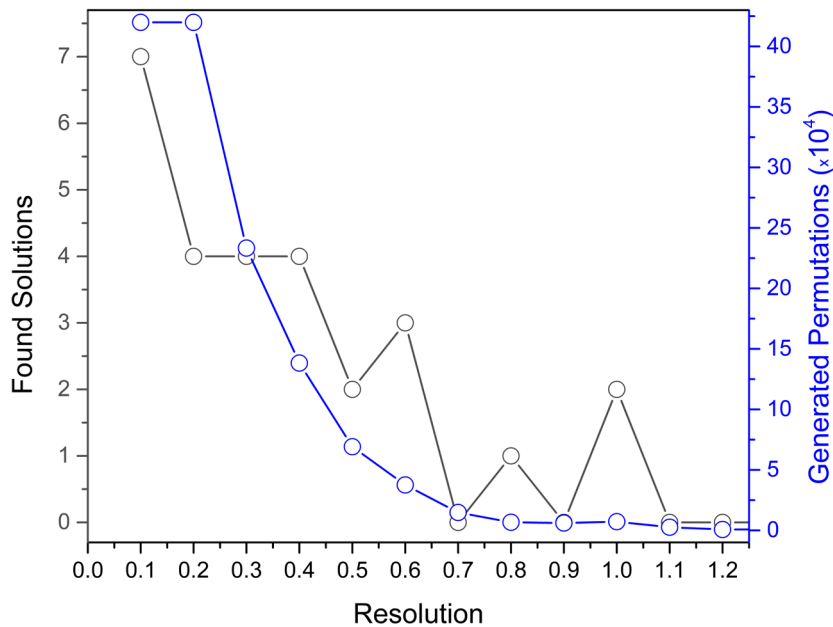


Figure 7. (Color online) Number of permutations have correlations with the number of found solutions.

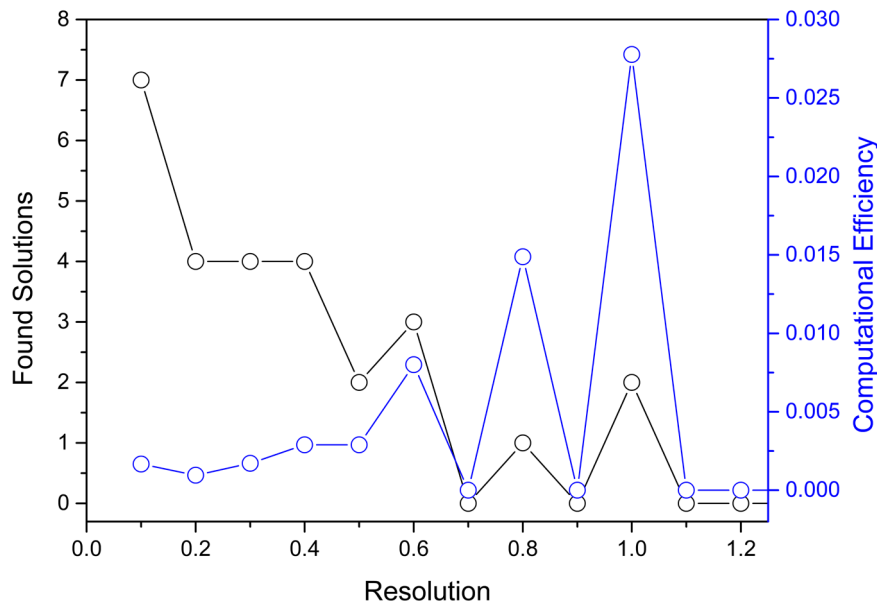


Figure 8. (Color online) Resolution 1.0 has the highest computational efficiency with respect to the other resolutions. On the other hand, the highest number of solutions, namely 7, are obtained by the resolution 0.1 which is considerable computationally less efficient than others.

4. Conclusion

In this study, we have applied the Modularity 5×5 knight graph. The analyses show resolution 1.0 is the computationally optimal resolution to find some solutions of 5-KCP. Moreover, the analysis shows resolution 0.1 is the best resolution to find all solutions of 5-KCP. The maximum modularity score is 0.3 found for resolution 0.8. Moreover, resolution 0.1 is the best resolution to find more solutions of 5-KCP. Also, the analyses show resolution 1.0 is the best resolution to find the solutions of 5-kcp efficiently. Lastly, modularity extracts the solutions from 1 to 7 out of 172 solutions.

Based on our analysis, the modularity is a promising method to solve N-KCP. Thus, in future studies, the analyses will be extended greater boards with modularity method.

Acknowledgment

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] S. Bai, G. Zhu, and J. Huang, "An Intelligent Algorithm for the (1,2,2)-Generalized Knight's Tour Problem," in *2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2013, pp. 583-588.
- [2] H. Jian and B. Sen, "An Efficient Algorithm for the Generalized (1,k)-Knight's Tours Problem," in *2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 2009, vol. 1, pp. 697-701.
- [3] P. Hingston and G. Kendall, *Ant Colonies Discover Knight's Tours*. 2004, pp. 1213-1218.
- [4] S. Bai, X. Liao, X. Qu, and Y. Liu, "Generalized Knight's Tour Problem and Its Solutions Algorithm," in *2006 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2006, vol. 1, pp. 570-573.
- [5] I. Parberry, "An Efficient Algorithm for the Knight's Tour Problem," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 73, pp. 251-260, 03/01 1997.
- [6] J. Demaio and B. Mathew, "Which Chessboards have a Closed Knight's Tour within the Rectangular Prism?," *Electr. J. Comb.*, vol. 18, 01/05 2011.
- [7] A. Kumar, "Non-crossing Knight's Tour in 3-Dimension," 03/29 2008.

- [8] P. Aliquippa and Pennsylvania, "THEMATIC KNIGHT'S TOUR QUOTES," 06/29 2020.
- [9] A. Philip, "A Generalized Pseudo-Knight's Tour Algorithm for Encryption of an Image," *IEEE Potentials*, vol. 32, no. 6, pp. 10-16, 2013.
- [10] J. Kumar and S. Nirmala, "Securing the contents of document images using knight moves and genetic approach," in *2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2015, pp. 1091-1095.
- [11] J. Delei, B. Sen, and D. Wenming, "An Image Encryption Algorithm Based on Knight's Tour and Slip Encryption-Filter," in *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2008, vol. 1, pp. 251-255.
- [12] M. Singh, A. Kakkar, and M. Singh, "Image Encryption Scheme Based on Knight's Tour Problem," *Procedia Computer Science*, vol. 70, pp. 245-250, 12/31 2015.
- [13] Q. B. Hou, X. F. Yang, Y. S. Wang, and X. S. Huang, "An image scrambling algorithm based on wavelet transform and Knight's tour," vol. 41, pp. 369-375, 02/01 2004.
- [14] D. C. Fisher, "On the $n \times n$ Knight Cover Problem," *Ars Comb.*, vol. 69, / 2003.
- [15] F. Rubin, "Improved Knight Coverings," *Ars Comb.*, vol. 69, / 2003.
- [16] F. Rubin, "Knight Covers for the 50x50 Chessboard," presented at the Mathfest 2004, Providence RI, 2004.
- [17] F. Rubin, "A Family of Efficient Knight Covering Patterns," *Journal of Recreational Mathematics*, Article vol. 33, no. 3, pp. 165-175, 2005.
- [18] F. Rubin, "An Improved Method for Finding Knight Covers," *Ars Comb.*, vol. 82, / 2007.
- [19] B. Lemaire, "Knights Covers on $N \times N$ Chessboards," *J. Recr. Math.*, vol. 31, pp. 87-99, 2003.
- [20] A. H. Jackson and R. P. Pargas, "Solutions to the $N \times N$ Knights Covering Problem," *J. Recr. Math.*, vol. 23, pp. 255-267, 1991.
- [21] F. Wei, "Research on Knight Covering Based on Breadth First Search Algorithm," (in English), *Applied Mechanic and Materials*, vol. 686, pp. 377-380, 2014.
- [22] S. Güldal, M. Lipscomb, and M. M. Tanik, "Solving Knights Covering Problem: Backtracking, Permutation, Bipartite Graph, and Independent Set," presented at the Nineteenth Annual Early Career Technical Conference, Birmingham, Alabama USA, 2019.
- [23] S. Güldal, M. M. Tanik, and M. M. Lipscomb, "Solving Knights Covering Problem by a Hybrid Algorithm," presented at the IEEE SouthEastConn, Huntsville, Alabama, April 11 - 14 2019,
- [24] S. Güldal, "Connectives of Knights Covering Problem By Girvan-Newman Clustering," presented at the SDPS 2019 Workshop, Madrid, Spain, November 25-26 2019, 2019.
- [25] "Analysis of the Application of Artificial Intelligence in Computer Networks Technology," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 750, p. 012097, 03/24 2020.
- [26] C. Engström and S. Silvestrov, "PageRank for networks, graphs, and Markov chains," *Theory of Probability and Mathematical Statistics*, vol. 96, p. 1, 10/05 2018.
- [27] Y. L. Karpov, I. Volkova, A. A. Vylitok, L. Karpov, and Y. G. Smetanin, "Designing classes' interfaces for neural network graph model," *Proceedings of the Institute for System Programming of RAS*, vol. 31, pp. 97-112, 10/01 2019.
- [28] M. Gençer, "Sosyal Ağ Analizi Yöntemlerine Bir Bakış," *Yildiz Social Science Review*, vol. 3, pp. 19-34, 12/15 2017.
- [29] P. Nerurkar, M. Chandane, and S. Bhirud, "Understanding attribute and social circle correlation in social networks," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 27, pp. 1228-1242, 03/22 2019.
- [30] N. Almolhem, Y. Rahal, and M. Dakkak, "Social network analysis in Telecom data," *Journal of Big Data*, vol. 6, 12/01 2019.
- [31] M. E. J. Newman, "Modularity and community structure in networks," vol. 103, no. 23, pp. 8577-8582, 2006.
- [32] K. Kugler, L. Mueller, A. Graber, and M. Dehmer, "Integrative Network Biology: Graph Prototyping for Co-Expression Cancer Networks," *PloS one*, vol. 6, p. e22843, 07/29 2011.
- [33] B. Eckman and P. Brown, "Graph data management for molecular and cell biology," *IBM Journal of Research and Development*, vol. 50, pp. 545-560, 12/01 2006.

- [34] V. Gadiyaram, S. Vishveshwara, and S. Vishveshwara, *From Quantum Chemistry to Networks in Biology: A Graph Spectral Approach to Protein Structure Analyses*. 2019.
- [35] L. Johnsen, "Graph Analysis of Word Networks," <http://ceur-ws.org/Vol-2021/>, vol. 2021, 01/01 2017.
- [36] E. Hasanah and D. Agustiningsih, *Analysis of "Halal" Word in Social Media Using Text Mining and Word Networking*. 2020.
- [37] R. Ozcelik, G. Uludoğan, S. Parlar, Ö. Bakay, O. Ergelen, and O. Yildiz, *User Interface for Turkish Word Network KeNet*. 2019, pp. 1-4.
- [38] S. Valverde, B. Vidiella Rocamora, R. Montañez Martínez, A. Fraile, S. Sacristán, and F. García-Arenal, "Coexistence of nestedness and modularity in host–pathogen infection networks," *Nature Ecology & Evolution*, pp. 1-10, 03/09 2020.
- [39] T. Shiino, "Phylogenetic analysis of a viral infection network," *Frontiers in microbiology*, vol. 3, p. 278, 07/31 2012.
- [40] M. E. J. Newman, "Analysis of weighted networks," *Physical Review E*, vol. 70, no. 5, p. 056131, 11/24/ 2004.
- [41] M. Bastian, S. Heymann, and M. Jacomy, "Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks," in *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009.
- [42] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, E. J. J. o. s. m. t. Lefebvre, and experiment, "Fast unfolding of communities in large networks," vol. 2008, no. 10, p. P10008, 2008.
- [43] R. Lambiotte, J.-C. Delvenne, and M. J. a. p. a. Barahona, "Laplacian dynamics and multiscale modular structure in networks," 2008.

SUDA TOPLAM PETROL HİDROKARBONLARI (TPH) ANALİZİ İLE KIZILIRMAK GRABENİ'NİN (NEVŞEHİR) HİDROKARBON POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Adil ÖZDEMİR^{1*}, Yıldırım PALABIYIK², Atilla KARATAŞ³, Alperen ŞAHİNOĞLU⁴

¹Adil Özdemir Mühendislik ve Danışmanlık, Ankara 06570, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34398, Türkiye

³Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

⁴İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İstanbul, 34510, Türkiye

Geliş tarihi: 22.09.2020 Kabul tarihi: 09.08.2020

ÖZET

Volkanosedimanter birimlerden oluşan Kızılırmak Grabeni'nde kayatuzu oluşumları bulunmakta olup, önceki çalışmalarda bu tuz oluşumlarının diapirik bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Komşu havza olan Ayhan Havzası, bitümlü şeyl ve işletilen kömür yatakları içermektedir. Bu nedenle, Ayhan havzasındaki bu birimlerden hidrokarbon türünün olabileceği öngörüsüyle bu çalışmada, Kızılırmak Grabeni'nin hidrokarbon potansiyelinin doğal su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri yapılarak araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Sularda tespit edilen hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi için organik jeokimyasal yöntemler kullanılmıştır. Su numunelerinde belirlenen n-alkan hidrokarbonlar, baskın olarak bataklık-kömür tipi organik maddeden (Tip-III kerojen, gaz eğilimli) türemiş olgun petrol hidrokarbonlarıdır. Bu olgun hidrokarbonlarca zengin sular, gravite ve manyetik veriler ile çalışma alanında belirlenmiş olan olası tuz diyapiri ile ilişkili çalışan bir hidrokarbon sisteminin varlığı için kanıt olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rezervuar hedefli petrol ve doğalgaz arama, Suda TPH analizi, Hidrokarbonca zengin sular, Yeraltısuyu hidrokarbon kirliliği, Tuz diyapiri

INVESTIGATION OF HYDROCARBON POTENTIAL OF KIZILIRMAK GRABEN (CENTRAL ANATOLIA) BY TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH) IN WATER ANALYSIS

ABSTRACT

Salt formations exist in Kızılırmak Graben (Central Anatolia, Turkey), which consists of volcano-sedimentary units, and it was stated in previous studies that these formations have a diapiric structure. The adjacent basin, Ayhan Basin, contains bituminous shale and operated coal deposits. For this reason, in this study, it is aimed to investigate the oil and gas potential of the Kızılırmak Graben by conducting TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) analysis on the samples taken from natural cold-water resources by making use of the thought that hydrocarbon generation may come into existence from those units in the Ayhan basin. As a consequence of the analyses performed, hydrocarbons have been brought into the open in all the water samples. The organic geochemical methods have been used to find out the source of hydrocarbons determined in the water resources. The disclosed n-alkane hydrocarbons are the mature petroleum hydrocarbons derived from peat/coal type organic matter (Type III kerogen, gas-prone). These mature hydrocarbon-rich waters can be regarded as evidence for the availability of a working hydrocarbon system associated with possible salt diapir identified by using gravity and magnetic data obtained from the study area.

Keywords: Reservoir-targeted petroleum exploration, TPH in water analysis, Hydrocarbon-rich water, Groudwater hydrocarbon contamination, Salt dome

* e-posta: ¹ adilozdemir2000@yahoo.com ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3975-2846>

² palabiyik@itu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6452-2858>

³ atilla.karatas@marmara.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9159-6804>

⁴ alperensahinoglu@esenyurt.edu.tr ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1930-6574>

1. Giriş

Çalışma alanı, coğrafi olarak Orta Anadolu bölgesinde ve Kırşehir Masifi içerisinde olup, Orta Anadolu Fay Zonu'nun batısında ve Tuzgözü Fay Zonu'nun doğusunda kalan bölgede yer almaktadır. Çalışma alanı ve civarında, Salanda ve Dadağı fayları arasında yükselen kesimler, Hırka ve Ziyarettepe horstu olarak, horstun kuzeybatısındaki alan Kuyulukışla Grabeni, güneyindeki alan ise Demircioğlu [1] tarafından Kızılırmak Grabeni olarak adlandırılmıştır (Şekil 1), Koçyiğit ve Duran [2] tarafından, Salanda Çek-Ayır Havzası olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında, Paleozoyik-Kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır. En yaşlı birim, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalardır. Bu birimleri, Tersiyer yaşlı sedimanter birimler uyumsuz olarak örtmektedir. Denizel birimler, Geç Paleosen-Orta Eosen yaşlıdır. Bölgedeki iklim şartları ve tektonizmaya bağlı olarak Miyosen ve sonrasında küçük boyutlu çanakçıklar içerisinde göl ortamları gelişmiştir. Bölgede, farklı yaşlı ve litolojilerde Akarsu ortamında oluşan birimler de görülmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde, magmatik kayalar da oldukça yaygındır. Bu nedenle bölge, Kapadokya Volkanik Alanı olarak da adlandırılmaktadır [1]. Çalışma alanında, Alpin Orojenez Fazları etkin olmuştur ve faylar ve kıvrımlar gelişmiştir. KB-GD gidişli Tuzköy Fay Seti, Salanda, Tuzköy, Yüksekli ve Gülşehir fayları da, çalışma alanındaki önemli faylardır (Şekil 2).

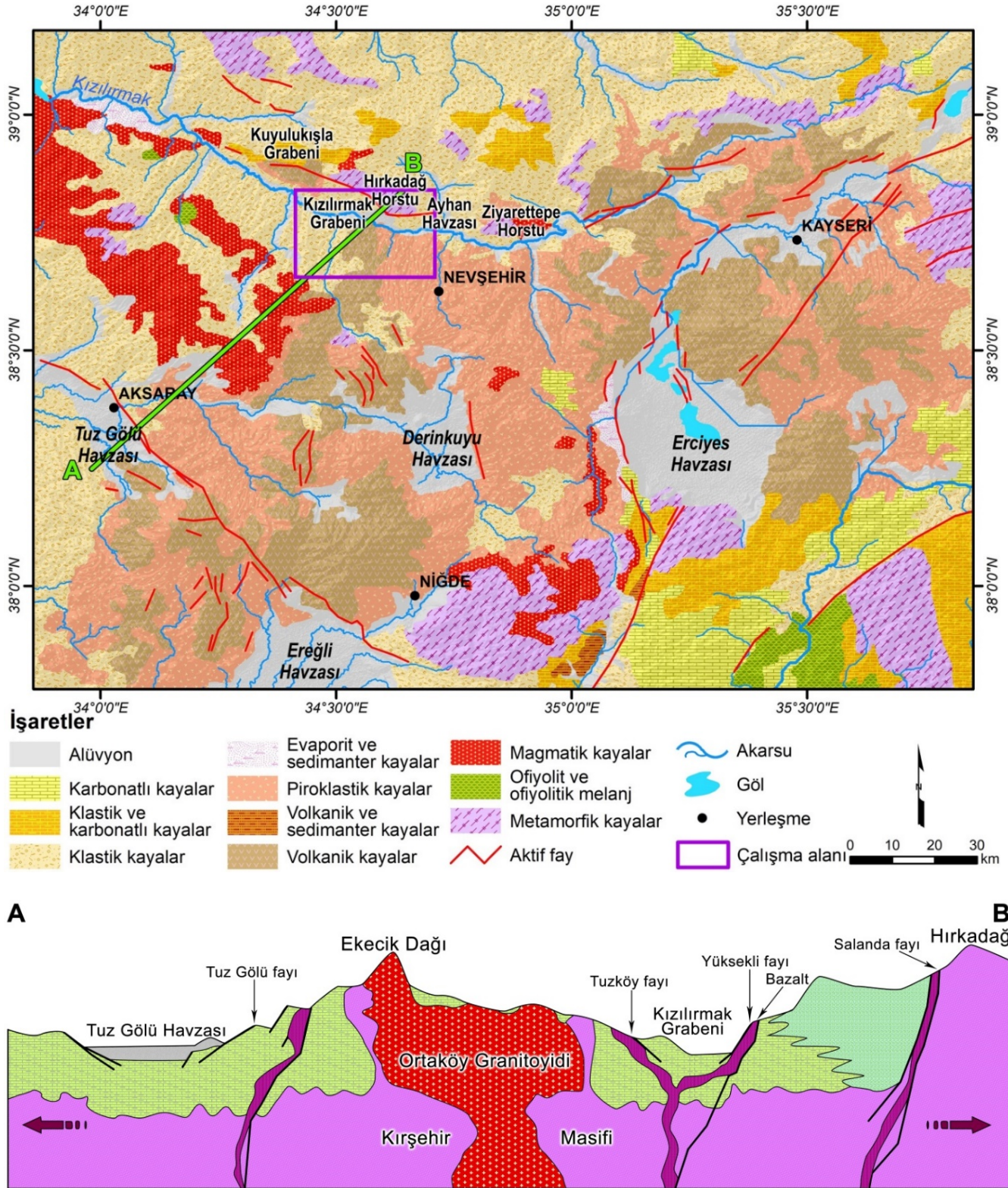
Türkiye'de genellikle Tersiyer yaşlı kalın doğal tuz yatakları bulunmaktadır. Ana tuz yatakları; İç Anadolu (Çankırı ve Nevşehir bölgeleri), Doğu Anadolu (Erzurum bölgesi), Güneydoğu Anadolu (Çukurova bölgesi) ve Tuz Gölü bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3) [3]. Çalışma alanında (Nevşehir bölgesi) yeralan Tuzköy tuz yatağının yüzeyden derinliği 60 m, kalınlığı ise 150 m'dir (Şekil 2). Yatakta, 75 milyon ton görünür, 96 milyon ton muhtemel, 959 milyon ton mümkün NaCl rezervi saptanmıştır. Gülşehir'deki kaya tuzu varlığı, sadece Tuzköy kayatuzu yatağı ile sınırlı değildir. Tuz oluşumları, yatak dışında da devam etmektedir [4,5]. KB-GD uzanımlı bir antiklinale uygun olarak kıvrımlanmış olan kaya tuzu yatağı, genç birimler tarafından örtülmektedir [6,7]. İnceleme alanındaki kayatuzu oluşumları, diyapirik bir yapıya sahiptir [8].

Dünya'da tuz yapıları ile ilişkili pekçok petrol ve doğalgaz üretim sahası bulunmaktadır. Türkiye'deki tuz yapılarında bugüne kadar ekonomik üretim yapılabilecek herhangi bir hidrokarbon sahası keşfi yapılamamış ve bu tuz yapılarının hidrokarbon potansiyeli de belirlenememiştir. Bu nedenle, bu çalışmada, Bilginer [8] tarafından diyapirik ve derin bir yapıya sahip olduğu ve Ünüçök [5] tarafından yatak dışında da devam ettiği belirtilen tuz yapısının ve hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ilk olarak tuz yapısının rejyonel gravite ve havadan manyetik verilerle muhtemel sınırları belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen sınırlar içerisindeki ve çevresindeki doğal su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında olgun petrol hidrokarbonları tespit edilmiştir. Tespit edilen olgun hidrokarbonlar, inceleme alanındaki olası tuz diyapiri ile ilişkili çalışan petrol sistemi için bir kanıt olarak değerlendirilmektedir.

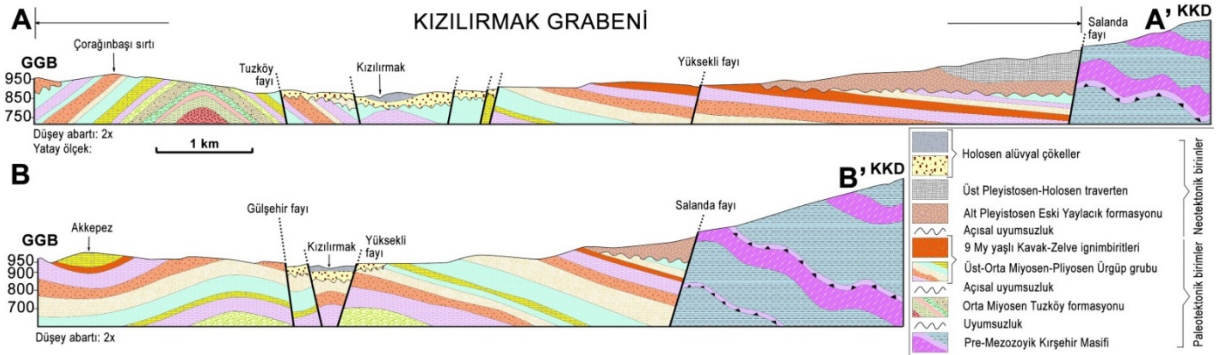
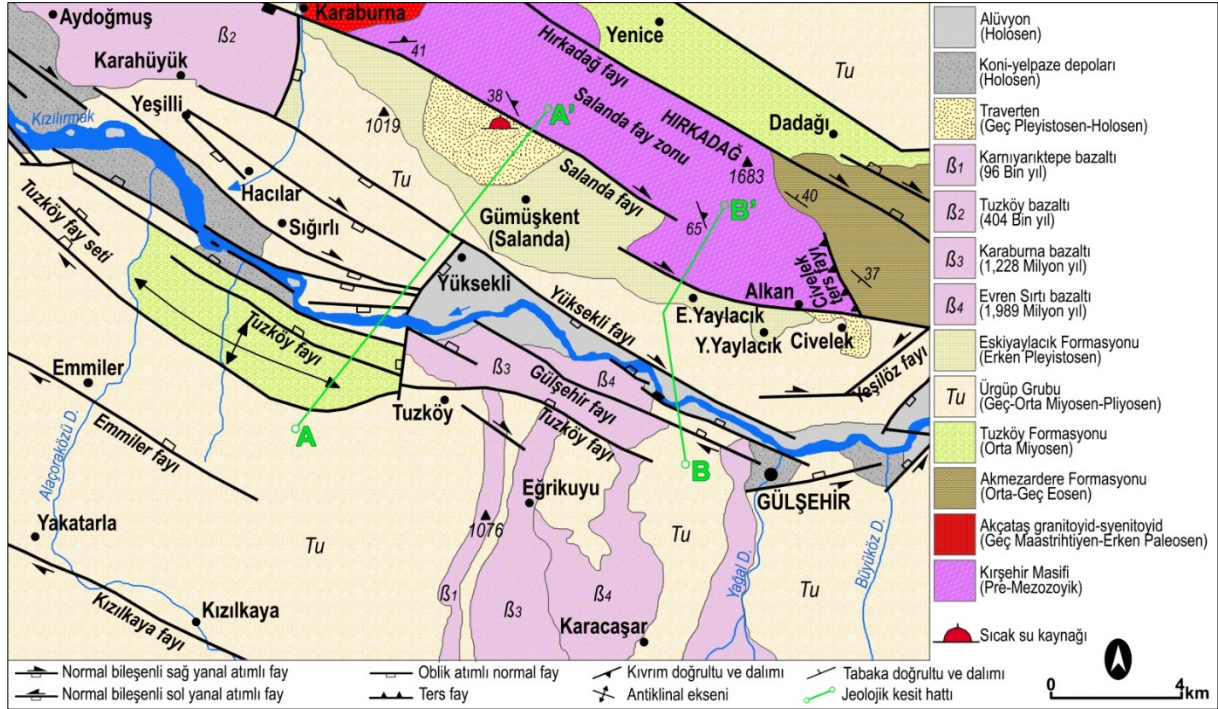
2. Materyal ve Yöntem

Eymold ve diğ. [9], kaya gazı içeren havza formasyonları üzerindeki sığ yeraltısularının hidrokarbonlarca zengin olduğunu ve hidrokarbonlarca zengin bu sulardaki hidrokarbonların, derindeki kaynak kayalardan sığ akiferlere göç ettiğini ifade etmişlerdir. Kreuzer ve diğ. [10], petrolü havzalardaki fayların, jeolojik zaman boyunca hidrokarbonlarca zengin suların kaynak kayalar üzerindeki akifer litolojilerine taşınmasını kolaylaştırdığını ve sığ yeraltısularının jeokimyasını etkileyerek bu sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olduğunu bildirmişlerdir. Dultsev ve Chernykh [11], yeraltındaki hidrokarbon birikimleri etrafındaki hidrokarbonca zengin suların petrol ve doğalgaz aramak için çok iyi bir jeokimyasal araç olduğunu ortaya koymuşlardır. Özdemir ve Palabıyık [12], paleocoğrafik ve paleotektonik verilere göre, Türkiye'nin Paleozoyik-Miyosen aralığında oluşmuş zengin bir petrol kaynak kayası varlığına sahip olduğuna işaret etmektedir. Buna ilaveten, Türkiye kara alanlarının çoğunluğunun genç alüvyonlar, genç volkanikler, ofiyolitler ve ofiyolitik melanjlarla kaplı

olduğunu, bu nedenle de Türkiye kara alanlarının petrol ve doğalgaz potansiyelinin klasik jeokimyasal yöntemlerle (kaynak kaya hedefli olarak) araştırılabilme olanağının son derece sınırlı olduğunu ve Türkiye’de yapılacak gelecek hidrokarbon aramalarında suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizi yönteminin kullanılması daha uygun olacağını ifade etmektedirler.



Şekil 1. Kızılırmak Grabeni yerbulduru ve jeoloji haritası ([1]'den değiştirilerek)

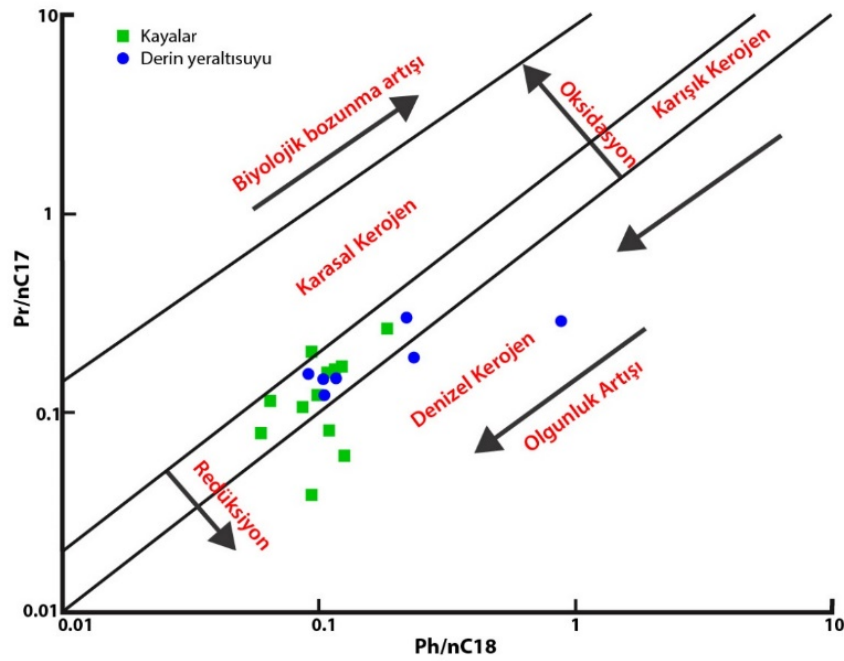


Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası ([2]'den değiştirilerek)

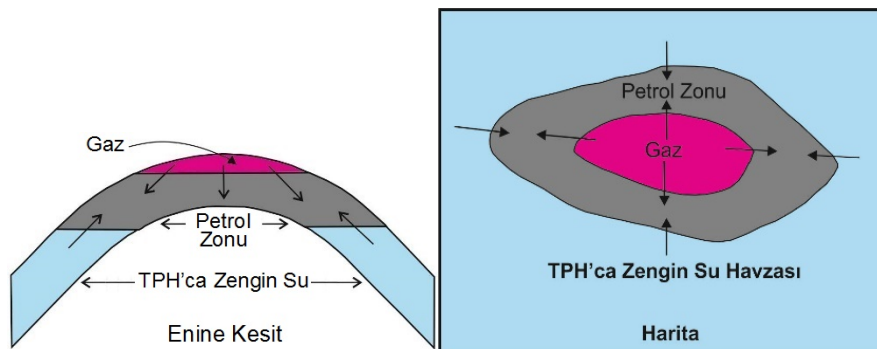


Şekil 3. Tuzköy kaya tuzu madeni (Nevşehir) yerbulduru haritası ([3]'den düzenlenmiştir).

Günümüzde, kaynak kayaların mostra vermediği örtülü veya kaynak kayaların tükenmiş/tüketilmiş olduğu havzalarda/bölgelerde hidrokarbonlarca zengin suların ve organik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine imkan sağlayan suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizi petrol ve doğalgaz aramacılığında kullanılmaya başlanmıştır [13-19]. Bunun nedeni, güncel çalışmalarda kaynak kaya ve gaz numuneleri üzerinde yapılan tüm organik jeokimyasal analizlerin, suda TPH analizi ile belirlenen petrol hidrokarbonlarınca zengin yüzey ve yeraltı suları üzerinde de uygulanabildiği, aynı havzalarda/bölgelerde aynı analiz ve yorumlama sonuçlarına ulaşıldığı belirlenmiştir (Şekil 4) [20,21]. Bu çalışmalara göre, bir bölgede bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının var olması durumunda, çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısularının olgun petrol hidrokarbonlarınca zengin olması gereklidir (Şekil 5). Dolayısıyla, suda TPH analizi rezervuar hedefli petrol ve doğalgaz arama aktivitesine hizmet edecektir.



Şekil 4. Aynı bölgeden alınan kaynak kaya ve derin yeraltısuyu numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı [21] (Pr: Pristan ve Ph: Fitan izoprenoid hidrokarbonlar, n-C17 ve n-C18: n-alkanlar)



Şekil 5. Birincil yöntemlerle üretim yapılan antiklinal bir petrol rezervuarının bileşenleri [20]

TPH değeri, yeraltısularının hidrokarbon kirliliği hakkında bilgi vermektedir. Sudaki TPH konsantrasyonlarını belirlemek için gaz kromatografisi (GC) analizleri yapılmaktadır. Suda TPH tayininde, TS EN ISO 9377-2, 2000 sayılı *Hidrokarbonların Tayini - Bölüm 2: Çözücü Ekstraksiyonu ve Gaz Kromatografi Yöntemi* standart testi kullanılmaktadır (diğer yöntemler, EPA Metot 1664 ve ASTM D7678-11).

Çalışma kapsamında, bölgedeki doğal soğuksu çeşmelerinden 1 L ölçekli plastik örnekleme şişeleri ile 25 adet su numunesi alınmıştır (Şekil 6 ve 7). Su örnekleri, şebeke suyu ile ilişkili olmayan ve arıtılmamış/işlem görmemiş su kaynaklarından alınmıştır. Su örnekleri, standart prosedürlere (ISO 5667-3) göre toplanmış ve muhafaza edilmiştir. Çalışma alanından toplanan numunelerin, toplandıktan birkaç gün sonra analizinin yapılması nedeniyle, numunelerde asitleme işlemi yapılmamıştır. Numuneler, laboratuvarında standart yöntemler (ISO 9377-2) kullanılarak sudaki TPH açısından analiz edilmiştir. Alınan su numunelerinde, organik jeokimyasal değerlendirmelere veri oluşturmak amacıyla gaz kromatografi cihazı ile TPH analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile su numunelerinin doğrudan TPH konsantrasyonları (mg/Lt cinsinden) belirlenmiş ve gaz kromatogramlarından jeokimyasal parametreler (Karbon Tercih İndeksi - CPI, Doğal n-alkan Oranı - NAR vb. gibi) hesaplanmıştır. Jeokimyasal değerlendirmelerde, TPH konsantrasyonları ve hesaplanan parametreler kullanılmıştır.



Şekil 6. Alınan su numunelerinin yerbulduru haritası. Sarı renkli rakamlı daireler: su numuneleri, sarı renkli poligon: Tuzköy kayatuzu madeni



Şekil 7. Çalışma alanındaki doğal su kaynaklarından ölçekli plastik örnekleme şişeleri ile su numunesi alınmasından bir görünüm

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanından alınan su numuneleri üzerinde yapılan TPH analiz sonuçları esas alınarak; sulardaki hidrokarbonların miktarı, bozunma durumu ve kaynağı, olgunluğu ve çökeltme ortamının redoks koşulları jeokimyasal açıdan incelenmiştir. Ayrıca, inceleme alanı için hazırlanan havadan manyetik ve gravite haritaları jeolojik ve tektonik açıdan yorumlanmış ve hidrokarbonların kavramsal oluşum, göç ve birikme modelinin kurgulanması amaçlanmıştır.

3.1. Sulardaki Hidrokarbonların Miktarı, Bozunma Durumu ve Kaynağı

Liu ve diğ. [21], hidrokarbon içeriği 0.05 mg/lt'yi aşan yeraltısuyunu orijinal hidrokarbonca zengin yeraltısuyu olarak tanımlamıştır. Yüzeysel ve yeraltı suları için önerilen TPH sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir. TPH değerleri, Tablo 1'deki değerleri aşan yüzeysel ve yeraltı suları, hidrokarbonca zengin sulardır. İnceleme alanındaki su numunelerinin tamamında n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Su numunelerinin TPH değerlerinin, yüzeysel ve yeraltısularında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1 ve 2). Dolayısıyla, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Kaynak, olgunlaşma, göç ve biyolojik bozunma, hidrokarbonların bileşimindeki farklılıklardan sorumlu ana faktörlerdir. Ph/n-C18 değeri < 1 ise, biyolojik olarak bozunmamış hidrokarbonları göstermektedir [22]. Su numunelerinin tümünün Ph/n-C18 değeri, < 1'dir (Tablo 2). Bu değerlere göre, su numunelerindeki hidrokarbonlar biyolojik olarak bozunmamıştır.

Tablo 1. Yüzeysel ve yeraltısuları için önerilen TPH sınır değerleri

TPH (mg/lt)	Referans
< 0.05	[21]
< 0.1	[23]
< 0.5	[20]
< 0.2	[24]
< 0.02	[25]

CPI, n-alkan kaynağının bir göstergesi olup, tek ve çift karbon numaralı n-alkan miktarları arasındaki bir oran olan CPI, gaz kromatogramlarındaki piklerin yükseklikleri veya alanları ölçülerek belirlenmektedir. Bu kromatogramlarda hâkim pikler n-alkanlar olup, CPI değerinin belirgin bir şekilde > 1 (tek n-alkan tercihli) veya < 1 (çift n-alkan tercihli) olması ısısal ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerde gözlenmektedir [33,34]. Yüksek CPI değeri, yüksek karasal bitkilerden türemiş, olgunlaşmamış veya olgunluğu düşük organik maddeyi yansıtmaktadır [35]. CPI değerlerine göre (Tablo 2), incelenen su numunelerindeki n-alkanların kaynağı petrojenik hidrokarbonlar ve organik maddece zengin yaşlı sedimanlardır (Tablo 3).

Tablo 3. CPI değerine göre sudaki n-alkanların kaynağı [20]

CPI	Kaynak
> 2.3	Güncel karasal sedimanlar (biyojenik hidrokarbonlar)
1.2 - 2.3	Organik maddece zengin yaşlı sedimanlar (denizel şeyller, karbonatlar vb.)
≤ 1.2	Petrojenik hidrokarbonlar (< 1 değerler bozunmuş hidrokarbonlar)

Tablo 2. Su numunelerinin TPH analiz sonuçları ve hesaplanan jeokimyasal parametreler

Numune No	Su kaynağı tipi	Koordinatlar		TPH (mg/lt)	CPI	TAR	P _{aq}	P _{wax}	Waxiness İndeksi	n-C17/n-C31	NAR	Pr/Ph	Pr/n-C17	Ph/n-C18	Maksimum n-alkan
		X	Y												
NG1	Doğal soğuksu	4300669	635154	0.52	1.24	-	0.28	0.72	-	0.20	0.32	4.88	0.29	0.14	C31
NG3	Mineralli su kaynağı	4300753	632969	< 0.4	1.34	-	0.26	0.74	-	0.14	-	7.67	0.39	0.13	C31
NG4	Doğal soğuksu	4299892	633152	0.72	1.35	-	0.26	0.74	-	0.15	0.25	5.84	0.26	0.10	C31
NG5	Doğal soğuksu	4297621	635602	0.56	1.36	-	0.26	0.74	-	0.19	0.23	5.95	0.29	0.09	C29
NG6	Doğal soğuksu	4291566	640269	0.64	1.18	5.79	0.29	0.71	4.80	0.14	0.37	10.87	0.24	0.09	C31
NG8	Doğal soğuksu	4288798	633507	0.62	1.41	-	0.23	0.77	-	0.21	0.25	5.30	0.27	0.11	C31
NG10	Soğuksu kuyusu	4287546	635389	0.63	1.27	7.91	0.22	0.78	-	0.14	0.37	5.68	0.28	0.12	C31
NG11	Doğal soğuksu	4292077	630459	0.68	1.82	-	0.10	0.90	5.58	0.10	0.27	9.28	0.25	0.08	C31
NG13	Tuz deşarj suyu	4292277	629466	0.57	1.26	-	0.28	0.72	-	0.15	0.29	3.63	0.21	0.13	C31
NG14	Doğal soğuksu	4291278	620839	0.53	1.36	-	0.24	0.76	-	0.15	0.25	5.45	0.30	0.10	C31
NG16	Doğal soğuksu	4287752	618043	0.72	1.26	-	0.22	0.78	-	0.13	0.37	5.61	0.23	0.10	C31
NG17	Doğal soğuksu	4292465	619808	0.41	-	-	-	-	-	0.11	-	8.43	0.40	0.09	C31
NG19	Soğuksu kuyusu	4292981	617241	0.52	1.55	-	0.17	0.83	-	0.08	0.20	10.12	0.32	0.06	C31
NG20	Doğal soğuksu	4294291	614037	0.43	1.60	7.70	0.18	0.82	4.27	0.12	0.10	9.95	0.30	0.08	C31
NG21	Soğuksu kuyusu	4301664	614292	0.48	1.90	10.03	0.07	0.93	3.63	0.22	0.12	13.05	0.30	0.05	C29
NG23	Doğal soğuksu	4301125	619556	0.53	1.71	7.91	0.12	0.88	2.95	0.11	0.08	10.00	0.24	0.06	C31
NG26	Doğal soğuksu	4302065	622556	0.65	-	7.20	-	-	-	0.17	-	15.95	0.25	0.04	C31
NG27	Doğal soğuksu	4299109	624796	0.97	1.93	7.25	0.08	0.92	3.37	0.17	0.00	4.60	0.21	0.09	C31
NG28	Keson kuyu	4296453	626478	0.80	1.72	7.01	0.11	0.89	1.92	0.22	0.00	5.52	0.19	0.10	C29
NG29	Doğal soğuksu	4295935	630637	0.63	1.93	6.89	0.07	0.93	1.86	0.17	0.05	11.60	0.23	0.05	C31
NG31	Doğal soğuksu	4294888	639800	0.60	1.75	-	0.11	0.89	-	0.17	0.02	9.82	0.26	0.05	C20
NG32	Soğuksu kuyusu	4284729	637224	0.54	1.85	-	0.11	0.89	-	0.10	0.02	7.42	0.32	0.08	C20
NG33	Doğal soğuksu	4276181	638653	0.59	1.64	-	0.17	0.83	-	0.15	0.05	18.50	0.27	0.04	C29
NG35	Mineralli su kaynağı	4282436	655103	0.47	1.66	-	0.10	0.90	-	0.32	0.12	9.43	0.24	0.07	C20
NG36	Mineralli su kuyusu	4283652	655804	0.66	1.27	-	0.10	0.90	-	0.10	-	7.43	0.25	0.07	C31

CPI = $\{[(C23+C25+C27) + (C25+C27+C29)] / [2 * (C24+C26+C28)]\}$ [26,27], TAR = $(C27+C29+C31)/(C15+C17+C19)$ [28], NAR = $[\Sigma n\text{-alk} (C_{19-32}) - 2\Sigma \text{Çift } n\text{-alk} (C_{20-32})] / \Sigma n\text{-alk} (C_{19-32})$ [29], Waxiness İndeksi: $\Sigma (n-C21-n-C31) / \Sigma (n-C15-n-C20)$ [30], P_{aq} = $(C23+C25)/(C23+C25+C27+C29+C31)$ [31], P_{wax} = $(C27+C29+C31)/(C23+C25+C27+C29+C31)$ [32], - : hesaplanmadı

Petrojenik kaynaklar; ham petrol, kömür vb. gibi yanmamış fosil kaynaklarıdır [36]. Sulardaki veya çevresel ortamdaki hidrokarbonların kaynağını belirlemek için NAR (Doğal n-alkan Oranı) kısaltmalı bir oran geliştirilmiştir [29]. Bu oran, petrojenik hidrokarbonlar için sıfırdır veya sıfıra oldukça yakındır. Petrojenik kaynaklar dışındaki hidrokarbonların NAR oranı çok yüksektir. NAR oranına göre (Tablo 2), çalışma alanındaki su numunelerindeki n-alkan hidrokarbonlar, petrojenik hidrokarbonlardır.

TAR (Karasal/sucul hidrokarbon oranı), karasal organik maddeden türeyen n-alkanların, sucul alglerden türeyen n-alkanlara oranını yansıtmaktadır [28,37-39]. Yüksek TAR değerleri (> 1), karasal bitki kaynağını ve düşük değerler (< 1) denizel alg kaynağını gösterir [40]. TAR değeri, incelenen su örnekleri için oldukça yüksek değerlerde hesaplanmıştır (> 1) (Tablo 2). Bu değerler, çalışma alanındaki su numunelerinde karasal organik maddeyi temsil eden yüksek karbon numaralı n-alkanların baskın olduğunu göstermektedir.

Karasal organik madde miktarını belirlemek için Waxiness indeksi kullanılmaktadır. Bu indeks, bölgesel karasal organik maddenin ekstraktlara yüksek moleküler ağırlıklı n-alkan bileşenlerine katkıda bulunduğu varsayımına dayanır [30]. Çalışma alanındaki su numunelerinin yüksek miktarda karasal bitki türevli biyobelirteçleri yansıtan yüksek Waxiness değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bu veri, analiz edilen numunelerin yüksek TAR değerleri göstermesi ile de desteklenmektedir.

n-C17/n-C31 oranı, hidrokarbonları türeten organik maddenin kaynağına işaret etmektedir. Yüksek değerler (> 2) denizel algleri, düşük değerler (< 2) ise karasal bitki kaynağını ifade etmektedir [41]. İncelenen örneklerin n-C17/n-C31 oranı 0.08-0.32 arasında değişmekte olup, karasal organik maddeyi işaret etmektedir. Bu sonuç, TAR ve Waxiness değerleri ile tutarlı olarak gözlenmektedir.

P_{aq} ve P_{wax} parametreleri hesaplanarak, organik maddeyi oluşturan bitki türleri ve ortamın paleoiklimsel koşulları hakkında bazı yorumlar yapılabilmektedir (Zheng ve diğ., 2007). Bu parametreler, sadece kömürler için kullanılmaktadır. P_{aq} değeri; < 0.1 ise karasal bitkilerin, 0.1-0.4 ise sucul bitkilerin (bataklık ortamında su yüzeyine çıkmış), 0.4-1.0 ise su içerisinde yüzer haldeki bitkilerin bulunduğu ortamlar söz konusudur [30]. P_{aq} değerlerine göre (Tablo 2), incelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten organik maddeyi oluşturan bitki türleri, baskın olarak sucul bitkilerdir (bataklık ortamında su yüzeyine çıkmış). P_{wax} değeri > 0.7 ise kuru iklim koşulları, < 0.7 ise nemli iklim koşulları söz konusudur [32]. P_{wax} değerlerine göre (Tablo 2), incelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten organik maddenin oluştuğu ortam, kuru iklim koşullarıdır.

Tablo 4. CPI değerine göre hidrokarbonların olgunluk derecesi ([42]'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 8).

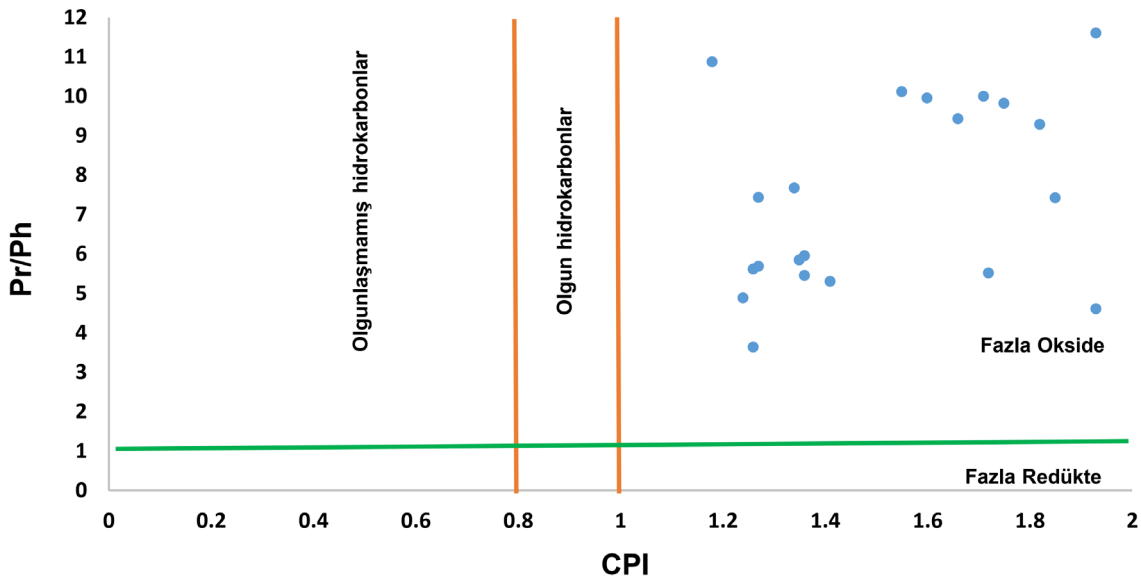
CPI	Olgunluk
> 1	Olgun (fazla okside-fazla redükte)
0.8 – 1	Olgun
< 0.8	Olgunlaşmamış

Pr/n-C17 ve Ph/n-C18 oranlarının hidrokarbonların kıyaslanması için geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu amaçla, hidrokarbonları kıyaslamak için Pr/n-C17'nin Ph/n-C18 diyagramı kullanılmıştır [22]. Pr/Ph oranının 1.5 üzerinde olması, standart jeokimyasal yorumlamaya göre oksijenli bir ortamdaki çökme koşullarına işaret etmekle birlikte, Pr/Ph oranlarının anoksik çökme ortamları için 1'in üzerinde olabileceği de bilinmektedir. Daha düşük değerler, aynı sekansın diğer bölümlerine kıyasla daha az oksik koşulları gösterebilir [43]. İncelenen su numunelerinin Pr/n-C17 - Ph/n-C18 ve Pr/n-C17 - Pr/Ph diyagramlarındaki konumlarına göre, hidrokarbonları türeten kaynak kayaların baskın olarak oksik karasal ortamda (Tip-III kerojen, gaz eğilimli) çökeldiği ve hidrokarbonların olgun seviyede oldukları gözlenmektedir (Şekil 8-12 ve Tablo 5).

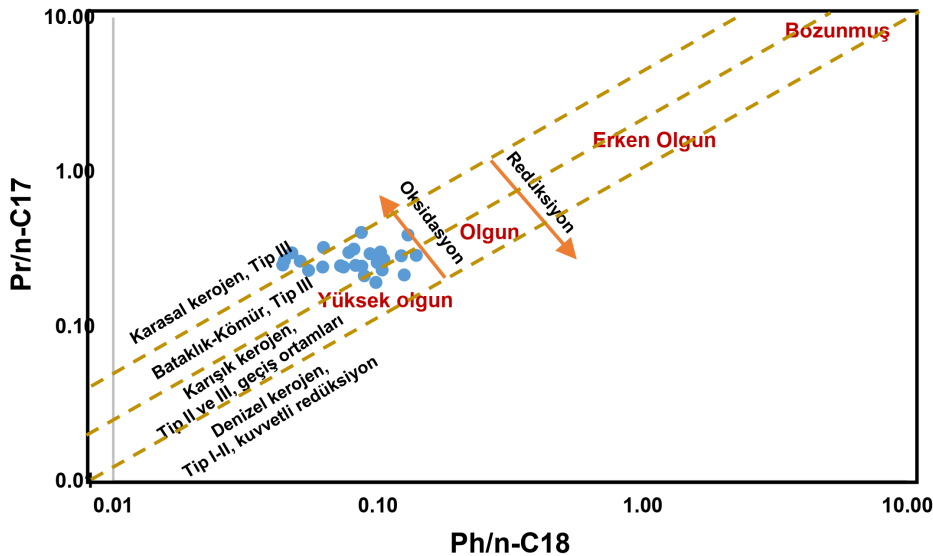
3.2. Sulardaki Hidrokarbonların Olgunluğu ve Çökeltme Ortamının Redoks Koşulları

CPI değeri, olgun hidrokarbonlarda 1'dir veya 1'e yakındır [44]. Onojake ve diğ. [42] çalışmalarında, CPI değerlerini esas alarak hidrokarbonları olgunluklarına göre sınıflandırmışlardır (Tablo 4). Bu sınıflamaya göre, incelenen su numunelerindeki (Tablo 2) hidrokarbonlar olgundur (fazla okside).

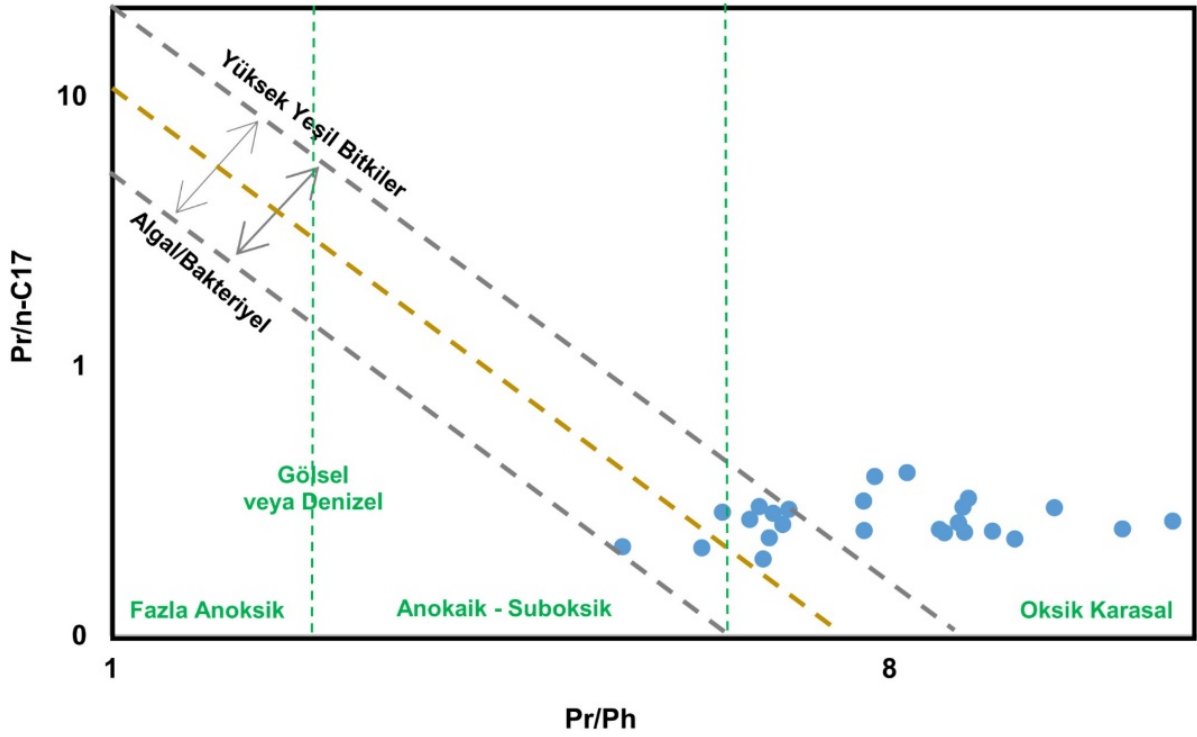
Pr/Ph oranı, çökeltme ortamının redoks potansiyelini yansıtmaktadır. $Pr/Ph < 1$ ise anoksik, $Pr/Ph > 1$ ise oksik çökeltme ortamını işaret etmektedir. Yüksek Pr/Ph oranları, oksik bir paleoortamda birikmiş, önemli bir karasal katkı olan kaynak kayadan türeyen hidrokarbonları gösterir [22,45]. İncelenen su numuneleri, 3.63 - 18.50 arasında değişen genellikle yüksek Pr/Ph oranına sahiptir. Dolayısıyla, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar, oksik ortamda ($Pr/Ph > 1$) depolanmış sedimanlardan türemiştir (Tablo 2). Pr/Ph oranı, olgunlukluğun değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır [46]. Pr/Ph-CPI diyagramında, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonların fazla okside alanda bulunmaktadır ve olgunluk düzeyleri birbirine yakındır (Şekil 8).



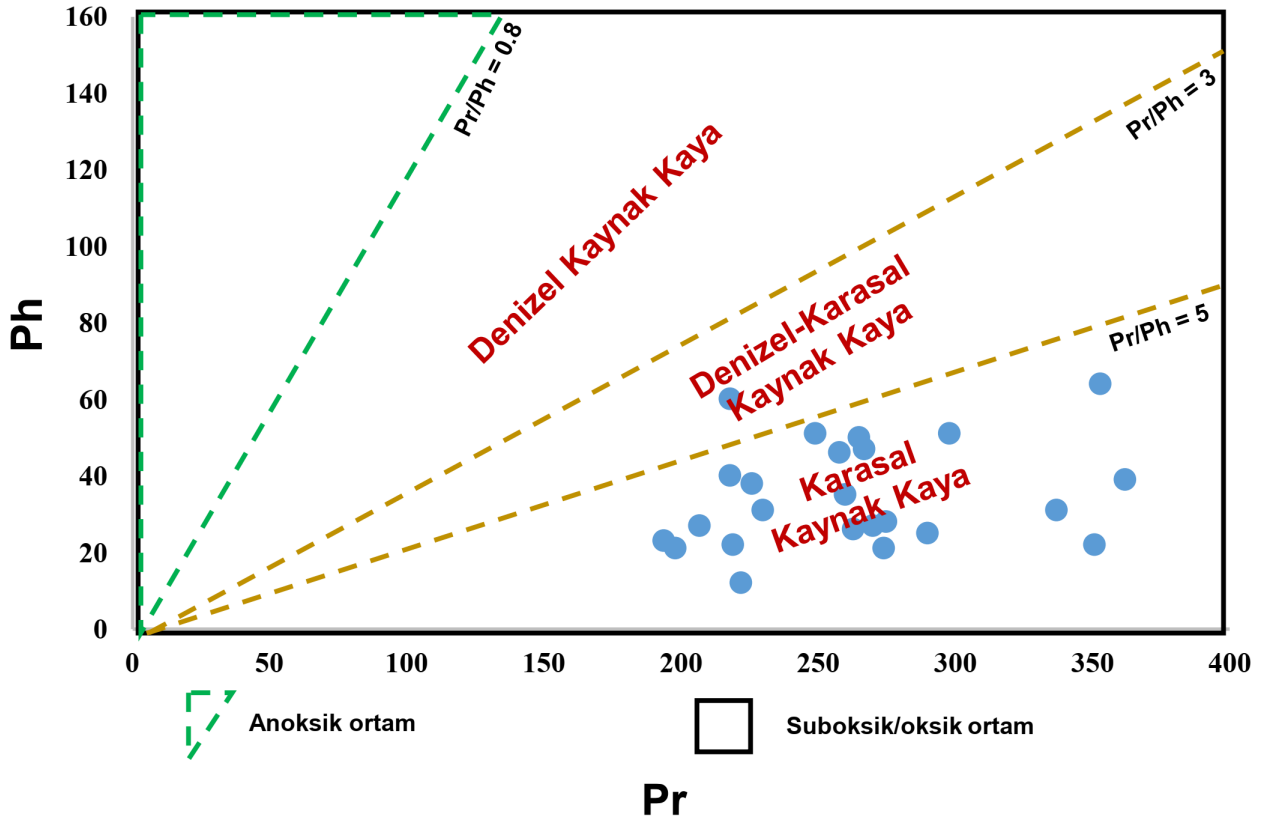
Şekil 8. Su numunelerinin Pr/Ph - CPI diyagramı (diyagram: [42]'den).



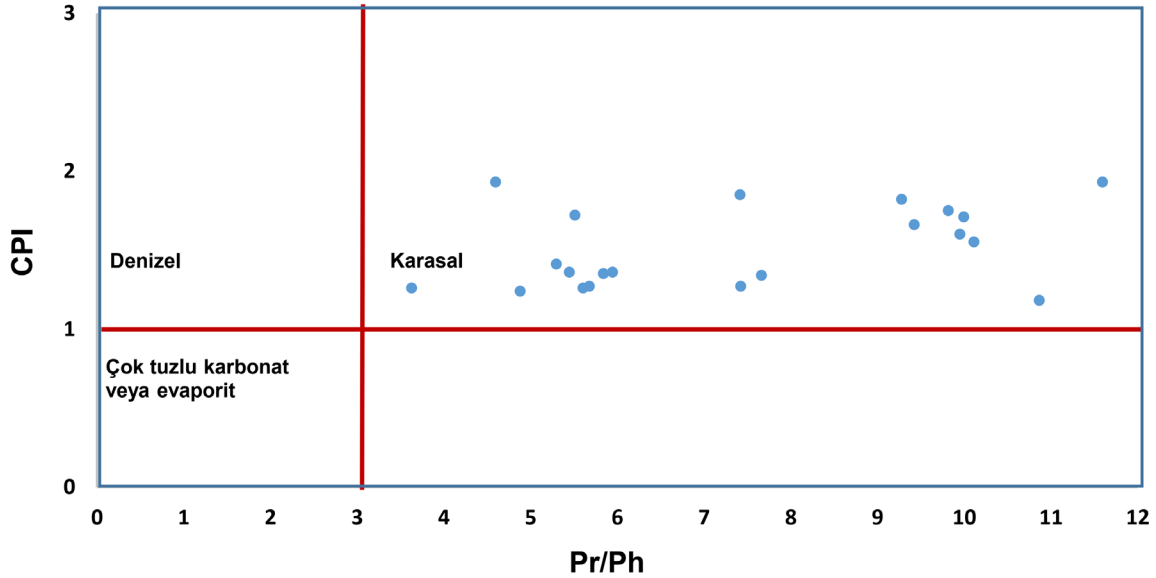
Şekil 9. Su numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı (diyagram: [47]'den).



Şekil 10. Su numunelerinin Pr/n-C17-Pr/Ph diyagramı (diyagram: [48-50]'den).



Şekil 11. Su numunelerinin Ph/Pr diyagramı (diyagram: [51]'den).



Şekil 12. Su numunelerinin CPI - Pr/Ph diyagramı (diyagram: [52]'den).

Tablo 5. Pr/Ph değerine göre hidrokarbonların kaynak kayası ve ortam ([51]'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 11).

Pr/Ph	Kaynak kaya	Pr/Ph	Ortam
< 3	Denizel	< 0.8	Anoksik
3 - 5	Denizel - Karasal	> 0.8	Suboksik-Oksik
> 5	Karasal		

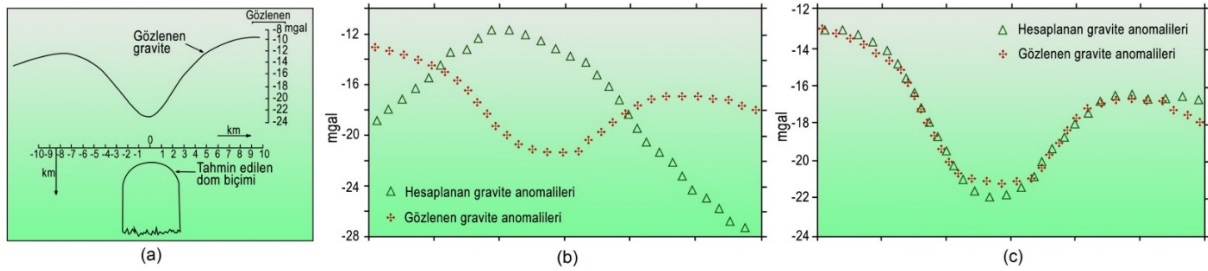
3.3. İnceleme Alanının Havadan Manyetik ve Gravite Haritalarının Jeolojik Yorumu

Gravite ve manyetik verilerinin petrol ve doğalgaz aramalarında kullanımına yönelik yöntemleri ve saha uygulamalarını içeren çok sayıda çalışma mevcuttur [13-15,17,18, 53-64]. Gravite ve manyetik anomali analizi, Batı Sibirya'da hidrokarbon arama ve keşfinin yarım yüzyıldan bugüne kalıcı bir bileşeni olmuştur [59]. İnceleme alanında olduğu gibi, jeokimyasal araştırmalarla petrol hidrokarbonları varlığı kanıtlanmış (olgun hidrokarbonlarca zengin sular belirlenmiş) olan bölgelerdeki petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının (kapanının) yerinin belirlenmesi için özellikle sismik ölçümler oldukça önemlidir. Bununla birlikte, çalışma alanında değerlendirmeye esas olabilecek sismik ölçüm hatları bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma alanının yeraltı jeolojisi MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan gravite ve manyetik verilerden hazırlanan haritalar kullanılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

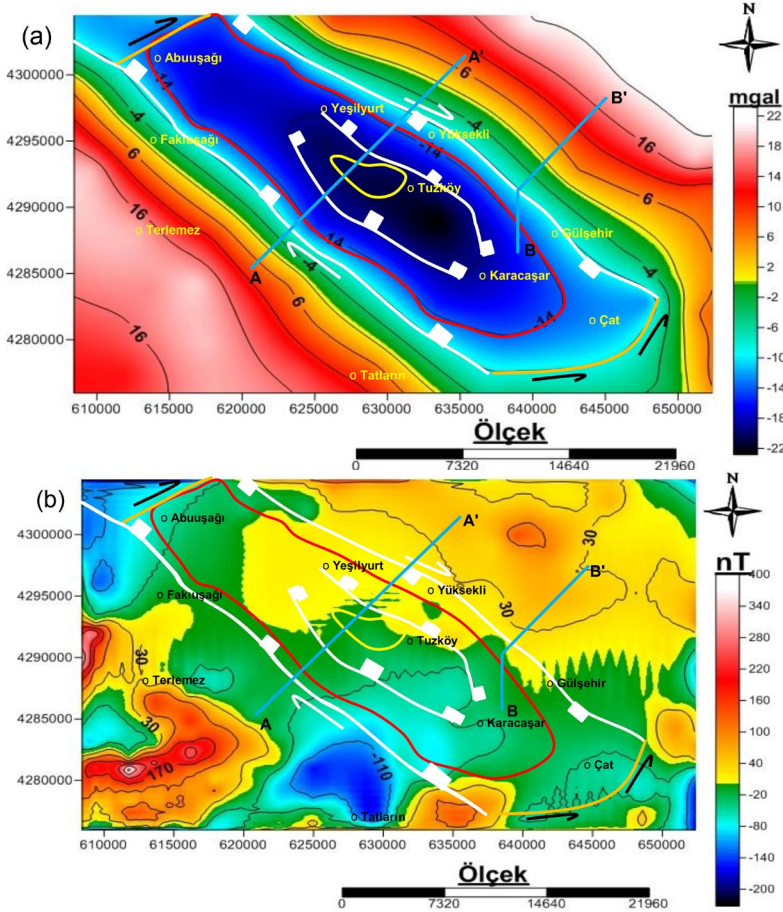
Tuz diyapiri-domu yapıları, negatif gravite anomalileri (ters gravite anomalisi) ile karakterizedir [53,65-72]. Jallouli ve diğ. [67], tuz domlarında gözlenen gravite anomalisinin yanlış yorumlanması sonucunda hesaplanan gravite anomalisinin pozitif gravite anomalisi üretilebileceğini, fakat hesaplanan gravite anomalisinin gözlenen gravite anomalisi ile uyumlu olarak negatif gravite anomalisi üretmesi gerektiğini belirtmiştir (Şekil 12). Kayatuzu madeni içeren çalışma alanına ait gravite anomalileri de negatiftir (Şekil 14).

Çalışma alanına özel olarak bu çalışmada hazırlanmış olan gravite haritasında (Şekil 12), yoğunluğu düşük olan şeyl, kıltaşı, çakıltaşı, çamurtaşı vb. gibi sedimanter kayalar ve sleyt, fillit vb. gibi metamorfik kayalar (haritadaki yeşil, koyu ve açık mavi renkli alanlar) bulunmaktadır. Şist mermer, kuvarsit, kristalize kireçtaşı vb. gibi yoğunluğu nispeten daha yüksek olan kayalara (haritadaki kırmızı, sarı ve turuncu renkli alanlar) ait anomaliler bulunmaktadır. İnceleme alanı, doğrudan atımlı faylarla sınırlanmış olup, KB-GD ve GD-KB yönlü iki ana fay arasında kalan kısım yükselmiştir. Bu yükselen kısım, muhtemel birçok ikincil faylarla kırılmıştır.

Çalışma alanına özel olarak bu çalışmada hazırlanmış olan havadan manyetik haritada (Şekil 14), tuz, şeyl, kiltası, kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı, silttaşı vb. gibi alanlarda manyetik özelliği olmayan tamamen sedimanter (haritadaki yeşil, koyu ve açık mavi renkli alanlar) ve şişt mermer, kuvarsit, kristalize kireçtaşı vb. gibi kayalar bulunmaktadır. Ayrıca, dayklar, ofiyolitler, volkanikler vb. gibi manyetik özelliği sahip kayalara ait anomaliler bulunmaktadır (haritadaki kırmızı, sarı ve turuncu renkli alanlar). Çalışma alanı için hazırlanan gravite ve manyetik haritalarında, muhtemel sınırları belirlenmiş olan olası tuz diyapirinin hem gravite hem de manyetik anomalileri negatiftir. Bu sonuç, Koşaroğlu ve diğ. [73] verileri ile uyumludur.



Şekil 13. a. Humble tuz domu (Harris Country, Teksas, ABD) gravite anomalisi ([53]'den). b) Bir tuz domu için yanlış üretilmiş hesaplanan gravite anomalisi yorumu, c) doğru üretilmiş hesaplanan gravite anomalisi yorumu (b,c: [67]'den).

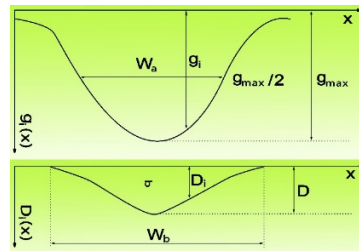


Şekil 14. İnceleme alanının gravite (a) ve manyetik (b) anomalileri renk kontur haritası. Kızıllırmak Grabeni'ndeki muhtemel doğalgaz kapanı (kırmızı renkli poligon). Beyaz renkli çizgiler: verev doğrultu atımlı faylar (tırnaklar, düşen tarafı göstermektedir), A-A' ve B-B': jeolojik kesit hatları (Şekil 3), A-A' hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 12).

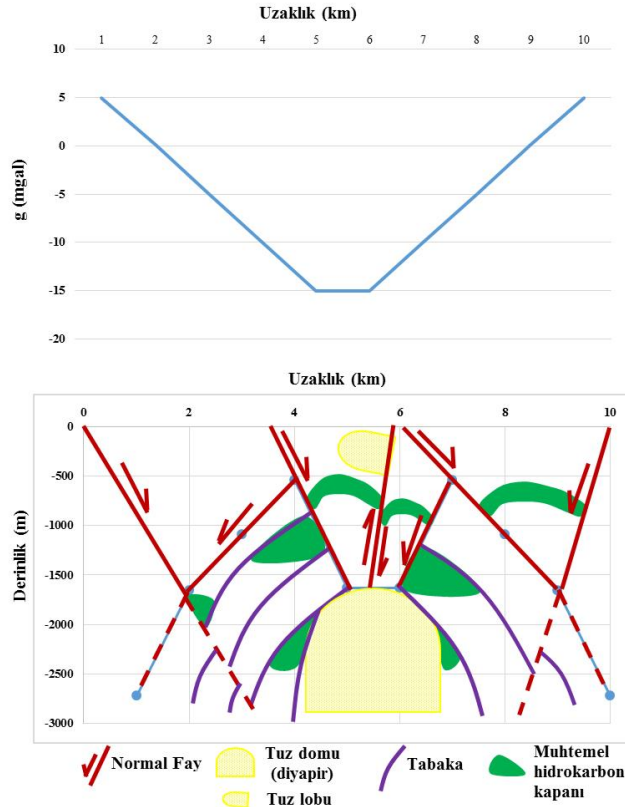
Çalışmada, iki boyutlu rezidüel gravite anomalilerini derinlik değerlerine dönüştürülebilme ve havza ve yapı derinliklerini belirlemek amacıyla, Svancara [74] ve Töpfer [75] tarafından önerilen değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yoğunluk kontrastının bilinmesi durumunda gravite anomalisi ve parametreler arasında kurulan basit ilişkilerle sedimanter bir havza ve yapı derinliği belirlenebilmektedir. Yorumlamanın ilk adımı, anomalinin karakteristik parametrelerini belirlemektir (Şekil 15). $A = g_{\max}/W_a \times \sigma$ şeklinde tanımlanır. g_{\max} : gravite anomalisinin maksimum genliğidir (mgal). W_a : gravite anomalisinin yarı genlik ($g_{\max}/2$) değerine karşılık gelen uzaklıktır (m). σ : yoğunluk kontrastıdır (gr/cm^3). W_b : gravite anomalisinin tam genişliğidir (m) ve $W_b/W_a = (-0.056 \times A) + 1.827$ formülü ile belirlenir. D_i, g_i : gravite anomali değerine karşılık gelen derinliktir (m). D_o : düz-plaka formülünden elde edilen derinliktir (m). $D_o = 23.866 \times g_{\max}/\sigma$ formülü ile belirlenir ve birimi m'dir. D : maksimum derinliktir ve aşağıdaki formül ile belirlenmektedir.

$0 < A < 9$ şartı için $D/D_o = 0.072 \times A + 1.00$

$9 < A < 13$ şartı için $D/D_o = 0.12 \times A + 0.57$ şeklindedir [75]. Çalışma alanının rezidüel gravite anomali haritasından bir A-A' profili alınmıştır (Şekil 14). A-A' profile ait anomalilere göre, olası ana tuz yapısının maksimum derinliği (D) = 1635 m olarak belirlenmiştir (Şekil 16).



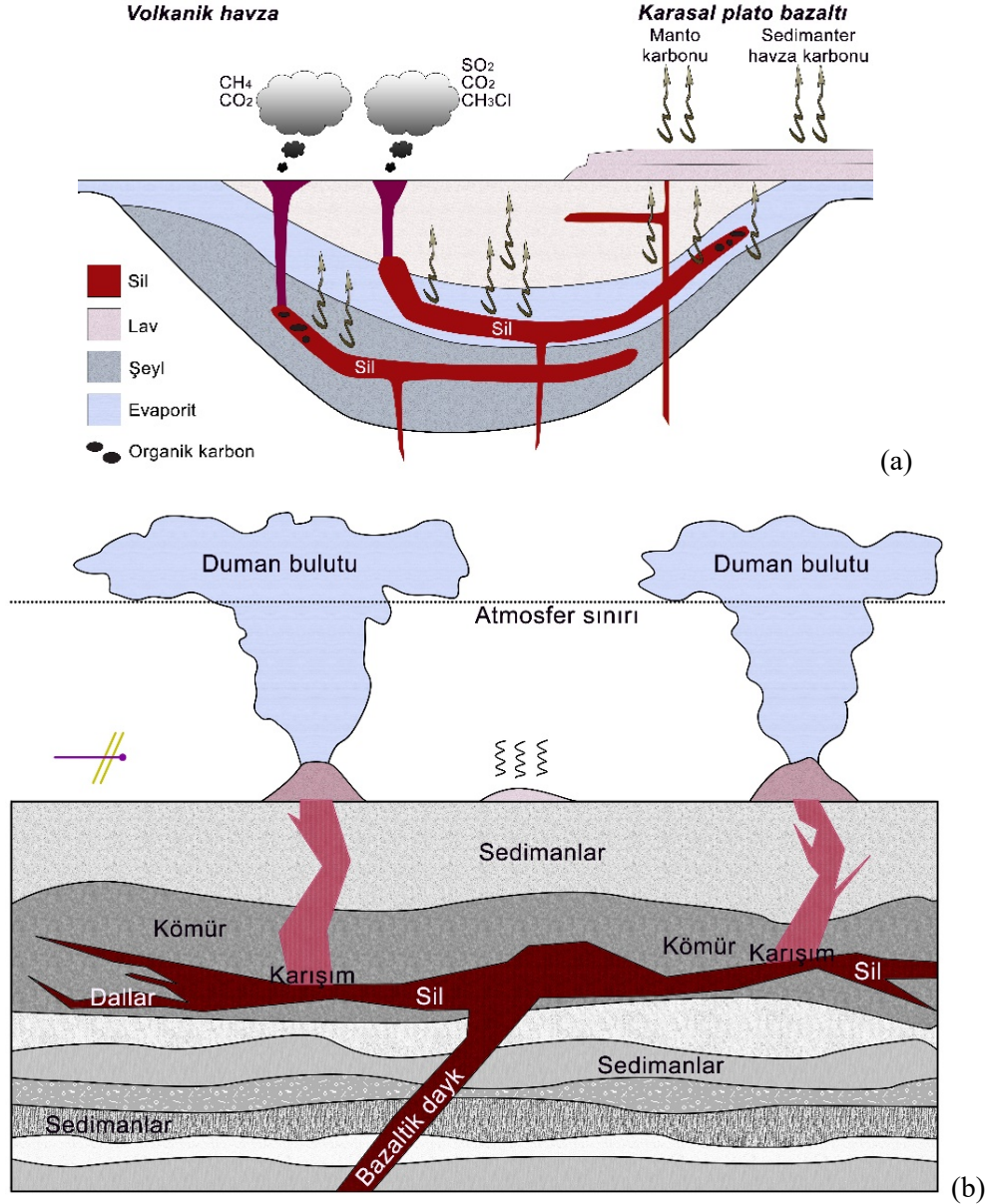
Şekil 15. İdeal bir havza gravite anomalisi ve karakteristik parametreler [74].



Şekil 16. A-A' profilinin jeolojik yorumu ve inceleme alanındaki muhtemel tuz diyapirinin derinliği (bkz. Şekil 12).

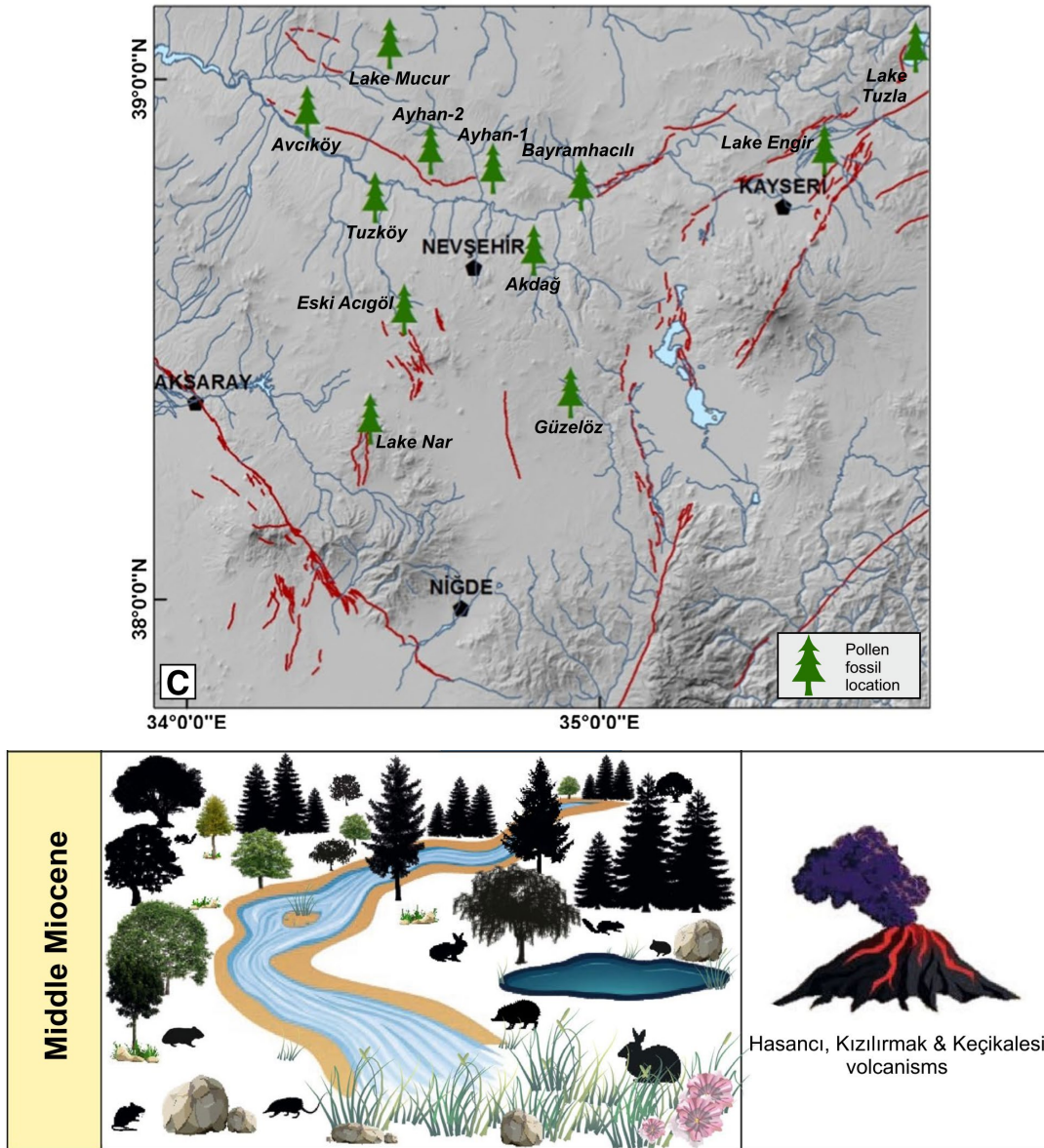
3.4. Çalışma Alanındaki Hidrokarbonların Kavramsal Oluşum, Göç ve Kapanlanma Modeli

Özdemir ve Palabıyık [76,77], petrol kaynak kayasının okyanus ortası sırtlarda ve kıta içi riftlerde (yayıma merkezleri) oluştuğunu belirtmiştir. Dolayısıyla, çalışma alanında olasılıkla Alt (?) -Orta Miyosen dönemindeki genişleme rejimine eşlik eden Hasandağı, Kızılırmak ve Keçikalesi volkanizmaları su örneklerindeki hidrokarbonları türeten kaynak kayaların oluşumuna neden olmuş olmalıdır (Şekil 1 ve 17). Tüm Neojen ve Kuvaterner dönemlerindeki yoğun volkanik faaliyetlerin [78], ayrıca su numunelerinde belirlenen hidrokarbonların olgunlaşmasında da etkili olduğu düşünülmektedir.



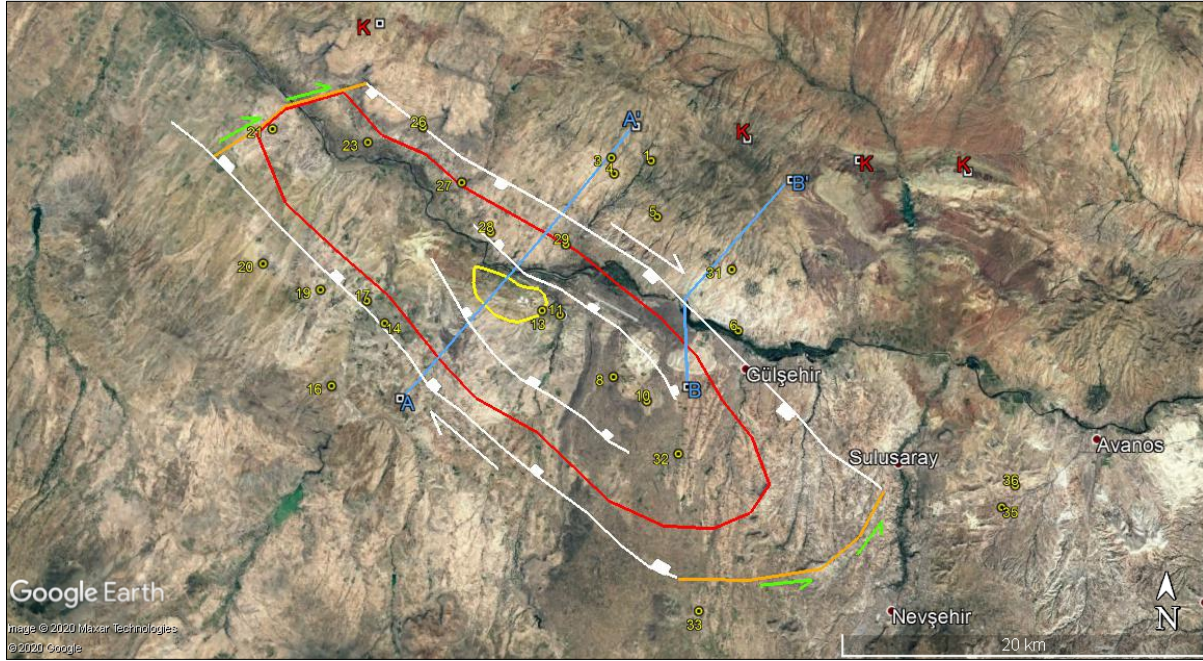
Şekil 17. Volkanik bir havza boyunca sil ve daykları gösteren şematik enine kesit. Magmatik sokulumlarla ısıtılan sedimaner kayaçların kimyasal bileşimi, metamorfik akışkan bileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, organik maddece zengin şeyl, kontak metamorfizması sırasında CH₄ üretirken, kömür CO₂ kaynaklı akışkanlar ve ayrıca su üretilir. Sil yerleşimi olan birçok sedimaner havzada, hidrojen zengin kerojen ve petrol ve gaz birikimleri bulunabilir ve havzadaki akışkanlarda, metan (CH₄) ve etan (C₂H₆) gibi gazlar zenginleşebilir [87]. (a: [87]; b: [88]'den değiştirilerek alınmıştır).

Çalışma alanının komşu havzası olan Ayhan havzasında; Avcıköy, Alemlı, Dadağı ve Ayhan köyleri ve civarında bataklık ortamını karakterize eden bitümlü şeyl oluşumları ve işletilen kömür yatakları bulunmaktadır (Şekil 1 ve 18). Ayhan Havzası'nda, Orta Miyosen'de kısmi bir göl-bataklık ortamı hakim olmuştur. Havzadaki kömürlü birimler, bu ortamda çökelmiştir. Linyit damarları, 80-100 cm kalınlıkta olup, ısı değerleri de oldukça yüksektir (5000 kcal civarındadır) [1,79-86]. Su numunelerinde belirlenen n-alkan hidrokarbonlar, baskın olarak bataklık-kömür tipi organik maddeden (Tip-III kerojen) türemiş olgun petrol hidrokarbonlarıdır (Şekil 9). Dolayısıyla, su numunelerindeki hidrokarbonlar komşu Ayhan havzasındaki ve Kuyulukışla grabenindeki kömür yataklarından çalışma alanına göçmüş olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir olasılık ise, Kızılırmak grabenindeki veya Derinkuyu havzasındaki olası kömür yataklarından türemiş olabilecekleridir. Gürbüz ve diğ. [78], yaptıkları paleontolojik ve palinolojik çalışmada Alt (?) - Orta Miyosen döneminde çalışma alanı ve civarında bir bataklık ortamının bulunduğunu ve bu döneme ait birimlerin linyit damarları içerdiğini belirtmişlerdir (Şekil 18).



Şekil 18. Çalışma alanı ve civarının jeolojik birim, volkanik yaş ve palinolojik verileri baz alınarak Orta Miyosen dönemi paleortam kurgusu ([78]'den).

Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında çalışan bir petrol sistemi için önemli bir kanıt olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada hazırlanmış olan manyetik ve gravite haritaları ile grabende baskın olarak KB-GD doğrultulu hidrokarbonların kapanabileceği ve korunabileceği doğrultu atımlı faylarla sınırlanmış olan olası bir tuz diyapiri yapısı belirlenmiştir. Bu tuz diyapiri etrafındaki yapılar, olası doğalgaz rezervuarlarıdır (Şekil 16 ve 19). Ana yapının iki doğrultu atımlı fay zonu arasında olması, bu yapıda hidrokarbonların kapanmış ve birikmiş olma olasılığını güçlendirmektedir. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar, gravite ve manyetik haritalarla belirlenen olası rezervuar(lar) dan yüzeye/yüzeğe yakın bölümlere göçmüş ve sığ yüzey ve yeraltı suları ile karışmış olmalıdır.



Şekil 19. Kızılırmak Grabeni'ndeki olası doğalgaz kapanı (kırmızı renkli poligon). Petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri: sarı renkli rakamlı daireler, beyaz renkli çizgiler: oblik doğrultu atımlı faylar (tırnaklar, düşen tarafı göstermektedir), sarı renkli poligon: Tuzköy tuz madeni, K: kömür sahası, A-A' ve B-B': jeolojik kesit hatları (Şekil 2), A-A' hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 14).

4. Sonuç

Kızılırmak Grabeni'nin petrol ve doğalgaz potansiyelinin su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde yapılan TPH analizleri ile araştırılması amaçlanan çalışmada, toplanan su numunelerinde yapılan TPH analizi sonuçlarına göre, 25 adet su numunesinin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. TPH değerleri, yüzey ve yeraltısularında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksek olarak gözlenmektedir. Su numunelerindeki n-alkanların kaynağı, petrojenik hidrokarbonlar ve organik maddece zengin yaşlı sedimanlar olarak değerlendirilmiştir. Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Hidrokarbonlar, biyolojik olarak bozunmamış olup, hidrokarbonları türeten kaynak kayaların baskın olarak bataklık ortamında (Tip-III kerojen, gaz eğilimli) çökeldiği ve hidrokarbonların olgun olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen olgun hidrokarbonlar, çalışma alanının gravite ve manyetik haritaları ile belirlenmiş olan olası tuz diyapiri ile ilişkili çalışan petrol sistemi için bir kanıttır. Bu tuz diyapiri etrafındaki yapılar, olası doğalgaz rezervuarları olarak değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Su numunelerin laboratuvar analizlerini titizlikle yapan başta Sn. Serkan ÇELEBİ olmak üzere SGS Supervise Gözetleme Etüt Kontrol Servisleri A.Ş. uzmanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Demircioğlu R. Gölşehir - Özkonak (Nevşehir) Çevresinde Kırşehir Masifi ve Örtü Birimlerinin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. Selçuk Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. 2014, 232 s.
- [2] Koçyiğit A, Doğan U. Strike-slip neotectonic regime and related structures in the Cappadocia region: a case study in the Salanda basin, Central Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 2016, 25: 393-417.
- [3] Kayhan M. Türkiye Tuz Envanteri. MTA Yayını No: 164, 1976, 78 s.
- [4] Kayakıran S. Gölşehir Kaya Tuzlası Etüt ve Aramaları (1977 ve 1978 Yılları Çalışmaları). MTA Rapor No: 6606, 1979.
- [5] Ünüçok C. Tuzköy Kaya Tuzlası'nın (Nevşehir-Gölşehir) Jeolojik Etüt ve Rezerv Raporu, Rapor No: 7897, 1985.
- [6] Barutođlu Ö.H. Türkiye Tuz Yatakları. Bilimsel Madencilik Dergisi 1961, 1(2): 68-78.
- [7] Burkay İ, Önder İ. Gölşehir-Tuzköy Kayatuzlası Tuz Aramaları Rezistivite Etüdü. MTA Rapor No: 7875, 1986.
- [8] Bilginer Ö. Nevşehir-Gölşehir-Tuzköy Tuzlası Jeoelektrik Etüdü. MTA Rapor No: 7270, 1982.
- [9] Eymold WK, Swana K, Moore MT, Whyte CJ, Harkness JS, Talma S, Murray R, Moortgat JB, Miller J, Vengosh A, Darrah TH, Hydrocarbon-rich groundwater above shale-gas formations: A Karoo basin case study. Groundwater 2018, 56(2): 204-224.
- [10] Kreuzer RL, Darrah TH, Grove BS, Moore MT, Warner NR, Eymold WK, Poreda RJ. Structural and hydrogeological controls on hydrocarbon and brine migration into drinking water aquifers in Southern New York. Groundwater 2018, 56(2): 225-244
- [11] Dultsev FF, Chernykh AV. Geochemistry of water-dissolved gases of oil-and-gas bearing deposits in Northern and Arctic Regions of Western Siberia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2020, 459: 042024, doi:10.1088/1755-1315/459/4/042024
- [12] Özdemir A, Palabıyık Y. Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen jeolojik zaman aralığındaki petrol ve doğalgaz kaynak kaya varlığının paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ışığında kapsamlı bir değerlendirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020 (baskıda)
- [13] Özdemir A. Hasanođlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019, 25(6): 748-763.
- [14] Özdemir A. Mamak (Ankara) çalışan petrol sisteminin jeokimyasal kanıtı olarak olgun hidrokarbonlarca zengin sular ve bölgedeki potansiyel kapan alanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019, 17: 244-260.
- [15] Özdemir A. Büyük Menderes grabeni (Batı Anadolu) Neojen öncesi petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları ve potansiyel kapanlar. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019, 16: 325-354.
- [16] Palabıyık Y, Özdemir A. Türkiye'de petrol ve doğalgaz aranması için suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin kullanımı: Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'dan örnek çalışmalar ve önemli sonuçlar. Türkiye IV. Bilimsel ve Teknik Petrol Kongresi, 18-20 Kasım 2020, Ankara (baskıda).
- [17] Özdemir A, Karataş A, Palabıyık Y, Yaşar E, Sahinoglu A. Oil and gas exploration in Seferihisar Uplift (Western Turkey) containing an operable-size gold deposit: Geochemical evidence for the presence of a working petroleum system. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 2020, 6(1): Doi: 10.1007/s40948-020-00152-2.
- [18] Özdemir A, Palabıyık Y, Karataş A, Sahinoglu A. Organic geochemical evidence of the working petroleum system in Beypazarı Neogene Basin and potential traps (Northwest Central Anatolia, Turkey). Turkish Journal of Geosciences 2020, 1(2): 35-52.
- [19] Özdemir A, Palabıyık Y. Doğu Pontidler'de olasılıkla Jura-Kretase riftleşmeleri ile ilişkili hidrokarbon oluşumu ve türümü için bulgular. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda).

- [20] Özdemir A. Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin petrol ve doğalgaz arama amaçlı kullanımı: Türkiye’den ilk önemli sonuçlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2018, 6(4), 615-636.
- [21] Liu S, Qi S, Luo Z, Liu F, Ding Y, Huang H, Chen Z, Cheng S. The origin of high hydrocarbon groundwater in shallow Triassic aquifer in Northwest Guizhou, China. *Environmental Geochemistry and Health* 2018, 40(1): 415-433.
- [22] Hunt JM. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company, New York, 1995, 743 p.
- [23] Zemo DA, Foote GR. The technical case eliminating the use of the TPH analysis in assessing and regulating dissolved petroleum hydrocarbons in groundwater. *Ground Water Monitoring & Remediation* 2003, 23(3): 95-104.
- [24] Tarım ve Orman Bakanlığı, 2004. Türkiye Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/08/20160810-9.htm>
- [25] Tarım ve Orman Bakanlığı, 2004. Türkiye Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.7221&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- [26] Bray EE, Evans ED. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 1961, 22: 2-15.
- [27] Bray EE, Evans ED. Hydrocarbons in non-reservoir-rock source beds: Part 1. *AAPG Bulletin* 1965, 49: 248-257.
- [28] Bourbonniere RA, Meyers PA. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of lakes Ontario and Erie. *Limn Ocean* 1996, 41: 352-359.
- [29] Mille G, Asia L, Guiliano M, Malleret L, Doumenq P. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin* 2007, 54: 566-575.
- [30] Peters KE, Walters CC, Moldowan JM. *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*, 2nd Ed., Cambridge University Press, 2005, 1155 p.
- [31] Ficken KJ, Li B, Swain DL, Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary inputs of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry* 2000, 31: 745-749.
- [32] Zheng Y, Zhou W, Meyers PA, Xie S. Lipid biomarkers in the Zoigê- Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China. *Organic Geochemistry* 2007, 38: 1927-1940.
- [33] Tissot BP, Welte DH, *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, 1984, 699 p.
- [34] Peters KE, Moldowan JM. *The Biomarker Guide, Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs, Jersey, Prentice Hall, 1993, 339-363.
- [35] Tran KL, Philippe B, *Oil and rock extract analysis*. in *Applied Petroleum Geochemistry* (M.L., Bordenave, eds.), 1993, 373-394.
- [36] Beyer J, Jonsson G, Porte C, Krahn MM, Ariese F. Analytical methods for determining metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollutants in fish bile: a review. *Environ. Toxicol Pharmacol*, 2010, 30(3): 224-244.
- [37] Cranwell PA, Eglinton G, Robinson N. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments-2. *Organic Geochemistry* 1987, 11: 513-527.
- [38] Goossens H, Duren C, De Leeuw JW, Schenck PA. Lipids and their mode of occurrence in bacteria and sediments-2. Lipids in the sediment of a stratified, freshwater lake. *Organic Geochemistry* 1989, 14: 27-41.
- [39] Meyers PA, Ishiwatari R, *Lacustrine organic geochemistry-an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments*. *Organic Geochemistry* 1993, 20: 867-900.
- [40] Kroon J. *Biomarkers in the Lower Huron Shale (Upper Devonian) As Indicators of Organic Matter Source, Depositional Environment, and Thermal Maturity*. Clemson University, MSc. Thesis, 2011, 107 p.
- [41] Forster A, Sturt H, Meyers PA, *Molecular biogeochemistry of Cretaceous black shales from the Demerara Rise: Preliminary shipboard results from sites 1257 and 1258, Leg 207*. in *Erbacher J, Mosher DC, Malone MJ, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports: 2004, 207: 1-22*.

- [42] Onojake MC, Osuji LC, Oforika NC. Preliminary hydrocarbon analysis of crude oils from Umutu/Bomu fields, south west Niger Delta, Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum* 2013, 22: 217-224
- [43] Hartkopf-Fröder C, Kloppisch M, Mann U, Neumann-Mahlkau P, Schaefer RG, Wilkes H, The end-Frasnian mass extinction in the Eifel Mountains, Germany: new insights from organic matter composition and preservation. *Geological Society, London, Special Publications* 2007, 278: 173-196.
- [44] Waples DW. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Development Corp., 1985, 232 p.
- [45] Didyk BM, Simoneit BRT, Brassel SC, Englington G. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 1978, 272: 216-222.
- [46] Volkman JK, Maxwell JR, Acyclic isoprenoids as biological markers. In: *Biological Markers in the Sedimentary Record* (R.B. Johns, eds.), Elsevier, New York, 1986, 1-42.
- [47] Shanmugam G. Significance of coniferous rain forests and related oil, Gippsland Basin, Australia. *AAPG Bulletin* 1985, 69: 1241-1254.
- [48] Syaifudin M, Eddy A, Subroto EA, Noeradi D, Kesumajana AHP. Characterization and correlation study of source rocks and oils in Kuang area, South Sumatra basin: The potential of Lemat formation as hydrocarbon source rocks. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015, IPA15-G-034*
- [49] Larasati D, Suprayogi K., Akbar A. Crude oil characterization of Tarakan basin: Application of biomarkers. *The 9th International Conference on Petroleum Geochemistry in the Africa - Asia Region Bandung, Indonesia, 15 -17 November 2016*
- [50] Devi EA, Rachman F, Satyana AH, Fahrudin, Setyawan R. Geochemistry of Mudi and Sukowati oils, East Java basin and their correlative source rocks: Biomarkers and isotopic characterisation. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Forty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2018*
- [51] Banga T, Capuano RM, Bissada KK. Petroleum generation in the southeast Texas basin: Implications for hydrocarbon occurrence at the South Liberty salt dome. *AAPG Bulletin* 2011, 95(7): 1257-1291.
- [52] Hakimi MH, Al-Matary AM, Ahmed A. Bulk geochemical characteristics and carbon isotope composition of oils from the Sayhut sub-basin in the Gulf of Aden with emphasis on organic matter input, age and maturity. *Egyptian Journal of Petroleum* 2018, 27(3): 361-370.
- [53] Nettleton LL. *Gravity and Magnetics in Oil Prospecting*. McGraw-Hill, 1976, 464 p.
- [54] Geist EL, Childs JR, Scholl DW. Evolution and petroleum geology of Amlia and Amukta intra-arc summit basins, Aleutian Ridge. *Marine and Petroleum Geology* 1987, 4: 334-352.
- [55] Lyatsky HV, Thurston JB, Brown RJ, Lyatsky VB, Hydrocarbon exploration applications of potential field horizontal gradient vector maps. *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder* 1992, 17(9): 10-15.
- [56] Gadirov VG, Eppelbaum LV, Kuderavets RS, Menshov OI, Gadirov KV. Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine, *Acta Geophysica* 2018, doi: 10.1007/s11600-018-0224-0
- [57] Gadirov VG, Eppelbaum LV. Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas. *Oil and Gas Journal* 2012, 5: 60-73.
- [58] Gadirov VG. The physical-geological principles of application of gravity and magnetic prospecting in searching oil and gas deposits. *Proceed. of 10th Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, 1994, 197-203.*
- [59] Piskarev AL, Tchernyshev MY. Magnetic and gravity anomaly patterns related to hydrocarbon fields in northern West Siberia. *Geophysics* 1997, 62(3): 831-841.
- [60] Aydın A. Gravite Verilerinin Normalize Edilmiş Tam Gradyan, Varyasyon ve İstatistik Yöntemleri ile Hidrokarbon Açısından Değerlendirilmesi, Model Çalışmalar ve Hasankale-Horasan (Erzurum) Havzasına Uygulanması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 1997, 151 s.*

- [61] Aydın A. Gravite anomalilerinin doğrudan yorum yöntemleri ile değerlendirilmesi: Hasankale-Horasan bölgesinden bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2004, 11(1): 95-102.
- [62] Satyana AH. Subvolcanic hydrocarbon prospectivity of Java: Opportunities and challenges. Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015. IPA15-G-105.
- [63] Eke PO, Okeke FN. Identification of hydrocarbon regions in Southern Niger Delta Basin of Nigeria from potential field data. International Journal of Scientific and Technology Research 2016, 5(11): 96-99.
- [64] Stephen OI, Iduma U. Hydrocarbon potential of Nigeria's Inland Basin: Case study of Afikpo basin. Journal of Applied Geology and Geophysics 2018, 6(4): 1-24.
- [65] Sharma PV. Geophysical Methods in Geology (2nd Edition). Elsevier, 1986, 442 p.
- [66] Blood MF. Exploration for a frontier salt basin in Southwest Oman. The Leading Edge, 2001, November, 1252-1259.
- [67] Jallouli C, Chikhaoui M, Braham A, Turki MM, Mickus K, Benassi R. Evidence for Triassic salt domes in the Tunisian Atlas from gravity and geological data. Tectonophysics 2005, 396: 209-225.
- [68] Pinto V, Casas A, Rivero L, Torne M. 3D gravity modeling of the Triassic salt diapirs of the Cubeta Alavesa (northern Spain). Tectonophysics 2005, 405: 65-75.
- [69] Stadler C, Fichler C, Hokstad K, Myrland EA, Wienecke S, Fotland B. Improved salt imaging in a basin context by high resolution potential field data: Nordkapp Basin, Barents Sea. Geophysical Prospecting, 2014, 62: 615-630.
- [70] Nava-Flores M, Ortiz-Aleman C, Orozco-del-Castillo MG, Urrutia-Fucugauchi J, Rodriguez-Castellanos A, Couder-Castañeda C, Trujillo-Alcantara A, 3D Gravity Modeling of Complex Salt Features in the Southern Gulf of Mexico. International Journal of Geophysics, 2016, Article ID 1702164, 12 p.
- [71] Constantino RR, Molina EC, de Souza IA, Vincentelli MGC. Salt structures from inversion of residual gravity anomalies: application in Santos Basin, Brazil. Brazilian Journal of Geology 2019, 49(1), DOI: 10.1590/2317-4889201920180087
- [72] Pourreza S, Hajizadeh F. Reziidüel gravite alanı verilerinden 2 boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan ters çözüm modelini kullanarak bir tuz domunun simülasyonu. MTA Dergisi 2019, 160: 231-244
- [73] Koşaroğlu S, Buyuksarac A, Aydemir A. Modeling of shallow structures in the Cappadocia region using gravity and aeromagnetic anomalies. Journal of Asian Earth Sciences 2016, 124: 214-226.
- [74] Svancara J. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. Geophysics 1983, 48(3): 361-366.
- [75] Töpfer KD. Improved technique for rapid interpretation of gravity anomalies caused by two-dimensional sedimentary basins. Journal of Geophysics, 1977, 43: 645-654 (in Svancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. Geophysics 48(3): 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>).
- [76] Özdemir A, Palabıyık Y. Petrol ve doğalgaz kaynak kayası, ofiyolitler, manto sorgucu ve toplu yokolma arasındaki ilişkilere göre Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda)
- [77] Özdemir A, Palabıyık Y. Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen jeolojik zaman aralığındaki petrol ve doğalgaz kaynak kaya varlığının paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ışığında kapsamlı bir değerlendirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020 (baskıda).
- [78] Gürbüz A, Saraç G, Yavuz N. Paleoenvironments of the Cappadocia region during the Neogene and Quaternary, central Turkey. Med. Geosc. Rev. 2019, 1: 271-296
- [79] Erguvanlı K. Kırşehir Doğusunun Jeolojik Etüdü. MTA Rapor No: 2373, 1954.
- [80] Reul K. Kayseri Etrafındaki Linyit Zuhurları. MTA Rapor No: 2240, 1954.
- [81] Becker H. Gülşehir ve Hacıbektaş Arasındaki Bölgenin (Kayseri'nin Batısı) Jeolojisi ve Linyit Zuhurları. MTA Rapor No: 2578, 1956.
- [82] Lebküchner RF. Kayseri ve Avanos-Ürgüp Havalisi ile Boğazlıyan Havalisinin Jeolojisi. MTA Rapor No: 2656, 1957.

- [83] Wedding H. Dadağı (Nevşehir-Gölşehir) Kömür Zuhuru ile İlgili Bir Prospeksiyon. MTA Rapor No. 3927, 1967.
- [84] Inoue E. Dadağı-Arafa Kömür Sahasının Jeoloji ve Kömür Rezervleri. MTA Rapor No: 3948, 1967.
- [85] Akgün F, Olgun E, Kuşçu İ, Toprak V, Göncüođlu MC. Orta Anadolu Kristalen Kompleksinin ‘‘Oligo-Miyosen’’ örtüsünün stratigrafisi, çökeltme ortamı ve gerçek yaşına ilişkin yeni bulgular. TPJD Bülteni 1995, 6(1): 51-68
- [86] Taka M, Dümenci S, Kalkan İ, Şener M. Orta Anadolu Kristalen Kompleksi Tersiyer Örtüsünün Sedimantoloji ve Kömür Potansiyeli. MTA Rapor No: 10722, 2004.
- [87] Svensen H, Fristad KE, Polozov AG, Planke S. Volatile generation and release from continental large igneous provinces. In: Schmidt, A., Fristad, K.E., and Elkins-Tanton, L.T., (Eds.), Volcanism and Global Environmental Change, Cambridge University Press, UK, 2015. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415683.015>
- [88] Ogden DE, Sleep NH, Explosive eruption of coal and basalt and the end-Permian mass extinction. Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences 2011, 109(1): 59-62.

ALTI SİGMA TEKNİĞİYLE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ÇEVİRİM SÜRELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Mustafa DESTE¹, Murat KARABULUT^{2*},

^{1,2}İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Malatya,44280, Türkiye
Geliş tarihi: 01.10.2020 Kabul tarihi: 04.12.2020

ÖZET

Uluslararası ticari ilişkilerin giderek artması sonucu, işletmelerin piyasada var olması ve rekabet edebilmesi için geleneksel üretim yöntemleri yerine yeni üretim yöntemlerini öğrenmesi, uygulaması ve bunların devamlılığını sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda, getirdiği çözümlerle Altı Sigma tekniğinin, süreçlerin yeniden dizayn edilmesinde ve geliştirilmesinde işletmelerin kullandığı tekniklerin başında geldiğini ifade etmek mümkündür.

Bu çalışmada, Malatya Organize Sanayi bölgesinde faaliyet göstermekte olan bir tekstil işletmesinin süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın kapsamı, işletme için en önemli problemlerden biri olan çevrim sürelerinin iyileştirilmesi olarak belirlenmiştir. Uygulama sürecinde Altı Sigma tekniğinin Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, İyileştirme ve Kontrol Etme (TÖAİK) adımları takip edilmiştir. Bu çerçevede, ölçüm sistemleri analizi, kök neden analizi gibi tespit araçları kullanılarak, işletmenin müşterilerine gönderdiği ürünlerin çevrim sürelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma sonucunda müşteriye en çok sevk edilen 15 farklı ürünün çevrim sürelerinde iki farklı süreçte kaizen iyileştirilmesi yapılarak, işletmenin müşteri taleplerini daha kısa sürede üretmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelime: *Altı Sigma, Süreç İyileştirme, Kök-Neden Analizi*

AN APPLICATION FOR IMPROVING CYCLE TIMES IN TEXTILE SECTOR WITH SIX SIGMA TECHNIQUE

ABSTRACT

As a result of increasing international trade relations, enterprises need to learn, apply and maintain new production techniques instead of traditional production systems in order to exist and compete in the market. In this context, it is possible to express that the Six Sigma technique with the approach it has developed is one of the preferred techniques of enterprises in the redesign and development of processes.

In this study, a research was carried out to improve the processes of a textile business operating in Malatya Organized Industrial Zone. The scope of the research was determined as improving cycle times, which is one of the most important problems for the business. During the implementation process, the identification, measurement, analysis, improvement and control of the Six Sigma technique (TEVAİK) steps were followed. In this context, it is aimed to improve the cycle times of the products shipped to the customer by using detection tools such as measurement systems analysis and root cause analysis. As a result of this study, kaizen improvement was made in two different processes during the cycle times of 15 different products that were shipped to the customer, enabling the enterprise to produce customer demands in a shorter time.

Key Words: *Six Sigma, Process Improvement, Root-Cause Analysis*

¹ e-mail: mustafa.deste@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5781-6543>,

² e-mail: karabulut.murat.44@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1006-2024>,

1. Giriş

Günümüz dünyasında teknolojinin büyüyerek ivme kazanması, ticaretin ve ilişkilerin globalleşmesi, insanların birbirlerine ulaşmasının eskiye nazaran daha kolay bir hâl alması, var olma yarışını oldukça yükseltmektedir. Bu yüzden devamlı farklılaşan piyasa şartlarına uyabilmek ve yükselen rekabet yarışında ayakta kalabilmek için işletmelerin sahip olduğu kaynaklarını çok verimli kullanması gerekmektedir. Uluslararası ticaret ivmesinin sürekli yükseldiği günümüzde, işletmelerin piyasada varolabilmesi için geleneksel üretim yöntemlerinin yerine yeni üretim yöntemlerini öğrenmesi, uygulaması ve bunların devamlılığını sağlaması gerekmektedir. Eski geleneksel anlayışlar yerini düşük maliyetli, kısa teslim süreli ve iyi kalitede ürün çeşitliliğine bırakmaktadır. Rekabetin sınır tanımadığı, aynı ürünü üreten işletmelerin çoğaldığı günümüzde, müşteri istekleri en önemli ölçüt olmaktadır. Müşteriler, artık talep ettiği farklı bir ürün satın almak istemediği gibi işletmelerin israf ettiği kaynaklar için de bedel ödemekten kaçınmaktadır. Bu çerçevede, işletmelerin başvurabileceği en etkin yöntemlerden biri Altı Sigma tekniğidir. Bu nedenle, üretimdeki değişimlerle artan maliyetler, problemler ve müşteri baskısı ile karşılaşan çoğu işletme Altı Sigma tekniğini benimsemeye başlamaktadır. Altı Sigma izlediği yöntemler ile üreticilerin problemlerine kalıcı çözümler getirmekte, karmaşık yapılara müdahale ederken etkin araçlar kullanmaktadır. Altı Sigma tekniğinde, üretim merkezine müşterinin konulması, süreçlerin iyileştirilmesi, başarı ve sonucun sürekliliğinin sistematik bir şekilde sağlanması esastır.

Yapılan bu çalışmada işletmenin çözülmek istenen problemine Altı Sigma tekniği ile nasıl müdahale edilip çözüm getirileceği açıklanmıştır. Bu kapsamda, Altı Sigma ve kullanım alanları ile ilgili kavramsal bir çerçeve oluşturulduktan sonra, tekstil sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede iplik çevrim sürelerinin iyileştirilmesine yönelik Altı Sigma uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Altı Sigma tekniğini işletmelerinde kullanma gereği duyan yöneticilere yol haritası çizmek ve onlara farklı bakış açıları kazandırmak olup bu kapsamda Altı Sigma alanında literatüre katkı sağlamaktır.

2. Kavramsal Çerçeve

Altı Sigma, sürekli olarak işletmedeki tüm süreçleri geliştirme düşüncesini amaçlamaktadır. Sistemlerde daima iyileştirme imkânları olmaktadır. Önemli olan bu fırsatların bulunması ve bu fırsatları değerlendirecek sistemlerin sürece entegre edilmesidir. Altı Sigma, sanayide kayıpları azaltmak, maliyetleri düşürmek, verimliliği artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte problemlerin kaynağındaki değişkenliğin yok edilmesi, koyulan hedeflerle yönetimin gerçekleştirilmesi, sistematik, tam katılımlı ve sürekli iyileştirmenin hedeflenmesi esastır [1].

Motorola, Altı Sigma tekniğiyle kalite ve iyileştirme çalışmalarında önemli değişiklikler yapmış, büyük gelirlere elde etmiştir. Marka, 1992 yılında ortalama 5,4 sigma yeterliliğine gelmiş hatta bazı ürün ve süreçlerde bu oranı da geçmiş Altı Sigma yeterliliğine kavuşmuştur [2].

Daha önce 3,8 sigma seviyesinde olan General Electric, Altı Sigma tekniklerini süreçlerine ekleyerek 5,7 sigma seviyesine ulaşmıştır. Bu yeni sigma değerine ulaşması ve bunu takip eden iki yılda, General Electric 320 milyon dolardan fazla kazanç sağlamıştır [3].

Otomotiv sektöründe Altı Sigma tekniği ile 2.el otomobil satışının artırılmasına yönelik çalışmalar, hizmet sektöründe de bu tekniğin kullanılabilirliğine örnektir [4].

Türkiye'nin önde gelen enerji firmalarından olan Enerjisa, enerji santralinde yaptıkları çalışmada Altı Sigma tekniğini uygulamışlardır. Enerji santralinde buhar üretimi kayıplarına

sebepler veren nedenleri bulmak, üretimi etkileyen bu faktörleri iyileştirmek ve verileri istatistiksel yöntemlerle analiz ederek proje hedefine nasıl ulaştıklarını göstermişlerdir [5].

İmalat sanayinde ergonominin önemi üzerinde durmak, ergonomik risk analizleri ile risk seviyelerini belirlemek verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, Durmuşoğlu ve Keskin [6] yapmış oldukları çalışmada, yüksek riskli olan süreçlerin Altı Sigma tekniğiyle orta ve düşük seviyesine belirli bir amaçla düşürülmesinin önemi üzerinde durmuşlardır. Ayrıca iyileştirmelerin hedef koyulan yüksek risk taşıyan yerlerin %75'inde gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Uluskan [7] yapmış olduğu çalışmada Türkiye'de Altı Sigma tekniğini kullanan işletmelerin haritadaki coğrafi dağılımını bulmuş, bu haritada yer alan 1000 firma arasından 265'inin bu tekniği kullandığını belirlemiştir. Harita üzerindeki sanayi şehirlerini ve kalite danışmanlık işletmelerini birbiriyle ilişkilendirerek, Altı Sigma tekniğinin bazı sanayi şehirlerinde neden kullanılmadığını irdelemiştir.

Literatürde tekstil sektöründe maliyetlerin en aza indirgenmesine yönelik bir çok farklı bakış açısıyla gerçekleştirilen çalışma bulunmaktadır [8, 9, 10]. Bu çalışmaların yanısıra Altı Sigma Tekniğininde tekstil sektöründe başarıyla uygulandığını ifade etmek mümkündür. Tekstil Sektörü öncülerinden Coats, Yünsa, Bossa, Kordsa, Söktaş ve Sasa Polyester 6σ'yı benimseyen işletmeler arasında yer almaktadır. Bir Sabancı kuruluşu olan Kordsa tekstil işletmesinde 2002 yılında gerçekleştirilen beş Altı Sigma projesinden yaklaşık 670 bin \$ kazanç elde edilmiştir [11].

Öztürk vd. [12] yaptıkları çalışmada, Altı Sigma tekniğinin tekstil sektöründe de başarıyla uygulandığını ortaya koymuşlardır. Örneğin, Bursa'daki Yeşim Tekstil A.Ş.'de Altı Sigma çalışmaları kapsamında şirketin hazır giyim bölümünde kalite, maliyet ve verimlilik konularında üç yıl içinde 657 kaizen (iyileştirme) çalışması yapıldığını ve bu çalışmalardan elde edilen kazancın 926.571 TL olduğunu belirtmişlerdir.

Bircan ve Köse [13] yaptıkları çalışmada Sivas ve Kayseri şehirlerinde içinde tekstil sektörünün de olduğu sanayi işletmelerinin üretim yönetim sistemlerini incelemişlerdir. Bu doğrultuda işletmelerin toplam kalite yöntemini ne kadar uygulayabildikleri, toplam kaliteyi arttırmak için yapılan çalışmaların boyutları, Altı Sigma tekniği konusunda ne düşündükleri ve Altı Sigma tekniğini uygulamaya ne kadar hazır olduklarını ölçmek için çalışma yapmışlardır.

Öncül vd. [14] hazır giyim sektöründe Altı Sigma tekniğini kullanmış, üretim hatalarını azaltmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını gerçekleştirdikleri konfeksiyon işletmesinde Altı Sigma tekniğinin TÖAİK metodolojisinden yararlanıp hataları en aza indirmek ve daha kaliteli ürünler üreterek verimliliği artırmayı hedeflemişlerdir.

İşler ve Güner [15] tarafından tekstil sektöründe yapılan bir çalışmada ise Altı Sigma tekniğinin; üretim plânlamada daha çok emek isteyen işlerin çevrim zamanını aşmayacak şekilde üretimde dengelenmesinde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Koska vd. [16] bir tekstil işletmesinde Altı Sigma tekniğinin faaliyet performansına olan etkisini incelemişlerdir. Araştırma Kahramanmaraş ilinde faaliyet gösteren tekstil üretim işletmelerinde anket yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Altı Sigma uygulamaları ile operasyonel performans arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

3. Uygulama

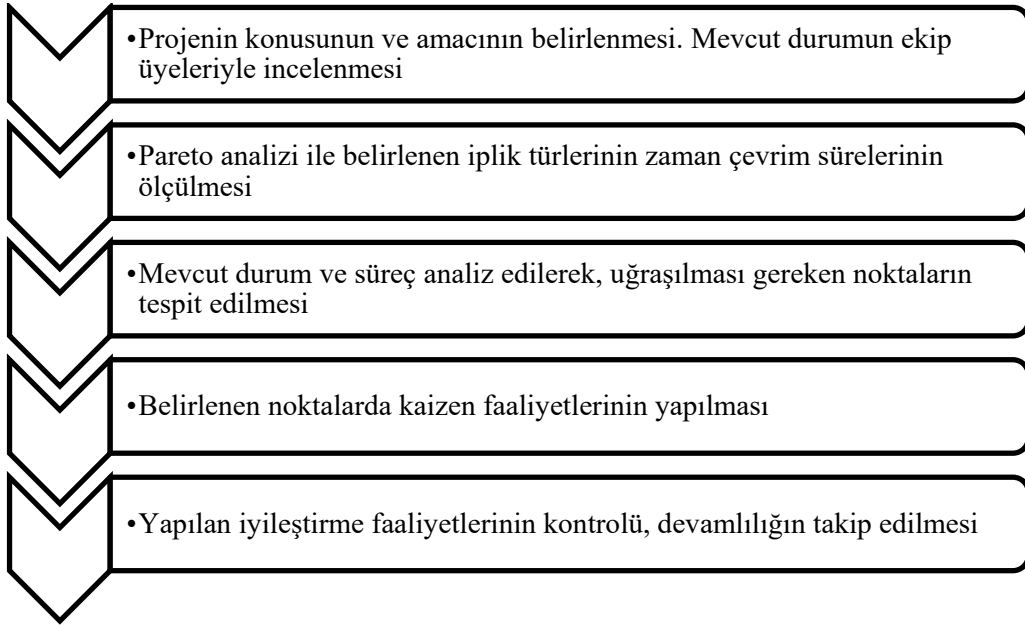
3.1. Yöntem

Malatya Organize Sanayi'nde faaliyetlerini sürdüren tekstil işletmesinde yapılan bu uygulama çalışması için Altı Sigma tekniğinden faydalanılmıştır.

Altı Sigma metodolojisini, üretim, finans, sağlık sektörleri önde olmak üzere bütün sektörlerde olan işletmeler kullanabilmektedir [17]. Altı Sigma tekniğini uygulayan işletmeler, süreçlerin verimlilik değerlerini sigma seviyesi adındaki bir parametreyle izlemektedir. Sigma, istatistik biliminde bir değişkenliğin ölçüsü olan standart sapmayı tanımlamakta olup, işletmelerde süreçlerin değişkenlik durumuna, hata miktarlarının ve kayıpların ne kadar olduğuna işaret etmektedir [18].

Altı Sigma, daha önceki kalite tekniklerinin en iyi taraflarını alarak kendi kapsamında bütünleştirmektedir. Toplam kalite yönetimiyle koşulların elverişli hale getirildiği bir işletmede Altı Sigma tekniğini uygulamak çok daha kolay olacaktır [19].

Bu çalışmada, Altı Sigma tekniği ile süreçleri iyileştirmek için TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) döngüsü kullanılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan bu döngünün akış şeması ve adımları sırasıyla Şekil 1'de açıklanmıştır.



Şekil 1. Uygulama Akış Şeması

Ayrıca bu çalışmada, Altı Sigma tekniğinde en sık kullanılan yöntemlerden biri olan beyin fırtınası tekniği ve sebep-sonuç diyagramı kullanılmıştır.

3.2. Tanımlama Aşaması

Tanımlama aşamasında, müşteri ihtiyaçları ile beraber çalışmanın kapsamı belirlenmiştir. İlk olarak temel sorunlar ayrıntılı olarak tanımlanmış ve planlanmıştır. Bu doğrultuda problemin çözümünde görev alacak ekip oluşturulmuştur. Yapılan uygulamanın tanımlama aşaması ise aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır:

Proje Konusu: Nihai ürün olarak müşteriye sevk edilen ipliklerin, çevrim sürelerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesidir.

Problem Tanımı: İşletmede iplik çevrim sürelerinin tanımlanmamış olması ve müşteri sipariş terminlerinin tecrübeye dayalı olarak verilmesi önemli bir problem olarak tespit edilmiştir. İşletmenin süreçlerindeki iplik çevrim sürelerinin beklenen seviyede olmaması, sürekli rekabet koşulları yükselen piyasada yön belirleyici olamama ve pazardaki liderliğini kaybetme kaygısına neden olmuştur. İlgili bölümlerin sorumlularıyla yapılan beyin fırtınası sonucunda, iyileştirilecek probleme dair ortaya çıkarılan sebeplerin kök-neden analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Problem

kapsamlı bir şekilde kök-neden analizi yapılarak irdelenmiş ve elde edilen nedenler tabloya aktarılmıştır. Bu nedenler 5 ana faktörde toplanmıştır.

Çizelge 1. Kök-Neden Analizi

	NEDENLER	Neden 1	Neden 2	Neden 3	Kök Neden
İNSAN	Tip değişimlerinin fazla olması	Müşteri istekleri	Hammadde tedarikindeki gecikmeler	Siparişin aciliyeti	Müşteriler, Tedarikçiler
	İşletme içindeki taşımalarından kaynaklanan zaman kaybı	Takım değişim sürelerinin kısa olması			Üretim Teknisyenleri ve Operatörler
MAKİNE	Makine arızalarından dolayı oluşan üretim kaybı	Gece vardiyalarında ki kalifiye personel eksikliği	Yedek malzemelerin yetersiz olması	Emniyet stok kontrolünün düzenli yapılmaması	Bakım Teknisyenleri
	Takım değişimindeki kayıp zamanlar	Takım değişim sürelerinin kısa olması			Üretim Yönetimi
ÇEVRE	İklimlendirmenin yetersiz kalması	Farklı harmanların aynı ortamda çalışması	Farklı harman çalışma alanlarının bölünmemiş olması		Üretim ortamı, üretim sorumluları
MALZEME	Klips ve kopçalardaki deformasyon	Tedarikçilerden istenen özellikte ürün gelmemesi	Klips ve kopçaların zamanında değiştirilmemesi		Tedarikçiler ve üretim teknisyenleri
METHOD	Hammadde tedarikinde yaşanan gecikmeler	Tedarikçilerin verdikleri termine uymaması	Finans tarafından ödemelerin zamanında yapılmaması	Gümrük işlemlerinin uzun sürmesi	Tedarikçiler ve yönetim

İnsan faktörüne baktığımız zaman; ilk olarak müşterilerin çok farklı ürün tiplerinde sipariş talebi geçildiği ve bundan dolayı işletme içi tip değişikliğinin bir hayli yüksek olduğu tespit edilmiştir. Makine faktöründe ise arızalardan oluşan üretim kaybı ve takım değişimindeki kayıp zamanların çevrim sürelerinin uzamasına sebep verdiği gözlemlenmiştir. Çevre faktöründe ise üretim ortamındaki iklimlendirmenin yetersiz olması reposes faaliyetlerinin yüksek olmasına sebebiyet vermiş ve çevrim süresinin uzamasına neden olmuştur. Malzeme faktöründe ise üretimdeki makine parçalarının deformasyonu ile iplik çevrim sürelerinin beklenenden daha uzun sürede gerçekleştiği belirlenmiştir. Son olarak method faktöründe üst yönetim kararlarının işletme içindeki üretimi doğrudan etkilediği ve bu konu üzerine eğilmesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında, işletmeye ekstra maliyet harcaması yaptırmadan belirlenen faktörler çerçevesinde yapılabilecek iyileştirmeler için aksiyon alınmaya başlanmıştır.

3.3. Ölçme aşaması

Mevcut süreç tüm yönleriyle ele alınmış ve iplik çevrim sürelerinin ölçümü yapılmıştır. Proje kapsamında uygulama yapılan iplik işletmesinde 04.03.2020- 31.08.2020 tarihleri arasında üretilen iplik türleri ve miktarları Pareto Grafiği ile incelenmiştir. Bu grafik sayesinde toplam üretimin %80'ini oluşturan iplik türleri belirlenmiştir. Bu ipliklerin yapılan etütler sonucu çevrim süreleri hesaplanmıştır. Toplam üretimin %80 ini oluşturan iplik türlerinin ilk üretim sürecinden son üretim sürecine kadar olan bölümlerde zaman etütleri yapılarak iplik bazında çevrim süreleri belirlenmiştir. Bu çevrim süreleri iplik türü bazında 1 kg ipliğin kaç günde üretileceği şeklinde hesaplanarak oluşturulmuştur. Yapılan etütler sonucunda toplam üretimin %80'ini oluşturan 15 farklı ürün tipinde elde edilen veriler kg/gün cinsinden Çizelge 2'de verilmektedir:

Çizelge 2. İplik Çevrim Süreleri

İPLİK KODU	SİPARİŞ MİKTARI(KG)	ÇEVİRİM SÜRESİ(GÜN)
1	1	0,002144
2	1	0,001984
3	1	0,001856
4	1	0,001856
5	1	0,001856
6	1	0,001504
7	1	0,001472
8	1	0,001472
9	1	0,00144
10	1	0,001344
11	1	0,001248
12	1	0,001088
13	1	0,002144
14	1	0,001856
15	1	0,001056

3.4. Analiz aşaması

Bu aşamada süreçten sağlanan veriler ışığında çevrim süresi uzun olan iplik türleri detaylı analiz edilmiştir. Bölüm sorumlularıyla beraber işletmenin iplik çevrim sürelerini istenen seviyeye yükseltilmesi için nasıl aksiyon alınması gerektiği belirlenmiştir. Bu çerçevede kısa sürede iyileştirilebilecek noktalarda aksiyon alınması, iyileştirilmesi uzun sürede gerçekleştirilebilecek aksiyonlarınsa sonraki zamanlara bırakılması kararlaştırılmıştır.

3.5. İyileştirme aşaması

Bu aşamada, süreci iyileştirmek adına problemin ortadan kaldırılması veya etkisinin olabildiğince azaltılması için gerekli aksiyonlar alınmıştır.

İplik üretim işletmesinde en çok üretilen tipler bazında iyileştirme aksiyonları alınmaya başlanmıştır. Bu iyileştirmeler süreçte yer alan iki üretim sürecindeki iki kaizen ile yapılmıştır. Bu kaizenler; en çok çalışan tiplerin bobin metrajlarında iyileştirme, kops çapında iyileştirme çalışmalarından oluşmaktadır. Bobin metrajlarındaki iyileştirmeye takım değişim sayısının ve işletme içi taşımaların azaltılması hedeflenmiştir. Kops çapındaki iyileştirmeye ise takım değişim süresini uzatmak ve takım değişim sayısını azaltmak hedeflenmiştir. Tip bazında yapılan iyileştirmelerde, işletme prosedürü gereği iplik kodları ve iplik üretim miktarları verilmemiş, bunun yerine 1-15 arası rakamlar veriler iplikler tasnif edilmiştir. Yapılan kaizen çalışmaları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

3.5.1. Kaizen 1

Problem: Takım değişiminde yaşanan kayıp zamanlar, işletme içinde taşımalarından kaynaklanan kayıp zamanlardan dolayı verimlilik kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir:

Çözüm: İplik bobin metrajları artırılarak, aynı üretim tonajı; daha az takım değişimi ve daha az bobin üretimiyle sağlanmıştır. Bu şekilde taşıma sürelerinden kaynaklanan kayıp zamanlar azaltılmış, malzeme sarfiyatından önemli bir kazanım

elde edilmiştir. Örneğin 1 nolu iplik kodundaki üründe 1 kg iplik 0,002144 günde üretiliyorken bobin metrajının artırılması sonucu 1 kg iplik 0,002128 günde üretilir duruma gelmiştir. Bu 1 kg bazındaki iyileştirme süresi bu ipliğin aylık üretimi baz alındığında işletmeye aylık olarak 20 saat kazanç sağlamıştır. Yine aynı iyileştirmede daha az bobin üretimiyle aynı sipariş tonajları yakalandığından bobinlerin yerleştiği palet sayısında önemli kazanç sağlanmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında 15 farklı tipte yapılan bu kaizen iyileştirmesinin sonucu ve elde edilen kazançları Çizelge 3'te gösterilmiştir:

Çizelge 3. Bobin metrajında yapılan iyileştirmelerin katkısı

İPLİK	İPLİK İŞLETMESİNE KATKISI(SAAT)	MALZEME SARFIYAT KAZANCI
1	20	33 PALET
2	10	14 PALET
3	4,2	9 PALET
4	2,55	5 PALET
5	2,56	5 PALET
6	2,82	6 PALET
7	7,5	16 PALET
8	7,02	1 PALET
9	8,3	35 PALET
10	3,1	1 PALET
11	2,46	4 PALET
12	1,9	4 PALET
13	1,47	4 PALET
14	1,25	3 PALET
15	0,133	1 PALET

3.5.2. Kaizen 2

Problem: Takım değişiminde yaşanan kayıp zamanlar ve işletme içinde taşımalarından kaynaklanan kayıp zamanlardan dolayı verimlilik kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir.

Çözüm: Ring kops çapları artırılarak, aynı üretim tonajı; daha az takım değişimi ve daha az kops üretimiyle sağlanacağından taşıma sürelerinden kaynaklanan kayıp zamanlar azaltılıp, aynı zaman diliminde daha fazla üretim alınarak önemli bir kazanım elde edilmiştir.

Örneğin 1 nolu iplik kodundaki ürünün ring makinesi bileziği 50 mm'dir. İlk artırma değerinin (pranganın yukarı-aşağı hareket hızı ya da kops sarım hızı) 28 olduğu tespit edilmiştir. Üretimden çıkan ilk partiden 10 adet kops alınarak çap ölçümü yapılmıştır. Normalde olması gereken çap miktarı $(50-2)*10=480$ 'ken yapılan ölçümün bu oranın altında kaldığı belirlenmiştir. 10 adet kops ağırlığının toplam gramajı ise 1660 gr olduğu ve takım değişim süresinin 140 dk olduğu belirlenmiştir. Artırma değeri 26 olarak değiştirildiğinde yapılan değişiklik sonucu takım değişim süresini 150 dk'da tamamladığı tespit edilmiştir. 10 adet kops alınarak kops

çaplarında yapılan ölçüm sonucu kops çap miktarlarının toplamda 480 mm olduğu ve istenen düzeye geldiği tespit edilmiştir. 10 tane kopsun toplam gramajının 1684 gr olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumda günde $1440/140 = 10,3$ takım değişimi yapılır ve her takım değişiminde $11*5=55$ dk kayıp zaman yaşanır. İyileştirilmiş durumda günde $1440/150 = 9,6$ takım değişimi yapıp $10*5 = 50$ dk kayıp zaman olduğu gözlemlenmiştir. Sadece bu tipe özgü olarak 5 dk'lık kazanç elde edilmiştir. Aylık bazda 28 gün üzerinden $(5*28) = 2,3$ saat kazanç sağlanmıştır. Yine 1 nolu ürün bazında yapılan kaizen iyileştirmesinin işletmeye 1 nolu ürün bazında aylık üretim tonajı katkısı 127 kg'dır. Tüm bu bilgiler ışığında 5 farklı tipte yapılan bu kaizen iyileştirmesinin sonucu ve elde edilen kazançları Çizelge 4'te gösterilmiştir:

Çizelge 4. Kops çapında yapılan iyileştirmelerin katkısı

İPLİK	BİLEZİK ÇAPİ(MM)	İLK KOPS AĞIRLIK (GR)	İLK ARTIRMA DEĞERİ	İLK ÇAPİ (MM)	SON ARTIRMA DEĞERİ	SON ÇAPİ	SON KOPS AĞIRLIK (GR)	AYLIK ÜRETİM KAZANCI(SAAT)	AYLIK ÜRETİM KAZANCI(KG)
1	50	166	28	45	26	47	168,4	2,3	127
2	50	163	47	45	46	46	167	2,3	211
3	54	179	59	47	57	48	183,5	2,3	248
4	45	124	29	41	28	42	126,6	2,3	85
5	48	169	31	44	29	45	174,9	2,3	154

3.6. Kontrol aşaması

Bu aşamada, iyileştirme aşamasında yapılan değişikliklerin etkisinin devamlılığı takip edilmiştir. Gerçekleştirilen iyileştirmelerin devamlı olması ve süreklilik kazanması adına süreçler standardize edilmiş ve devamlı kontrol edilmiştir. İplik çevrim sürelerinde yapılan optimizasyon çalışması, işletme bünyesinde üretim ve planlama bölümlerinin hedeflerinde bulunmaktadır. Süreçlerdeki kayıpları minimize etmek ve iplik çevrim sürelerini yapılan kaizen faaliyetleriyle istenilen seviyeye getirmek optimizasyon çalışmalarına örnek teşkil etmiştir. Bu veriler, aylık düzenli bir şekilde kontrol edilmiş ve iplik üretim süresi nedeniyle gecikme yaşanan tipler SAP sisteminde kayıt altına alınmıştır. Yapılan kaizen çalışmalarından sonra iplik çevrim sürelerinde iyileştirme sağlanan iplik türleri Çizelge 5'te gösterilmektedir:

Çizelge 5. İplik çevrim sürelerinde yapılan iyileştirmeler

İPLİK KODU	SİPARİŞ MİKTARI(KG)	ÖNCEKİ ÇEVİRİM SÜRESİ(GÜN)	İYİLEŞTİRİLMİŞ ÇEVİRİM SÜRESİ
1	1	0,002144	0,002128
2	1	0,001984	0,001968
3	1	0,001856	0,001824
4	1	0,001856	0,00184
5	1	0,001856	0,00184
6	1	0,001504	0,001472
7	1	0,001472	0,001456
8	1	0,001472	0,001456
9	1	0,00144	0,001392

10	1	0,001344	0,001312
11	1	0,001248	0,001216
12	1	0,001088	0,001072
13	1	0,002144	0,002128
14	1	0,001856	0,001824
15	1	0,001056	0,001024

Çizelge 5 Devamı

Bu iyileştirmelerle yıllık bazda; malzeme sarfiyatından 79.671,59 \$, iplik üretim miktarı kazancından 31.118,88 \$ olmak üzere toplamda 110.790,47 \$ kazanç elde edilmiştir.

4. Sonuç

Altı Sigma müşteri taleplerinin en kaliteli seviyede ve hatasız biçimde sağlanmasına odaklanan bir tekniktir. İşletmelerin Altı Sigma tekniğini özümseyip, tüm süreçlerinde aktif olarak kullanması piyasada rekabet etme şansını artırmış olacaktır. Bu teknik sayesinde işletmeler; yüksek kalite ve müşteri taleplerine uygun çözümler getirdiklerinden piyasada aranan işletmeler olacaklardır. Bu yüzden işletmeler Altı Sigma tekniğine büyük önem vermekte ve bu tekniği işletme süreçlerine dâhil etmek için büyük yatırımlar yapmaktadırlar.

Yapılan bu uygulama ile Malatya Organize Sanayi'nde faaliyetlerini sürdüren işletmede, Altı Sigma tekniği ile süreçleri iyileştirmek için TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) döngüsü kullanılmıştır. Öncelikle yaşanan sorun detaylı bir şekilde tanımlanmış, proje konusu ve problem tanımı yapılmış, bu doğrultuda problemin çözümünde görev alacak ekip oluşturulmuştur. İşletmenin süreçlerindeki iplik çevrim sürelerinin istenilen seviyede olmaması, sürekli rekabet koşulları artan piyasaya yön verememe ve pazardaki liderliğinden olma kaygısına neden olmuştur. İlgili bölümlerin sorumlularıyla yapılan beyin fırtınası sonucunda, iyileştirilmesi istenen probleme dair ortaya çıkarılan sebepler kök-neden analiziyle gösterilmiştir. Proje kapsamında uygulama yapılan iplik işletmesinde 04.03.2020- 31.08.2020 tarihleri arasında üretilen iplik türleri ve miktarları Pareto Grafiği ile incelenmiştir. Bu grafik sayesinde toplam üretimin %80'ini oluşturan iplik türleri belirlenmiştir. Toplam üretimin %80 ini oluşturan iplik türlerinin ilk üretim sürecinden son üretim sürecine kadar olan bölümlerde zaman etütleri yapılarak iplik bazında çevrim süreleri hesaplanmıştır. Analiz aşamasında süreçten sağlanan veriler ışığında çevrim süresi uzun olan iplik türleri detaylı olarak incelenmiştir. İplik üretim işletmesinde en çok üretilen tipler bazında iyileştirme aksiyonları alınmaya başlanmıştır. Bu iyileştirmeler süreçte yer alan iki üretim sürecindeki iki kaizen ile yapılmıştır. Bu kaizenler; en çok çalışan tiplerin bobin metrajlarında iyileştirme, kops çapında iyileştirme çalışmalarından oluşmaktadır. Bobin metrajlarındaki iyileştirmeye takım değişim sayısının ve işletme içi taşımaların azaltılması hedeflenmiştir. Kops çapındaki iyileştirmeye ise takım değişim süresini uzatmak ve takım değişim sayısını azaltmak hedeflenmiştir. Son olarak, iyileştirme aşamasında yapılan değişikliklerin etkisinin devamlılığı takip edilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin devamlı olması ve süreklilik arz etmesi için süreçler standardize edilmiş ve devamlı kontrol edilmiştir. Proje kapsamında yapılan iyileştirme faaliyetlerinin geri dönüşü proje bitiminde ve sonraki zaman diliminde çok hızlı bir şekilde alınmıştır.

İplik çevrim sürelerinin istenilen seviyede olmaması, işletmenin müşterilerine karşı olan sorumluluğu zamanında yerine getirememesi durumu geçmişten gelen bir problem ve üzerinde önemle durulması gereken bir nokta olarak görülmüştür. Bu sorun müşteri siparişlerinin geciktirilmesinde önemli problemlerden biri olarak kayda alınmıştır. Bu çalışma ile beraber problemin tanımı ve büyüklüğü net olarak ortaya konmuş ve hedefler belirlenmiştir. Süreç ile ilgili somut verileri toplamak adına uygulamalar yapılmış, bu verilerden problemin kök nedenleri açığa çıkarılmıştır. Süreç, iş akışındaki ilk operasyondan itibaren bir bütün olarak ele alınmış, işletmedeki bölüm sorumluları projeye dahil edilerek problem çözüme kavuşturulmuştur.

Problemin Altı Sigma tekniğiyle incelenmesiyle, öncelikle izlenecek adımların tüm proje ekibinin kafasında net olarak tanımlı hale getirilmesi sağlanmıştır. Kök nedenlere yönelme ve bu nedenleri sayısal verilerle destekleme sayesinde, problemden uzak alanlara kayma ve boşa enerji harcamanın, dolayısıyla problemin çözümsüz hale gelmesinin önüne geçilmiştir. Sonuç olarak Altı Sigma tekniğiyle geçmişten gelen ve çok zor görünen bir problem başarıyla çözülmüştür.

Bu çalışma tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir iplik işletmesinin çevrim sürelerini iyileştirmeye yöneliktir. Literatür incelendiğinde iplik üretim işletmelerinde daha önce yapılan bir çalışma bulunmamıştır. Ayrıca bu çalışma, benzer yapıdaki işletmeler için de bir uygulama modeli sunmaktadır. Bu kapsamda çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Altı Sigma tekniğiyle yapılacak olan benzer çalışmaların farklı sektörlerde de uygulanması hem işletme hem de müşteri açısından faydalı olacağı ve ülke ekonomisine katkıda bulunacağı gayet açıktır. Bu durum göz önünde bulundurularak sonraki araştırmacılara ilgili teknik ile işletme süreçlerinde uygulamalar yapmaları tavsiye edilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Baş T., Altı Sigma, 5.Baskı, Kalite Ofisi Yayınları, İstanbul, 2003.
- [2] Gürsakal N., Altı Sigma: Müşteri Odaklı Yönetim, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2015.
- [3] Eckes, G. (2007), Herkes İçin Altı Sigma. Çev. Adıyaman, B., MediaCat Yayınları, İstanbul, 10-11.
- [4] Firuzan, A. R., Kuvvetli, Ü., Gerger, A., (2012), Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, Journal of Yasar University, 25(7), s. 4176-4188.
- [5] Satı, Z., E., Gülay, K., (2012), Altı Sigma Yönteminin Bir Enerji Santralinde Uygulanması, Business and Economics Research Journal, 3(4), s. 143-163.
- [6] Durmuşoğlu, B. A., Keskin, G. A., (2015), Altı Sigma Yöntemi ile İmalat Sektöründe Ergonomik Risk İndirgeme Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), s.293-300.
- [7] Uluskan, M., (2017), Türkiye'nin Altı Sigma Haritası, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3), s.131-1.
- [8] Bilgiç H., Baykal P., (2017), Örnekleme Konfeksiyonunda Kumaş Eni ile Kumaş ve Model Türünün İkinci Kalite Maliyetine Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 24:106, 78-87.
- [9] Frency, Ng S. F., Hui, C. L.P. and Leaf, G. A. V., (1999), A mathematical model for predicting fabric loss during spreading, International Journal of Clothing Science and Technology, 11.2/3 pp: 76-83. 4.
- [10] Vuruşkan, A., Yazgan Bulgun, E., (2006), Hazır Giyim Ve Konfeksiyon Sektöründe Ön Maliyet Tahminleme: Ege Bölgesindeki Konfeksiyon Firmalarına Yönelik Bir Araştırma, Tekstil ve Mühendis Dergisi, Sayı 64, 48-57.
- [11] Yıldırım H., Demir M., (2007), Tekstil Sektöründe Altı Sigma Yaklaşımı, Öneri Dergisi, 7(27), s.115-127.
- [12] Atatürk Ü. İİBF Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 2011.
- [13] Bircan, H. Ve Köse, S. (2012), Altı Sigma ve Firmaların Altı Sigmaya Bakış Açısı: Sivas-Kayseri İli Örneği, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi 8/2, 107-129.
- [14] Öncül, K., Erdoğan, M.Ç. ve Güneş, M. (2014). "Hazır Giyim Üretiminde Altı Sigma Yöntemini Kullanarak Üretim Hatalarının Azaltılması: Bir Örnek Çalışma", Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 24/2, 224-227.
- [15] İşler M., Güner M., (2014) "Yalın Üretim Araçlarından Heijunka ve Konfeksiyon Uygulamaları", XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, 264-267.
- [16] Koska, A., Göksu N. ve Sünbül M.B. (2016) "Yalın Stratejinin Faaliyet Performansına Etkisi: Kahramanmaraş Tekstil İşletmelerinde Bir Uygulama", Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 13: 283-296.

- [17] Çeliknalça, F.F. (2006), "Evaluating Quality in Mass-Housing Projects Via Six Sigma: The Case of Odtükent," Yüksek Lisans Tezi,, Odtü, Ankara.
- [18] Dağlıoğlu G., İnal C., Aksoy K., (2009), Altı Sigma Nedir?, Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, sayı 18 (2), 132.
- [19] Çalışkan, G., (2006), Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 5(17), s. 60-75.

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERİN ADİYAMAN İKLİM KOŞULLARINDA YALITIM AMAÇLI KULLANIMININ İNCELENMESİ

Refet KARADAĞ¹, İsmail BOZKURT^{1*}, Zuhale KARAGÖZ GENÇ², Murat GENÇ³,
Hacı SOĞUKPINAR⁴

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

³Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

⁴Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 16.11.2020 Kabul tarihi: 26.11.2020

ÖZET

Dünya nüfusundaki artış ve fosil yakıtların kontrolsüz tüketimi enerji verimliliği konularına olan ilgiyi arttırmıştır. Fosil yakıtlar açığa çıkardığı sera gazları ile çevreyi kirletmekte aynı zamanda yenilenebilir olmadığından kısıtlı miktarda bulunmaktadır. Ülkemizdeki enerji tüketiminin büyük bir kısmını binalardaki soğutma ve ısıtma ihtiyaçları oluşturmaktadır. Bina yalıtımına gerekli özenin gösterilmesi, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Faz değiştirici maddeler (FDM), sıcaklık değişimine uğramadan, erime ve katılaşma işlemleri sırasında büyük miktarda gizli ısı soğurması ve yayması gibi özellikleri nedeniyle binalarda yalıtım amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mikrokapsüllenmiş faz değiştirici maddelerin binalarda yalıtım amaçlı kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen faz değiştiricilerin FT-IR cihazı ile kullanılan kompozitlerle faz değiştiricilerin kimyasal olarak etkileşip, etkileşmedikleri incelenerek uygun faz değiştiricilerin DSC ile erime entalpi aralıkları belirlenmiştir. Uygun erime sıcaklığı ve gizli ısı depolama kapasitesine sahip dekanolik asit faz değiştirici madde olarak belirlenmiş ve bir duvar üzerinde modellenerek ısı yalıtımına katkısı incelenmiştir. Sonuç olarak, dış yüzey sıcaklığının maksimum olduğu Temmuz ayında yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için iç yüzeyden 5 cm içerideki sıcaklıkların sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji tüketimi, Yalıtım, Faz Değiştirici Maddeler

INVESTIGATION OF THE USE OF PHASE CHANGE SUBSTANCES FOR INSULATION PURPOSES IN ADİYAMAN CLIMATE CONDITIONS

ABSTRACT

The increase in the world population and the uncontrolled consumption of fossil fuels have increased the interest in energy efficiency issues. Fossil fuels pollute the environment with the greenhouse gases they emit and also, they are limited because they are not renewable. A large part of the energy consumption in our country consists of the cooling and heating needs in buildings. Giving necessary attention to building insulation will significantly reduce energy consumption. Phase change materials (FDM) are used for insulation purposes in buildings due to their properties such as absorbing and emitting a large amount of latent heat during melting and solidification processes without a temperature difference. In this study, the usability of microencapsulated phase change materials for insulation purposes in buildings was investigated. The melting enthalpy ranges of the appropriate PCMs with DSC were determined by examining whether the obtained phase changers interact chemically with the composites used with FT-IR device. Decanoic acid, which has suitable melting temperature and latent heat storage capacity, was determined as a phase change material and its contribution to thermal insulation was

e-mail: refetkaradag@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-1169>,

* e-mail: ibozkurt@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2126-3710>,

e-mail: zgenç@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8847-9129>,

e-mail: mgenç@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1224-4128>,

e-mail: hsogukpinar@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-2005>

examined by modeling on a wall. As a result, it was determined that in July, when the external surface temperature was maximum, the temperatures inside 5 cm from the interior surface were 39.8 °C, 33 °C and 32 °C for the uninsulated, insulated and insulated + FDM-modeled walls, respectively.

Keywords: *Energy consumption, insulation, phase change materials.*

1. Giriş

Dünya nüfusundaki artışın yanı sıra teknolojik ilerlemelerle birlikte enerji kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarımızı verimli bir şekilde kullanmak gerekmektedir. Binalarda ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji toplam enerji tüketimi içerisinde oldukça yüksek bir paya sahiptir. Binalardaki enerji tüketimini azaltmak için yalıtım oldukça önemli bir parametredir. Faz değiştirici maddeler, sahip olduğu termofiziksel özellikleri nedeniyle binalarda ısı yalıtımını iyileştirme amacıyla kullanılabilir. Bu maddeler, bir fazdan diğer bir faza geçiş esnasında ısı soğurabilmekte ve bu ısıyı depolayabilmekte, tam tersi faz değişimi durumunda ise depoladığı bu ısıyı yayabilmektedir [1]. Maddelerin faz değiştirici madde olarak kullanılabilmesi için gerekli temel koşulların arasında maddenin hacminde az bir değişimin meydana gelmesi ve faz değiştirmedeki sabitlik yer almaktadır [2]. Faz değiştirici maddeler, bina duvarlarına yerleştirildiğinde, gündüzleri sıcak dış ortamdan aktarılan ısının büyük bir kısmını emer. Daha sonra gece ve sabahın erken saatlerinde emilen ısının serbest kalmasını sağlar. Sonuç olarak, zirvede olan alan-soğutma yükünün bir kısmı azaltılır ve kısmen yoğun saatlere kaydırılır. Karşılaştırma açısından Benard ve ark. [3], aynı termal performans için faz değişim malzemelerine sahip bir duvarın, bir beton duvar hacminin yaklaşık olarak on ikide birine ihtiyaç duyduğunu kanıtlamışlardır. Yapı malzemelerinde faz değiştirici maddelerin kullanımı ile ilgili yöntemler Lee ve ark. [4] tarafından çalışılmıştır. Emdirme yöntemi, faz değiştirici maddelerin gözenekli yapı malzemelerine emdirildiği bir yöntemdir. Doğrudan birleşme yöntemi, faz değiştirici maddelerin alçı, beton gibi malzemelere doğrudan eklenmesi veya yalıtım malzemelerine karıştırılması şeklindedir [5]. Faz değiştirici maddelerin polimer keseleri veya çapı 1 mm'den büyük olarak kapsüllemesi ise makro-kapsülleme yöntemidir [6]. Mikroenkapsülasyon yöntemi, faz değiştirici maddelerin 1000 µm'ye kadar boyutlarda ince ve kapalı filmlerin içine yerleştirildiği bir teknolojidir [7].

Bu çalışmada elde edilen faz değiştirici maddelerin termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Adıyaman koşullarında yazın soğutma ihtiyacını en aza indirmek için uygun termal özelliklere sahip olan dekanolik asit faz değiştirici madde olarak seçilmiştir. Aynı boyutlarda yalıtımsız bir duvar, yalıtımlı bir duvar ve faz değiştirici maddenin kullanıldığı bir duvar modellenmiş meteorolojik veriler kullanılarak duvar yüzeyi ve içerisindeki sıcaklık dağılımı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Faz Değiştirici Maddelerin Elde Edilmesi

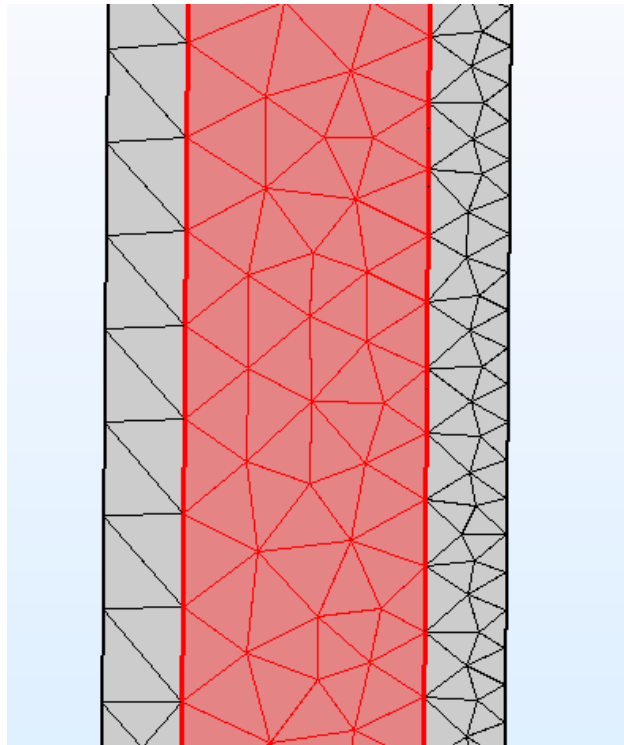
Farklı yağ asitleri kampen, dekanolik asit, miristik asit gibi, allitol, arabitol gibi alkoloidler, sodyum hidrojen fosfat, sodyum sülfat gibi metal tuzları tetraetoksisilan yardımıyla mikrokapsüllemiş. Elde edilen farklı faz değiştiricilerin entalpileri DSC ile belirlendikten sonra, FT-IR cihazı ile kullanılan kompozitlerle faz değiştiricilerin kimyasal olarak etkileşip, etkileşmedikleri incelenerek uygun faz değiştiricilerin DSC ile erime entalpi aralıkları belirlenmiştir. Uygun entalpi aralıklarına sahip olan faz değiştirici maddeler termal cyclus cihazı ile ısıtma-soğutma çevrimlerine tabi tutulmuştur. Bu çevrimler sonucu tekrar entalpi ve kimyasal yapı kontrolü için DSC ve FT-IR ölçümleri alınmıştır. Elde edilen faz değiştirici maddelerden termofiziksel özellikleri uygun olan dekanolik asitin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Faz değiştirici madde olarak kullanılan dekanolik asitin termofiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	
Erime Sıcaklığı (°C)	27-32
Gizli (Füzyon) Isısı (kJ/kg)	150,57
Katı yoğunluğu (kg/m ³)	810
Sıvı yoğunluğu (kg/m ³)	752
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,221

3. Modelleme

Isı transferi çözümlemesinde COMSOL, MUMPS, PARDISO ve SPOOLES gibi farklı çözücüler önermektedir. Bu çalışmada diğerlerine göre daha hızlı olan PARDISO çözücü olarak belirlenmiştir. Mesh modülü kullanılarak mesh sayısının sonuç üzerindeki etkisi test edilmiş ve normal mesh dağılımı kullanılmıştır. Üç farklı duvar modeli ile FDM'nin yalıtım üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Şekil 1'de model duvarın mesh dağılımı görülmektedir. Model duvar 25 cm kalınlığında üç farklı durum için tasarlanmıştır. Birinci durumda 25 cm betondan oluşan yalıtımsız duvar; ikinci durumda duvarın dış kısmı 5 cm kalınlığında köpük ile yalıtılmış geri kalan kısmı 20 cm beton; üçüncü durumda ise duvarın dış yüzeyi 5 cm köpük 15 cm beton ve iç kısmı 5 cm FDM olacak şekilde tasarlanmıştır.

**Şekil 1.** Model duvarın mesh dağılımı

Model duvarlardaki ısı transferi çözümlenmesinde COMSOL yazılımı kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı ve güneş enerjisi verileri yazılımdan zamana ve konuma bağlı olarak otomatik olarak çekilmiştir. İç ortam sıcaklığı için başlangıç değeri çevre sıcaklığı ile aynı alınmıştır. Katı ve akışkanlarda ısı transferi aşağıdaki Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır [8];

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) + \nabla \cdot (\mathbf{q} + \mathbf{q}_r) = \alpha_p T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p \right) + \tau : \nabla \mathbf{u} + Q \quad (1)$$

Burada ρ yoğunluk, C_p sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, T mutlak sıcaklık, \mathbf{u} hız vektörü, \mathbf{q} iletim yoluyla ısı akışı, \mathbf{q}_r radyasyonla ısı akışı, α_p ısıl genleşme katsayısı, p basınç, τ viskoz gerilim tensörüdür, Q viskoz yayılımından farklı ısı kaynaklarını içerir.

Faz değiştirici maddeler, hal değişimi sırasında büyük miktarda gizli ısıyı emerler veya yayarlar. Bu maddeler, faz değişim sıcaklıklarına T_{fd} ulaştığında, $T_{fd} - \Delta T/2$ 'den $T_{fd} + \Delta T/2$ 'ye sıcaklık aralığında hal değişimi başlar. Katı maddedeki faz değişimi göz önüne alındığında, yoğunluk madde çevresinde tanımlanır ve faz değişimi θ fonksiyonu ile modellenir. Bu nedenle, malzeme çevresi içinde kütle korunumunu sağlamak için katı ve sıvı fazlar için tek bir yoğunluk tanımlanmalıdır. Farklı fazların yoğunluğu sırasıyla ρ_1 ve ρ_2 olarak tanımlanır. Maddenin yoğunluğunun ifadesi Eşitlik 2'deki gibi verilir [9];

$$\rho = \theta \rho_1 + (1 - \theta) \rho_2 \quad (2)$$

Faz değiştirici maddenin spesifik entalpisi (H) Eşitlik 3'de gibi yazılır [9];

$$H = \frac{1}{\rho} (\theta \rho_1 H_{faz1} + (1 - \theta) \rho_2 H_{faz2}) \quad (3)$$

burada, H_{faz1} ve H_{faz2} her fazın spesifik entalpisidir. Özgül ısı kapasitesi, sıcaklıkla değişen entalpiye bağlı olarak hesaplanır ve bazı biçimsel dönüşümlerden sonra Eşitlik 4 ile ifade edilir [9];

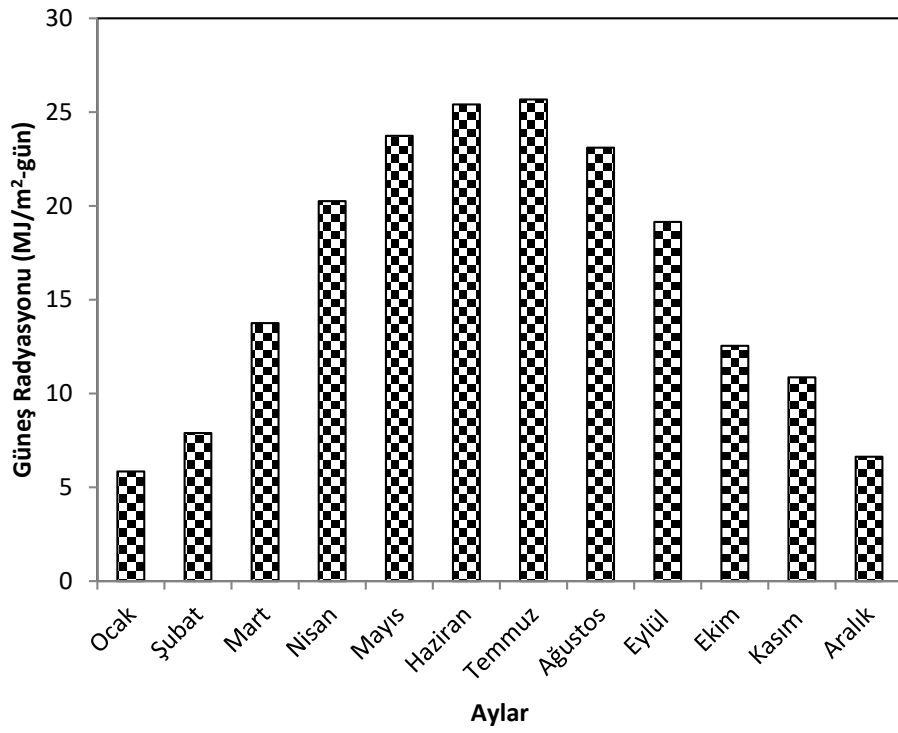
$$C_p = \frac{1}{\rho} (\theta_1 \rho_1 C_{p,faz1} + \theta_2 \rho_2 C_{p,faz2}) + (H_{faz2} - H_{faz1}) \frac{d\alpha_m}{dT} \quad (4)$$

Burada α_m , düzleştirilmiş fonksiyon ve θ , faz1 ve faz2'den tanımlanan bir kütle fonksiyonudur.

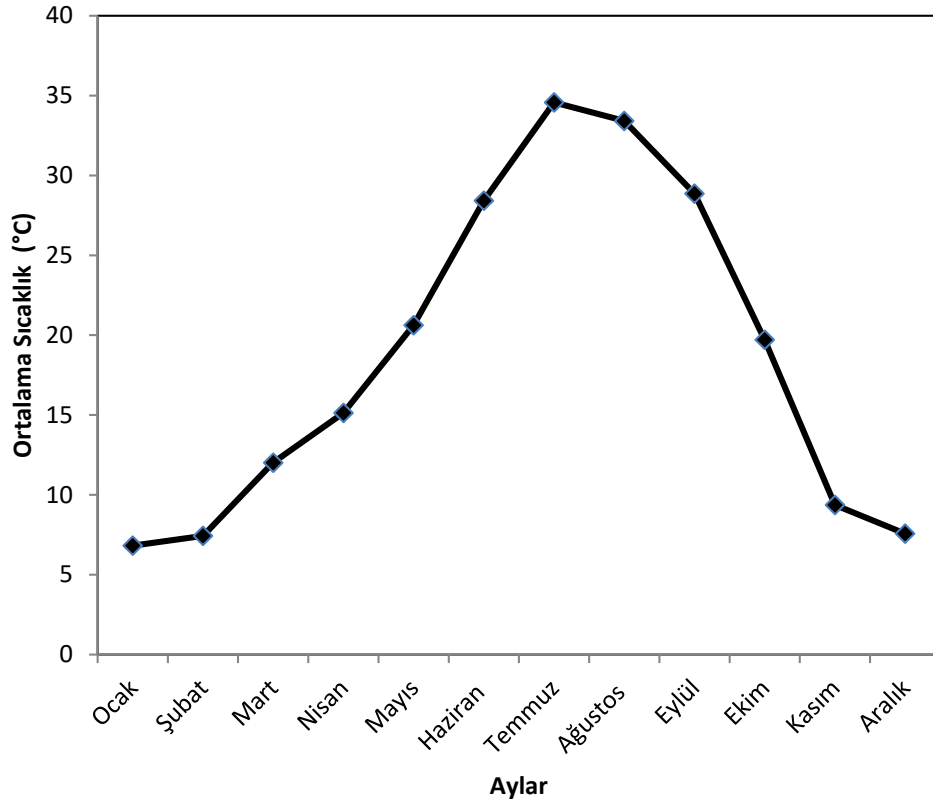
4. Araştırma Bulguları

Yazları sıcak geçen yerlerde binaların soğutma yükü kullanılan enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Adıyaman, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında binaların soğutulması için enerji tüketiminin yüksek olduğu illerimizdendir. Adıyaman ili aylara göre günlük ortalama toplam güneş radyasyonu verileri Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde Adıyaman ilinin güneş radyasyonu bakımından oldukça zengin bir konuma sahip olduğu, maksimum 25,68 MJ/m²-gün Temmuz ayında ve minimum 5,85 MJ/m²-gün Ocak ayında güneş enerjisi aldığı görülmektedir.

Adıyaman ili aylara göre günlük ortalama hava sıcaklığı verileri Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde Adıyaman ilinin yazları sıcak olduğu kışları ise ortalama hava sıcaklığının sıfırın altına düşmediği görülmektedir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ortalama hava sıcaklığının 28 °C'nin üzerinde seyrettiği bu aylarda ortam soğutma ihtiyacının ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

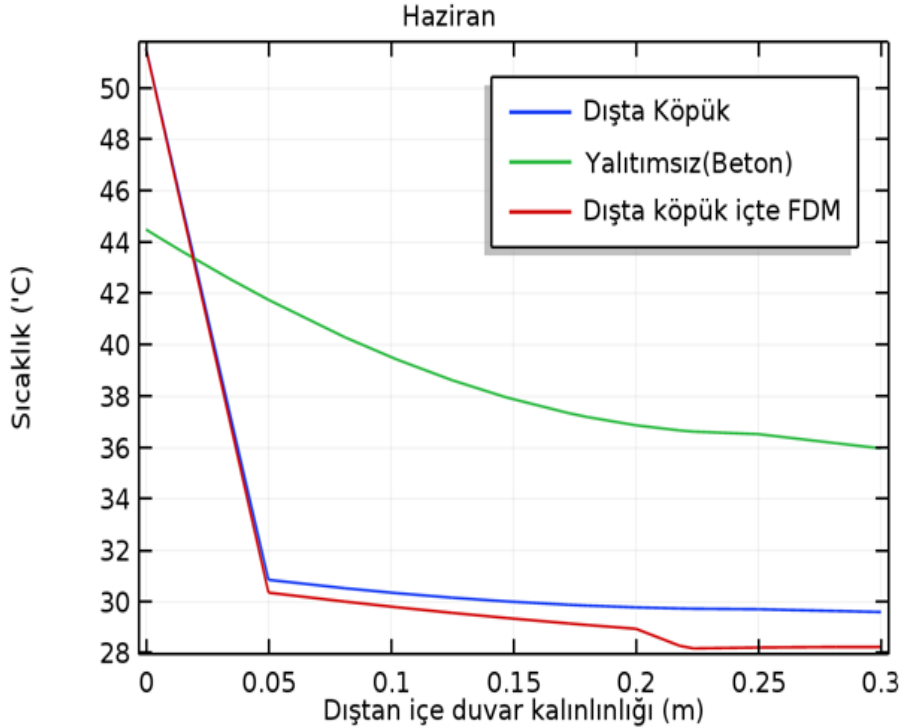


Şekil 2. Adıyaman ili yatay yüzeye ulaşan günlük ortalama güneş radyasyonu [10]



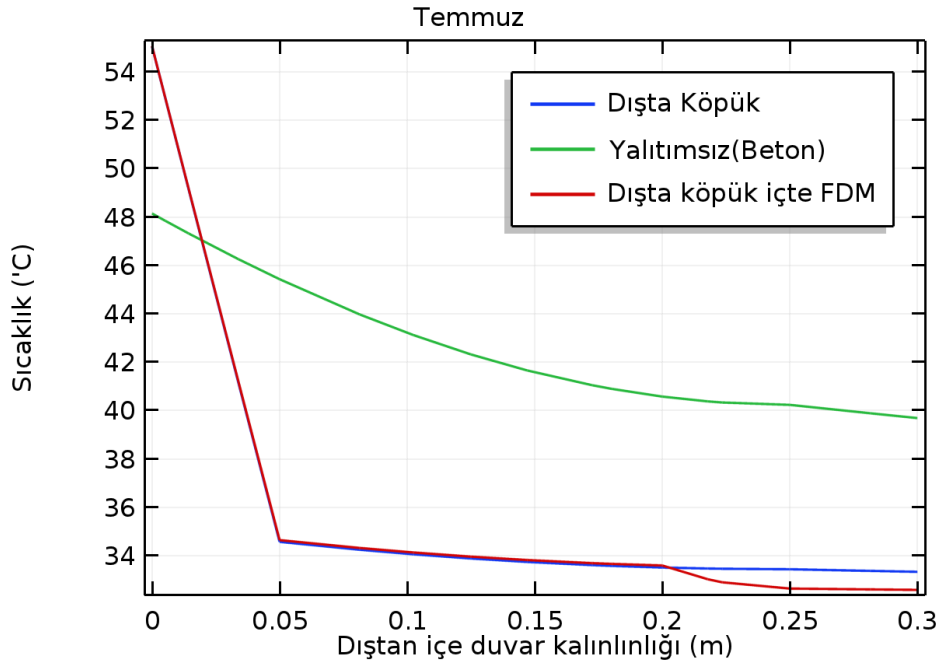
Şekil 3. Adıyaman ili aylık ortalama sıcaklık değerleri [10]

Bu çalışmada, faz değiştirici maddelerin Adıyaman iklim koşullarında yalıtım amaçlı kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen faz değiştirici maddelerin özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Termofiziksel özellikleri bakımından yaz aylarında kullanımı uygun olan dekanolik asit faz değiştirici madde olarak seçilmiş ve model bir duvar üzerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı duvarlar ile teorik olarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4’de Haziran ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, yalıtımsız duvarın dış yüzey sıcaklığının 44 °C ile en düşük olduğu ve iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının ise 36 °C ile en yüksek olduğu görülmektedir. Dış yüzeyden gelen güneş enerjisinin yalıtım olmadığı durumda içeriye doğru hızlı bir şekilde ilerlediği ve iç yüzey sıcaklığını yükselttiği ve böylece ortamı soğutmak için çok daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağı anlaşılmaktadır. Dış yüzeye 0,05 m kalınlığında köpük uygulanarak yalıtım yapıldığında dış yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yalıtımlı duvarda dışarıdan içeriye doğru ısı transferi engellendiği için iç yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre oldukça düşük olduğu böylece ortamın soğutma yükünün azalacağı açıkça görülmektedir. Yalıtım ile birlikte iç yüzeye FDM uygulandığında iç yüzey sıcaklığının bir miktar daha azaldığı böylece soğutma yükünün azalmasına FDM kullanımının katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.



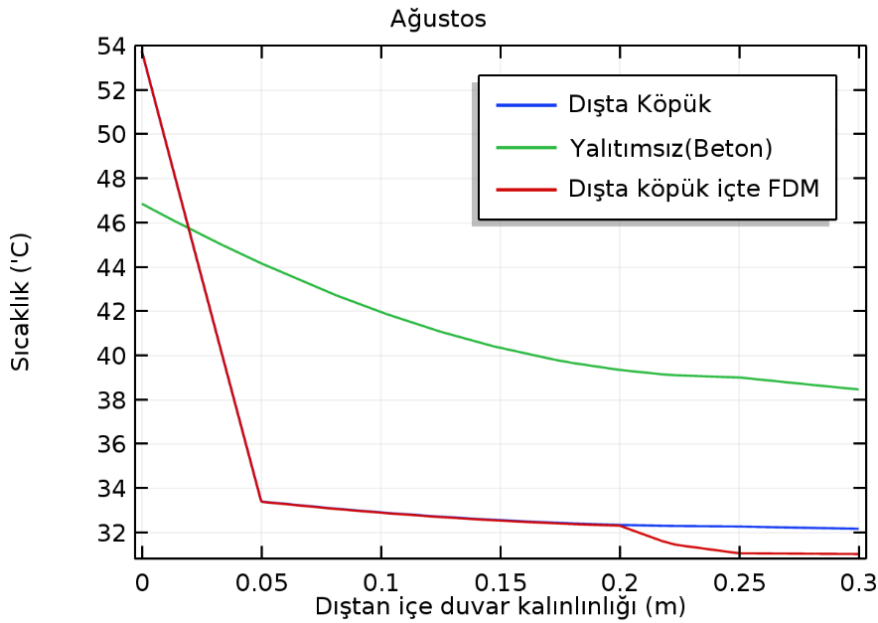
Şekil 4. Haziran ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 5’de Temmuz ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlarda iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklıklarının sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu görülmektedir. Dış yüzey sıcaklığının ise yalıtımsız duvar için 48 °C, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için ise 55 °C civarında gerçekleşmiştir.



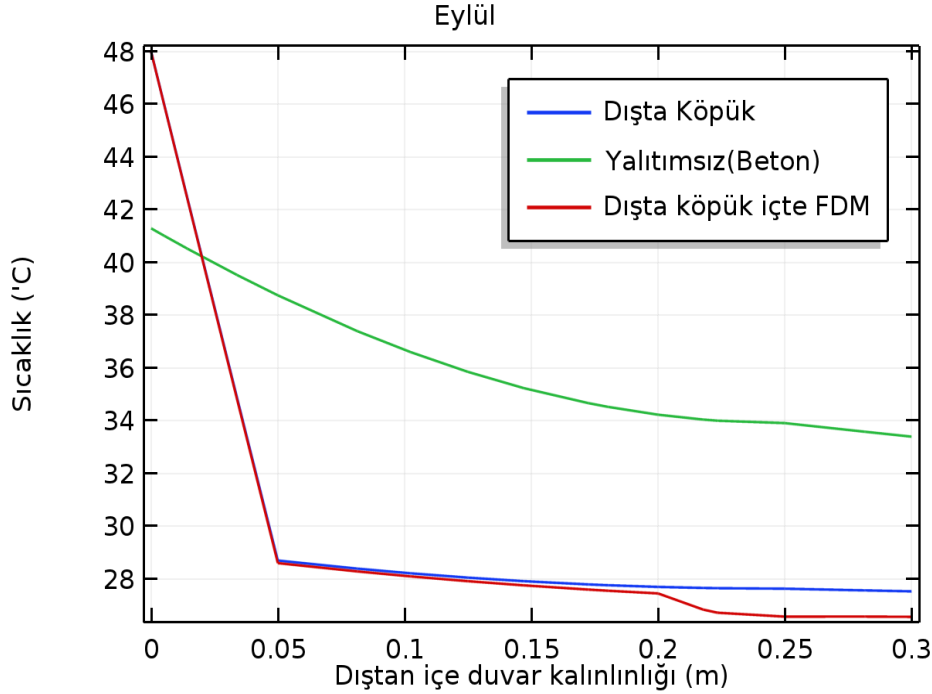
Şekil 5. Temmuz ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 6'da Ağustos ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi yalıtım olmadığı durumlarda aynı duvar kalınlığı için iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının 38,2 °C olurken yalıtım ve FDM kullanıldığında iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının 31-32 °C civarında tutulabildiği anlaşılmaktadır. Yalıtımsız duvarda iç yüzey ile iç ortam sıcaklığı arasındaki farkın yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardakine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarın iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına yakın seviyede olduğu böylece dışarıdan içeriye olan ısı kazancının daha az olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Ağustos ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 7’de Eylül ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 7 incelendiğinde diğer aylara benzer şekilde iç yüzey sıcaklığının yalıtım+FDM kullanılarak düşük seviyelerde tutulabildiği görülmektedir.



Şekil 7. Eylül ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı.

5. Sonuçlar

Yaz aylarında iklimin sıcak olduğu bölgelerde ortamı konfor sıcaklığında tutabilmek için tüketilen enerji oldukça yüksektir. Yalıtım, bu enerji tüketimini azaltmak için önemli bir parametredir. Bu çalışmada, faz değiştirici maddelerin yalıtım amaçlı kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen faz değiştirici maddenin termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Ortam soğutma ihtiyacı olan Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Dış yüzey sıcaklığının Temmuz ayında yalıtımsız duvar için 48 °C, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için ise 55 °C ile maksimum olduğu görülmüştür. Dış yüzey sıcaklığının maksimum olduğu Temmuz ayında yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlarda iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklıklarının ise sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, köpük+FDM kullanarak duvardan olan ısı geçişinin azaltılabildiği ve iç yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre daha düşük seviyelerde tutulabildiği görülmüştür. Böylece yaz aylarında ortam soğutma yükünün azaltılabileceği anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından MÜFMAP/2018-0002 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca teknik destek için Orta Doğu Teknik Üniversitesine teşekkürler.

Kaynaklar

- [1] Song M, et al., Review on building energy performance improvement using phase change materials. *Energy and Building* 2018; 158: 776–793.
- [2] Su D, et al., Maximizing the energy output of a photovoltaic–thermal solar collector incorporating phase change materials. *Energy and Building* 2017; 153: 382–391.
- [3] Benard C, et al., Experimental comparison of latent and sensible heat thermal walls. *Solar Energy* 1985; 34 (6): 475–487.
- [4] Lee KO, Medina MA. Using phase change materials for residential air conditioning peak demand reduction and energy conservation in coastal and transitional climates in the State of California. *Energy and Building* 2016; 116: 69–77.
- [5] Berthou Y, et al. Full scale experimentation on a new translucent passive solar wall combining silica aerogels and phase change materials. *Solar Energy* 2015; 115: 733–742.
- [6] Young BA, et al. Reduced-scale experiments to evaluate performance of composite building envelopes containing phase change materials. *Construction and Building Materials* 2018; 162: 584–595.
- [7] Fateh A, et al. Numerical and experimental investigation of an insulation layer with phase change materials (PCMs). *Energy and Building* 2017; 153: 231–240.
- [8] Heat Transfer Module, COMSOL. <https://www.comsol.com>
- [9] Solutions to Linear Systems of Equations: Direct and Iterative Solvers, COMSOL, <https://www.comsol.com>
- [10] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2011, Adıyaman, Türkiye

DOĞAL BİR MATERYAL OLARAK KEÇİ KILI LİFLERİYLE MODİFİYE EDİLEN KOHEZYONLU ZEMİNLERİN DONMA- ÇÖZÜLME DİRENCİ

Necmi YARBAŞI*

*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 25240, Türkiye

ÖZET

Bu araştırma, doğal bir malzeme olan keçi kılı lifleri ile takviye edilmiş killi zeminin donma-çözülme testi sonucundaki dayanım değişikliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan killi zemine % 0.5, %1, %1,5 ve %2 Keçi Kılı lifleri ilave edilmiştir. İnce ve iri taneli zeminlerin doğal katkı maddeleri ile zayıf jeoteknik özellikleri güçlendirilmesi son yıllarda birçok çalışmanın ana konusu olmuştur. Bu çalışmada karışım numunelerine 1, 7 ve 28 günlük kür süresi ve 12 donma-çözülme döngüsü uygulanmıştır. Numuneler 24 saat ayarlanabilir dondurma-çözdürme kabine -21°C'de ve +21°C'de 24 saat yerleştirilmesiyle bir döngü tamamlanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı testi ile eklenen katkı maddesinin killi zeminin donma-çözülme öncesi ve sonrası direncini artırdığı belirlenmiştir. En uygun karışım 28 günlük kür sonrasında Kil +%1.5 Keçi kılı lifi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil, Keçi kılı lifi, Mukavemet, Donma-Çözülme

FREEZE-THAW RESISTANCE OF COHESIVE SOILS MODIFIED WITH GOAT HAIR FIBERS AS A NATURAL MATERIALS

ABSTRACT

This research was carried out to determine the strength changes in the freeze-thaw test result of clay soil reinforced with goat hair fibers, a natural material. 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% Goat Hair fibers were added to the clayey soil used in this study. Strengthening of fine and coarse-grained soils with natural additives with weak geotechnical properties has been the main subject of many studies in recent years. In this study, curing times of 1, 7, and 28 days and 12 freeze-thaw cycles were applied to the mixture samples. A cycle was completed by placing the samples in a 24-hour adjustable freeze-thaw cabinet at -21°C and then at +21°C for 24h. It has been determined that the additive added with the uniaxial compressive strength test increase the resistance of clayey soil before and after freezing-thawing. The most suitable mixture was determined as clay+1.5% Goat hair fiber after 28 days of curing.

Keywords: Clay, Goat hair fiber, Strength, Freeze-Thaw

1. Introduction

Soil stabilization / reinforcement has been used for years to ensure the ability of soil to meet geotechnical properties. In this study, the possibility of strengthening cohesive soils with high plasticity by using goat hair fibers, which is a natural material, was investigated. An engineering structure on any lithological unit is only as durable as the foundation soil. This means that foundation ground is an important factor influencing the success of a construction project. For this reason,

* e-mail: nyarbasi@atauni.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4259-1278>

understanding the geo-engineering properties of the base and subbase ground is important in terms of strength and economy.

The use of natural, synthetic or various chemicals as additives in soil stabilization/strengthening has increased significantly in the last twenties. Work on strengthening clayey soils by adding various additives continues at an increasing speed (quartzite, obsidian, marble dust, black amber, PET, scrap rubber, polyester, coconut fiber, palm fiber, pine tree sawdust, sheep and goat wool, and human hair fibers, waste wheat straw fibers, chicken quill, etc.,)[1-17]. Many studies on the effect of these additives on the effect of changing temperatures called freeze-thaw reaction are still ongoing today. In regions where temperature changes are frequent, the balance of the existing soil can be greatly affected by this situation. Because increasing the resistance of the soil, which is exposed to constant freezing and thawing, on the freeze-thaw reaction emerges as an engineering problem[9], [11], [17-18].

Waste or residual additives used to increase stabilization, especially natural or synthetic fibers, can increase some important properties of soils with poor geotechnical properties, such as bearing capacity, shear strength, permeability, and swelling, etc. Mahdavian [19] examined keratin fibers (human hair, goat hair and sheep wool) modified with NaOH (0.1N) in terms of absorption of lead ions. These inexpensive adsorbents (adsorbents) found that their surface contained human hair 33, goat hair 24, and sheep hair approximately 30 mg / g. From these results to the highest absorbency, a human hair is followed by goat hair and sheep hair. Adsorption efficiency was determined as the maximum pH = 5.8. Raja et al., [20] stated that natural fiber-reinforced composites are durable, low cost, low weight, high specific strength, non-abrasive, environmentally friendly and biodegradable. Jayaseelan et al.,[21] found that the composite material formed with the addition of goat bristle fibers and graphene increases the mechanical properties and the 37.5% fiber loading shows better mechanical properties. Tosee [22] examined the effect of goat hair on the plastic shrinkage cracks of concrete. He concluded that the addition of 1% goat hair is a suitable ratio to control shrinkage cracks in concrete, especially in lightweight concrete applications. Göktepe et al., [23] compared the Physical Properties of Anatolian Domestic Goat Hair Fibers with Kashmir in their study. The general findings obtained indicated that the hair fibers of domestic goats generally had cashmere-like properties and could be used instead of cashmere fiber in textiles. Jankowska et al.,[24] in their study; As a result of the physmechanical analysis of natural animal fibers (sheep, goat and alpaca wool), they determined that goat fibers have relatively high strength and lowest elasticity.

2. Materials and methods

2.1 Materials

2.1.1 Clayey soil (CS)

CS samples used in this study were obtained from the deposits of the Oltu Oligocene sedimentary basin, Erzurum, Northeast Turkey[25]. This clayey soil sample was obtained by excavating from a depth of 0.50 m. (Fig. 1). After drying the clayey soil samples at 55 ± 5 °C for 24 hours, the coarse grains were milled in the Los Angeles abrasive device at 6000 rpm. These samples were determined to be of high plasticity clay soils (CH) class according to the Unified Soil Classification System. The geo-engineering characteristics of CS are shown in Table 1.

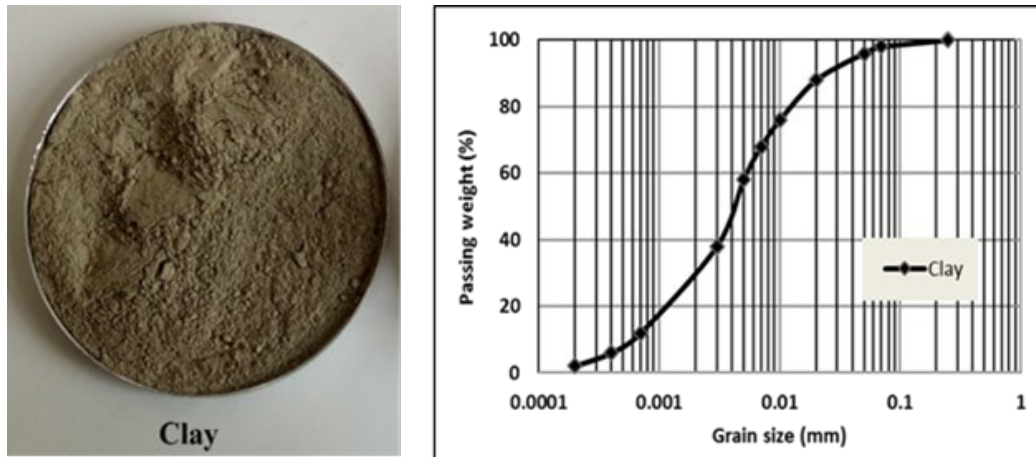


Figure 1. Clay soil sample and granulometry curve

Table 1. Geo-engineering characteristics of CS [3]

Characteristics	CS
Specific weight, Gs	2.64
Sand (%)	10.0
Silty (%)	58.0
Clay (%)	32.0
Consistency limits	
LL, %	68
PL, %	28
PI, %	40
Compaction parameters	
¹ Optimum water amount, %	25.8
¹ Max. dry weight, (kN/m ³)	14.1
² Soil category	CH

¹Obtained from Standard Proctor Test.

²Soil class according to Unified Soil Classification System (USCS).

2.1.2 Goat hair fibers (GHF)

The sample used in this study GHF, Erzurum and its vicinity (northeastern Turkey) were obtained from hair goat race. This hair goat race is adapted to all kinds of climatic and terrain conditions of the Anatolian geography, has a strong body structure, is resistant to diseases, and is resistant to heat and cold. The ecological, economical, socio-cultural characteristics of the hair goat growing in the province of Erzurum and its immediate surroundings know this breed very closely and its breeding has been carried out for a long time[26]. This collected GHF was manually separated into fibers of the same length as 15-20 mm. The average diameter is between 18-25 μm . (Fig. 2). Goat hair is similar to wool in terms of chemical structure and properties. Due to its fine scaly surface, it is more sensitive to chemical reagents. Dilute acids do not affect the hair goat fibers but dissolve completely in concentrated acids. Its moisture absorption feature is similar to wool. It carries 16-18% moisture on these fibers[25].

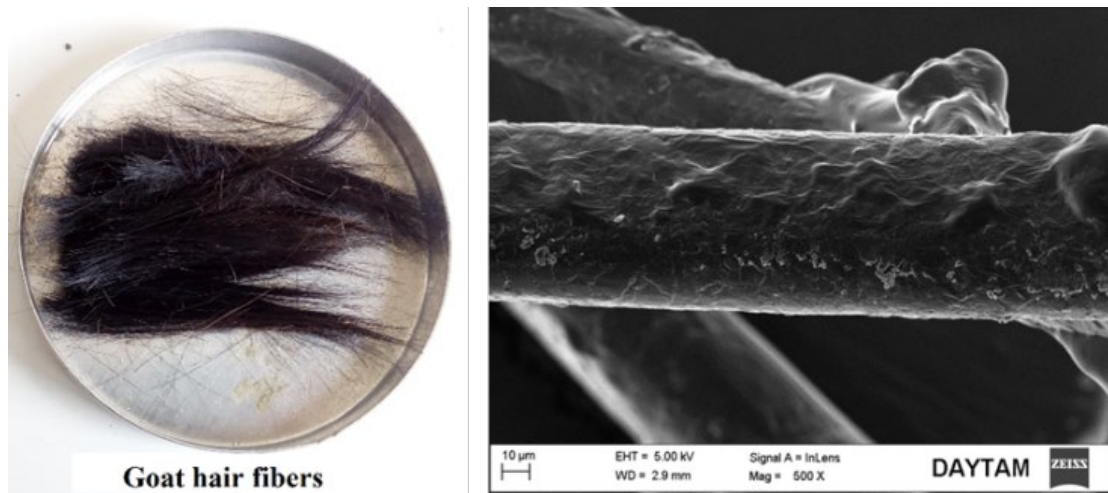


Figure 2. Goat hair fibers sample and SEM image

2.2 Methods

GHF are a type of micro-reinforcement used to reinforce fine-grained floors with poor geotechnical properties. In this study, the strength changes of GHF reinforced CS as a soil improvement method the freeze-thaw (F-T) test was investigated. GHF were added 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by dry weight of the base material (CS). Since GHF tends to clump in clay soils, care has been taken to ensure a homogeneous distribution of GHF in the mix. Samples were first compressed with the Standard Proctor Test at optimum water content (ASTM D. 698-78) then cylindrical samples of 3.5 cm diameter and 7.0 cm height were created with samplers. Mixing ratios are 100% CS (MIX0), 99.5% CS + 0.5% GHF (MIX1), 99% CS + 1% GHF (MIX2), 98.5% CS + 1.5% GHF (MIX3) and 98% CS + 2% GHF (MIX4). After determining the optimum water content of the mixtures with the Standard Proctor Test, a working program was planned for the free pressure and F-T test. On account to investigate the consistency of the strength results of the mixtures of MIX0, MIX1, MIX2, MIX3 and MIX4 after 1, 7 and 28 days of curing, before and after (F-T), three (3) cylindrical samples were prepared for each mixture.

Unconfined compressive tests were performed in according to ASTM D 2166 standard. Load-deformation readings were recorded by a computer controlled system, taking into account the 0.5 mm/min increase in deformation. F-T experiments were carried out with a closed system device capable of forming freeze-thaw cycles (ASTM D 5918). In the experiments, the freezing temperature is -21°C and the thaw temperature is $+21^{\circ}\text{C}$. The waiting time between the freezing and thawing cycles was set as 24 hours. This F-T cycle was cured for 1, 7 and 28 days, followed by a total of 12 cycles, repeating consecutively. It was repeated 12 times. This operation was named cycle 1 [4], [8], [14],[18]. Samples that completed the F-T cycles were subjected to the UCS. In this study, the maximum fiber length was cut manually into pieces of 15-20 mm length using scissors. XRD and SEM analysis for D8 AXS XRD Spectrometer and Sigma 300 Zeiss Gemini FE-SEM devices are used (Atatürk University were made in High Technology Research and Application Center Laboratory (Erzurum, Turkey).

3 Experimental results

3.1 Unconfined compressive strength (UCS)

F-T test values of CS specimens equipped with GHF were determined by the free pressure tester. Before F-T, the highest strength values of MIX1, MIX2, MIX3 and MIX4 mixtures were

obtained after 28-days curing. When these values are compared with the reference material (CS); Increases were determined by 5.35%, 12.06%, 28.11% and 17.16%, respectively (Fig. 3).

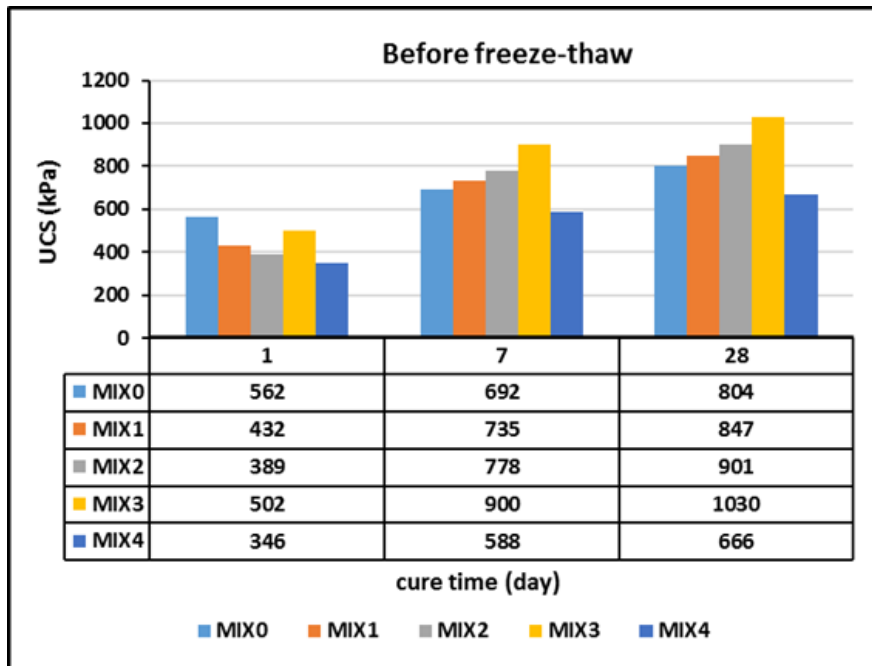


Figure 3. UCS distribution before F-T

The highest strength values of MIX1, MIX2, MIX3 and MIX4 mixes after F-T were obtained after 28-days curing. When these values are compared with the reference material (CS); 4.76%, 10.61%, 25.17%, and 14.83%, rates increases were detected respectively. According to experimental results, GHF used in the improvement of CS samples is an important factor. UCS values generally increased by 0.5%, 1% and 1.5% of GHF, while a 2% decrease was detected (Fig. 4).



Figure 4. UCS distribution after F-T

Before and after F-T, there was an increase in strength when adding GHF additive at 0.5%, 1% and 1.5%, while a decrease in strength occurred at the addition of 2% GHF. The reason for these reductions is not being able to establish sufficient bonds between GHF and clay grains, and GHF, which has a high water absorption capacity, reduces the water content of the clayey soil, and loses its water in increasing cure times, thereby weakening the bonds. Similar results were obtained in Galán-Marín et al., [28-29], Yarbaşı [17], Broda and Gawłowski [16]. When the F-T test strength values of the mixtures were compared, decreases of 11.03%, 12.02%, 10.46% and 13.58% were observed, respectively. It has been determined that this reduction rate is at least 10.46% in the mix of MIX3.

According to test results, all GHF reinforced CS samples show better strength performance than non-reinforced CS samples. This increase in UCS increases with curing time and GHF rate. Also, swellings occurred in the middle part of the GHF reinforced CS samples. This situation is defined as the bridging effect, which is one of the important factors that increase the strength and ductility of the mixture (Fig. 5). Similar studies were carried out by Zaimoglu and Yetimoglu [30] and Yarbaşı [17].

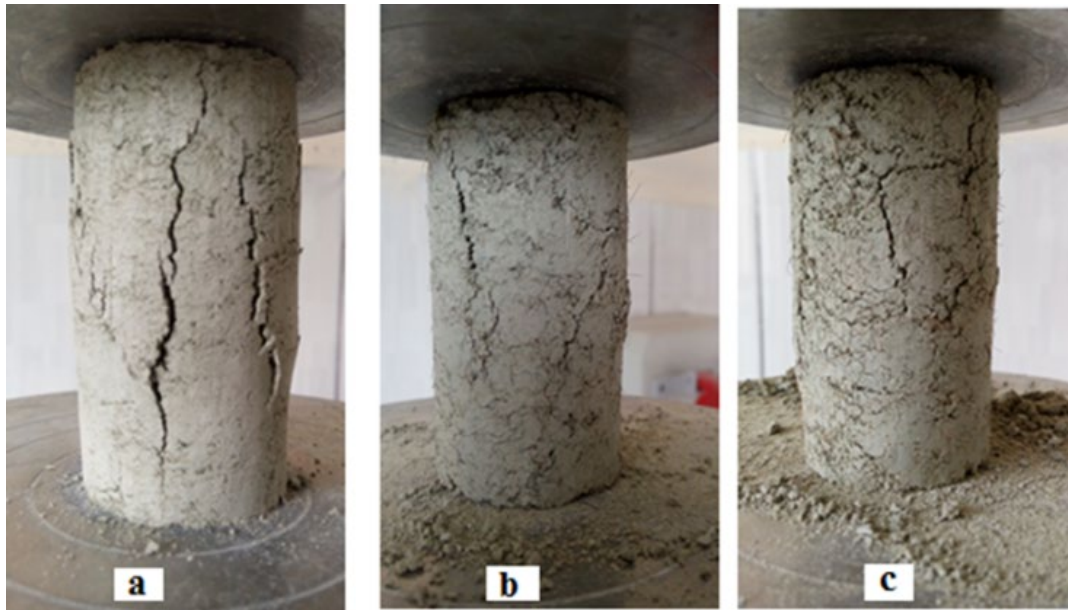


Figure 5. The surface deformation of samples at the failure moment; unreinforced CS sample (a) and SWF-reinforced CS samples (b and c).

3.2 Stress-strain (deformation) correlations

The stress-strain behavior of the F-T test cycles of the specimens were tested under a single axial pressure at a constant axial strain rate (0.5 mm/min). Although 0.5%, 1% and 1.5% of GHF added to CS showed a significant increase in strength, a 2% reduction in strength was observed. For this reason, adding fiber to such soils (0.5%, 1%, and 1.5%) increased the UCS by changing the deformation behavior of the specimens under constant load, decreased the amount of strength reduction after the peak value was surpassed. In the case of a 2% GHF mixture, it can be said that this decrease in strength decreases the friction resistance between clay soil particles with high plasticity and causes a decrease in UCS [31]. This work also deals with the first tangent modules representing the initial slope of the stress-strain curves. In samples with a curing time of one day, the first tangent modules before and after freeze-thaw are very close to each other. This indicates that the initial hardness of the ground is not affected by the GHF contribution. It also shows that a one-day cure is not enough to complete the reactions between clay and GHF. However, when the slopes are compared in seven and twenty-eight cycles, it is clear from figure 6 that the initial tangent modulus increases with the length of the cure time and the increase in the GHF ratio. At the end of the seven and twenty eight

days cycles, In the stress-strain graphs, it was obviously seen in the experimental results that the samples gained strength in parallel with the rising in curing time and GHF amount. In addition, in the stress-strain graphs shown in Fig. 6, the peaks of the values before and after thawing are considered to be more common and this is a result of the transition to ductility. This behavior change, seen as an increase in ductility, and compressibility, is thought to be due to the water absorption capacity of the water lenses and GHF in the pores.

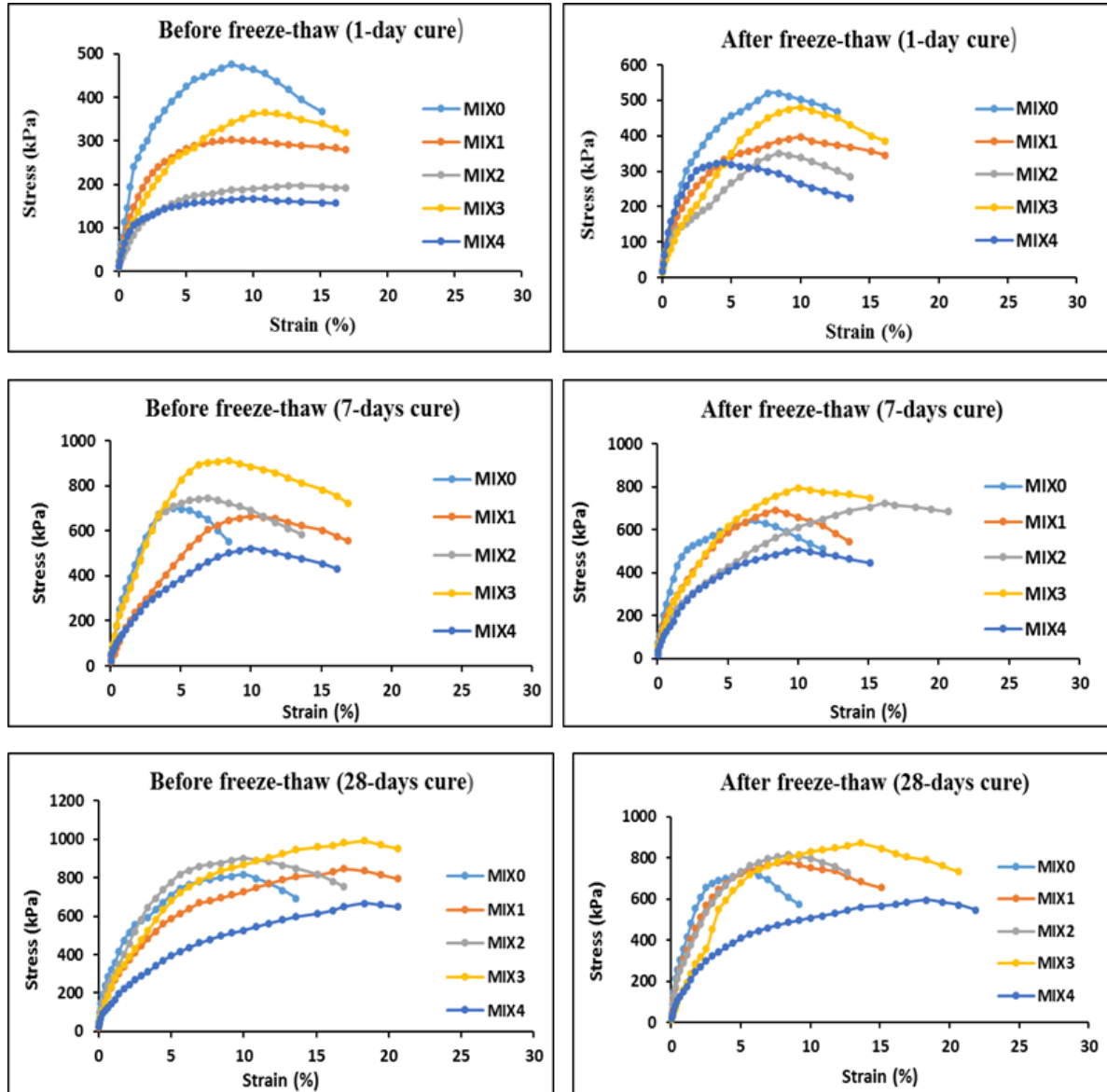


Figure 6. Stress-strain graphs before and after F-T

As a conclusion, it is clearly seen that in stress-strain curves GHF increases the peak compressive strength and ductility of CS under static load. This shows that a more significant improvement is provided for the 28-days curing period. Similar conclusions were seen in the studies of Zaimoglu et al.,[9], and Yarbaşı[17]. One of the important factors that increase the strength of fiber-reinforced samples is the bridging effect. GHF reinforcements, which provide the connection of two fracture planes, increase the ductility and prevent sudden fractures. This situation can be seen in Figure 5. In addition, Zaimoğlu and Yetimoglu [30] defined in their studies on this subject that the bridging effect is effective on both strength and ductility.

3.3 SEM correlations

Possible changes in the structure of clay soil mixtures reinforced with GHF were investigated by SEM imagery. In Fig. 7(a), it was seen that GHF added to clayey soil was in a harmonious relationship with the clay matrix before F-T. This compatibility is thought to be due to chemical components and the positive interaction of GHF with water [16], [28-29]. When the SEM image after F-T is examined in Figure 7 (b), It is seen that there is not much structural change but some local gaps occur. It is thought that the ice lenses formed in the pores form these spaces. Similar comments were also stated in the studies of Yu et al.,[32], and Yarbaşı[17].

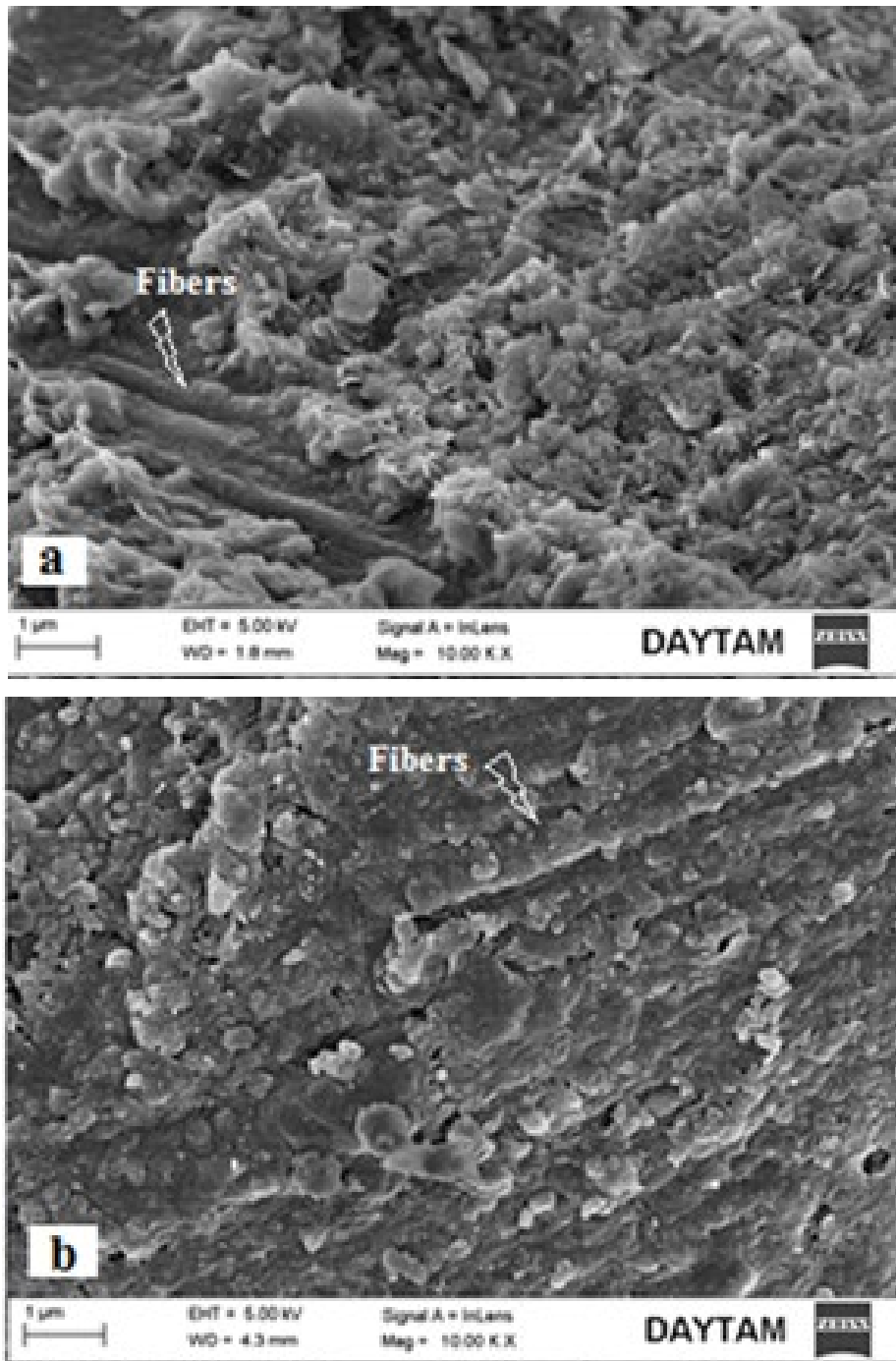


Figure 7. SEM imageries F-T before (a) and F-T after (b)

4 Conclusions

In this study, the strength effect of F-T on CS reinforced with GHF, a natural material, was investigated. As a result of experimental studies, it has been determined that GHF additive increases the strength of CS before and after F-T. Curing time and the increase in the GHF additive rate played an important role in this rising. The highest increase in strength was seen in the mixture of CS+1.5% GHF (MIX3) and at 28-day of cure. While the strength increase rate before F-T was 68.67% in this mixture this increase rate was 62.67% after F-T. The addition of GHF to CS samples was observed in stress-strain plots where the mixture not only increased ductility before F-T but also helped maintain ductility behavior after F-T. In addition, the swelling percentage of the CS sample with swelling property decreased from 18.18% to 3.64% with the addition of 2% GHF. This showed that GHF has a good water absorption capacity. This situation was also observed in SEM images. As a result, GHF offers many advantages such as increasing strength and ductility, lowering swelling pressure, low cost, and slow rotting process. Therefore, I believe GHF can be used as a sustainable and environmentally friendly material that reduces stabilization costs.

References

- [1] Prabakar J, Sridhar RS. "Effect of random inclusion of sisal fiber on strength behavior of soil". *Construction and Building Materials*, 16(2002):123–31.
- [2] Zheljaskov VD. "Assessment of wool waste and hair waste as soil amendment and nutrient source". *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34(6), 2310–2317.
- [3] Akbulut S, Arasan S, Kalkan E. "Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers". *Applied Clay Science*, 2007,38(1–2) : 23–32.
- [4] Yarbaşı N, Kalkan E, Akbulut S. "Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze-thaw, of granular soils with waste additives". *Cold Regions Science and Technology*, 2007, 48(1), 44-54.
- [5] Hejazi SM, Sheikhzadeh M, Abtahi SM, Zadhoush A. "A Simple Review of Soil Reinforcement by Using Natural and Synthetic Fibers". *Construction Building Material*, 30(2012), 100–116.
- [6] Maliakal T, Thiyyakkandi S. "Influence of randomly distributed coir fibers on the shear strength of clay". *Geotechnical Geology Engineering*, 31(2012):425–433.
- [7] Ayothiraman R, Bhuyan P, Jain R. "Comparative Studies on Performance of Human Hair and Coir Fibers against Synthetic Fibers in Soil Reinforcement", presented at the Third Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2014), 222–227, Singapore, 2014.
- [8] Yarbaşı N. "The freezing-thawing behavior of clayey soils reinforced with scrap tires pieces". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 2016, 22(6), 559-562.
- [9] Zaimoglu AŞ, Akbulut RK, Arasan S. "Effect of Freeze-Thaw Cycles on Strength Behavior of Compacted Chicken Quill-Clay Composite in Undrained Loading". *Journal of Natural Fibers*, 13(2016): 3, 299-308.
- [10] Narayanan KS, Sharmila SMR. "Stabilization of Clay with Human Hair Fiber". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, Volume 8, Issue 4, pp. 664-668. 2017.
- [11] Yarbaşı N, Alacalı M. "Investigation on the variation of strength of coarse grained soils reinforced with waste tires pieces as a result of freezing and thawing cycles". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 2018, 24(3), 561-565.
- [12] Aygun Z, Yarbaşı N. "Analyses of the Structural and the Temperature-Dependent Magnetic Properties of Pine Resin and Pine Bark from the Oltu/Erzurum Region in Turkey". *Journal of the Korean Physical Society*, 2018, Vol. 72, No. 7, pp. 795-799.
- [13] Tosee VR. "Different Percentage of Bagass And Hair Of Goat In Concrete Slab: Application, PSC Reduction, and Strength". *Soil Structure Interaction Journal (SSIJ)* 2018, Vol. (1), 47-52.
- [14] Yarbaşı N. "Performance of granular soils reinforced with obsidian (volcanic glass) additives in different proportions subjected to freeze-thaw". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 2019, 25(6), 764-767.

- [15] Jankowska D, Wyrostek A, Patkowska–Sokoła B, Czyż K. “Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool”. *Journal of Natural Fibers*, doi: 10.1080/15440478.2019.1691126
- [16] Broda J, Gawłowski A. “Influence of Sheep Wool on Slope Greening”. *Journal of Natural Fibers*, 2020, Vol. 17, Issue 6, 820-832.
- [17] Yarbaşı N. “Effect of Freezing-Thawing on Clayey Soils Reinforced with Human Hair Fibers”. *Journal of Natural Fibers*, 2020, 17(6), 921-931.
- [18] Ghazavi M, Roustaei M. “The influence of freeze–thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay”. *Cold Regions Science and Technology*, 2010, 61(2): 125-131.
- [19] Mahdavian L. “Effects of magnetic field, pH and retention time on the lead (Pb²⁺) adsorption by modified human hair, goat hair and sheep wool”. *African Journal of Microbiology Research*, 2012, Volume 6 (1), 183-189.
- [20] Raja T, Anand P, Karthik M, Sundaraj M. “Evaluation of Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced Composites – A Review”, *International Journal of Mechanical Engineering and Techonolgy*, 2017, 8(7), 915–924.
- [21] Jayaseelan J, Vijayakumar KR, Ethiraj N, Sivabalan T, Andrewnallayan W. “The effect of fibre loading and graphene on the mechanical properties of goat hair fibre epoxy composite”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 282, Busan, Korea, 2017.
- [22] Tosee VR. “Different Percentage of Bagass And Hair Of Goat In Concrete Slab: Application, PSC Reduction, and Strength”. *Soil Structure Interaction Journal (SSIJ)* 2018, Vol. (1), 47-52.
- [23] Göktepe F, Canipek G, Soysal MI. “The Comparison of Physical Characteristics of Anatolian Native Goat Down Fibers With Cashmere”. *Textile and confection*, 2018, 29 (1), 11-21.
- [24] Jankowska D, Wyrostek A, Patkowska–Sokoła B, Czyż K. “Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool”. *Journal of Natural Fibers*, doi: 10.1080/15440478.2019.1691126
- [25] Kalkan E, Bayraktutan M. “Geotechnical evaluation of Turkish clay deposits: a case study in Northern Turkey”, *Environmental Geology*, 2008, 55 (5), 937-950.
- [26] Kudaka. “Ovine breeding in the province of Erzurum”. *Northeast Development Agency, Sectoral Research Report*, (EYDO/SAR/17/01), Erzurum, Turkey, 2017.
- [27] MEB. *Textile Technology*, Ministry of National Education, Ankara, Turkey, 2014.
- [28] Galán-Marín, C, Rivera–Gómez C, Petric-Gray J. “Clay-based composite stabilized with natural polymer and fiber. *Construction and Building Materials*, 2010a, 24 (8): 1462–1468.
- [29] Galán-Marín, C, Rivera–Gómez C, Petric-Gray J. “Effect of animal fibers reinforcement on stabilized earth mechanical properties”. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2010b, 4(2):121–128.
- [30] Zaimoglu AS, Yetimoglu T. “Strength behavior of fine grained soil reinforced with randomly distributed polypropylene fibers”. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2012, 30 (1):197–203.
- [31] Eskisar T, Altun S. “Experimental Investigation On Mechanical Behavior of Fiber Reinforced Fine Grained Soils by Unconfined Compression Tests”. 6. *Geotechnical Symposium*, Çukurova University, Adana, Turkey, 26-27, 2015.
- [32] Yu Y, Yang W, Wang B, Meyers MA. “Structure and mechanical behavior of human hair”. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications* 73(2017): 152–63.