

YAYINCI
PUBLISHER

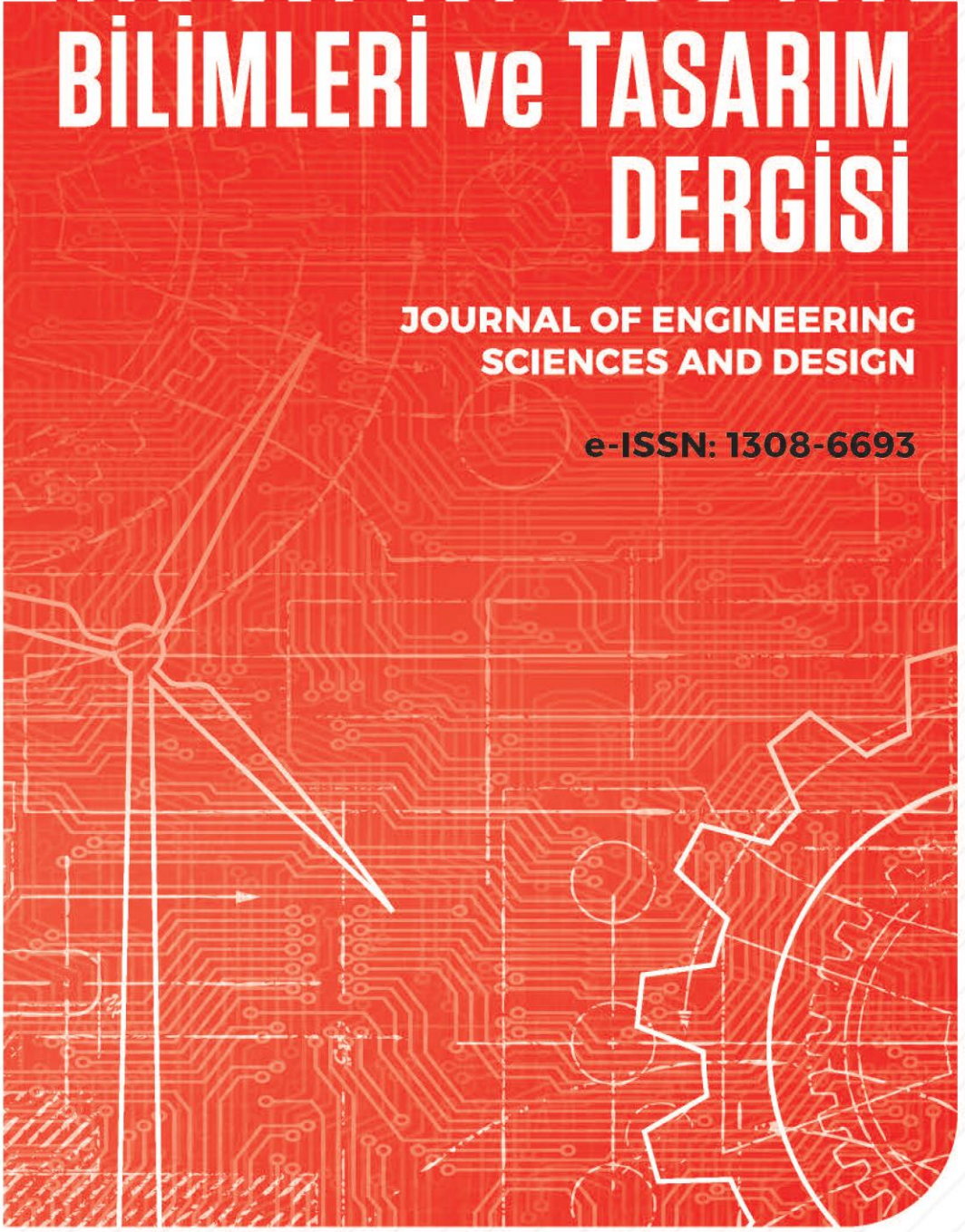


MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 7 Sayı/Issue: 4 Aralık/December 2019



- Gultekin OZDEMİR, *Suleyman Demirel University, TR (Baş Editör / Editör-in-Chief)*
Ata Utku AKCIL, *Suleyman Demirel University, TR*
Erdal AYDEMİR, *Suleyman Demirel University, TR*
Turgay AYDOĞAN, *Suleyman Demirel University, TR*
Mehmet AVCAR, *Suleyman Demirel University, TR*
Atilla BAYRAM, *Van Yuzuncu Yıl University, TR*
Mehmet Ali BELEN, *Artvin Coruh University, TR*
Ahmet BEYCIOĞLU, *Adana Science and Technology University, TR*
Funda CENGİZ, *Suleyman Demirel University, TR*
Selcuk COMLEKCI, *Suleyman Demirel University, TR*
Ozlem COSKUN, *Suleyman Demirel University, TR*
Aysen DAVRAZ, *Suleyman Demirel University, TR*
Ayla UYSAL, *Suleyman Demirel University, TR*
Mehmet GONEN, *Suleyman Demirel University, TR*
U. Yalcin KALYONCUOĞLU, *Istanbul Medeniyet University, TR*
Bırol KILIC, *Suleyman Demirel University, TR*
Semsettin KILINCARSLAN, *Suleyman Demirel University, TR*
Ozlem SELCUK KUSCU, *Suleyman Demirel University, TR*
Olca POLAT, *Pamukkale University, TR*
Recai Fatih TUNAY, *Suleyman Demirel University, TR*
Tuncay YIGIT, *Suleyman Demirel University, TR*
Cemal YILMAZ, *Gazi University, TR*

- Yun-Chia LIANG, *Yuan Ze University, TW*
Ravi SANKAR, *University of South Florida, USA*
Alice E. SMITH, *Auburn University, USA*
Bedri TUC, *Baskent University, TR*
Erol TUTUMLUER, *University of Illinois at Urbana-Champaign, USA*
Fatma YALCINKAYA, *Technical University of Liberec, Czech Republic*
Gerhard-Wilhelm WEBER, *Middle East Technical University, TR*

Hasbi KIZILHAN, <i>Suleyman Demirel University, TR</i>	Ismail AGCASULU, <i>Suleyman Demirel University, TR</i>
M. Emrah BURHAN, <i>Suleyman Demirel University, TR</i>	Sıla YAMAN, <i>Suleyman Demirel University, TR</i>
Sadi Fuat CANKAYA, <i>Suleyman Demirel University, TR</i>	

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi editörlüğünde ve ULAKDİM DERGİPARK ev sahipliğinde yayımlanan Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) yayın hayatına 2010 yılında başlamıştır. Mart, Haziran, Eylül ve Aralık Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında olmak üzere yılda 4 sayı şeklinde yayım yapan uluslararası hakemli bir dergidir.

Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD), TÜBİTAK-ULAKBİM-DERGİPARK sistemine kabul edilmiştir. Dergi, TÜBİTAK-ULAKBİM Mühendislik ve Doğa Bilimleri Veri Tabanı (TR-DİZİN), Google Scholar ve alan indeksi olarak EBSCOHOST tarafından indekslenmektedir.

Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) yayın dili Türkçe ve İngilizce olan araştırma makalesi, derleme ve çeviri türünden metinleri, yazım kurallarına uygun hazırlanmış olması koşuluyla internet üzerinden değerlendirmeye kabul eder. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen metinlerin, daha önce yayınlanmamış, yayınlamak üzere kabul edilmemiş ve yayınlanmak için değerlendirme sürecinde olmaması gerekir. Değerlendirme sürecinde olan ve yayınlanan eserlerin sorumluluğu tamamen yazarlara aittir. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) internet üzerinden e-dergi şeklinde yayınlanır ve değerlendirme süreci elektronik ortamda çift-körleme yöntemiyle takip edilir. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD)'nde yayınlanan tüm eserlerin yayın hakkı Süleyman Demirel Üniversitesi'ne aittir.

Journal of Engineering Sciences and Design (JESD) supported by Suleyman Demirel University Engineering Faculty, and hosted by ULAKBİM DERGİPARK, a national refereed journal, has been in publication since 2010 The journal will be published four times in a year as March, June, September, and December.

Journal of Engineering Sciences and Design (JESD) has been accepted for TUBITAK ULAKBİM DERGİPARK system in order to provide on-line journal management. JESD is now indexing by TUBITAK-ULAKBİM Engineering and Natural Sciences, Google Scholar, and EBSCOHOST.

Although the language of the journal is Turkish, manuscripts prepared in English is also welcome. JESD accepts and publishes on on-line open journal system manuscripts prepared as research paper, literature reviews, and translated articles as long as they are in accordance with the journal's writing guidelines. Manuscripts, which have been published previously, accepted for publication, or currently being considered for publication elsewhere, will not be considered for publication. The authors are solely responsible for the ideas and opinions expressed in the articles, of which Suleyman Demirel University cannot be held responsible. The Journal of Engineering Sciences and Design (JESD), is electronically managed, double-blinded journal from the submission of manuscripts to the publication. Suleyman Demirel University holds the copyright of all published material that appear in JESD.

İçindekiler / Contents

Araştırma Makalesi / Research Articles

<i>SU KİRLİLİĞİ AÇISINDAN HASSAS ALANLARIN İZLENMESİ: KIZILIRMAK DELTASI-BALIK GÖLÜ</i> Sema Arıman, Serdar Koyuncu	705-714
<i>YÜRÜYEN DALGALI TÜP KUVVETLENDİRİCİLERİNDE İLETİM SABİTLERİNİN İNCELENMESİ</i> Ağah Oktay Ertay, Serkan Şimşek	715-724
<i>THE EFFECTS OF NOISE FILTERS ON SEGMENTATION BASED SEEDED REGION GROWING</i> Mürsel Ozan İncetaş, Ufuk Tanyeri	725-735
<i>LONGITUDINAL FORCED VIBRATION ANALYSIS OF POROUS A NANOROD</i> Şeref Doğuşcan Akbaş	736-743
<i>FOTONİK KRİSTALLERDE TÜMYÖNLÜ BANT ARALIĞININ İNCELENMESİ</i> Onur Erkan, Serkan Şimşek	744-750
<i>BURSA-ACEMLER BÖLGESİ DES VE DP VERİLERİ İLE ISIL UÇLAŞMA MODELLEMESİ</i> Petek Sındırgı	751-760
<i>INVESTIGATION OF INFLUENCE OF BERM HEIGHTS, GRADIENT OF SLOPE EXCAVATION AND GROUNDWATER DEPTHS ON SAFETY OF WEAK ROCK SLOPE</i> Murat Kilit, Uğur Çavuş	761-766
<i>A NEW MODEL PROPOSAL FOR ERGONOMIC ASSEMBLY LINE BALANCING</i> Emin Kahya, Büşra Nur Şahin	767-778
<i>A COOPERATIVE GAME THEORETICAL MODEL IN TEMPORARY HOUSING FOR POST-DISASTER SITUATIONS</i> Pınar Usta, Serap Ergün, Sırma Zeynep Alparslan Gök	779-786
<i>KENTİÇİ KARAYOLU AĞLARINDA IŞIK SÜRELERİ DİKKATE ALINARAK YEDEK KAPASİTENİN ENİYİLENMESİ</i> Özgür Başkan, Cenk Ozan, Hüseyin Ceylan	787-795
<i>EFFECT OF FRIT CONTENT IN THE SILVER CURRENT COLLECTOR INKS ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF SOLID OXIDE FUEL CELL CATHODES</i> Emrah Demirkal, Aligül Büyükaksoy	796-802
<i>YUMUŞAK ÇELİĞİN ASİDİK ORTAMDAKİ KOROZYON DAVRANIŞINA 5-(4-Dimetilaminobenzyliden)-rodanin MOLEKÜLÜNÜN ETKİSİ</i> Ece Altunbaş Şahin	803-810
<i>SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ SEÇİLİ DERSLİKLERİNİN İÇ ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN İNCELENMESİ</i> Sema Yurdakul, Nihat Ayyıldız, Vesile Ecem Çelik, Esra İçöz	811-818
<i>SU TASARRUFUNDA KİTLE İLETİŞİM ARAÇLARININ ETKİSİ</i> M.Erol Keskin, Tevfik Aslanbaş	819-824
<i>DOĞRUDAN TAHRİKLİ ASANSÖR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN SABİT MIKNATISLI SENKRON MOTORLARDA MIKNATIS GEOMETRİSİNİN MOTOR PERFORMANSI VE MALİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ</i> Cemil Ocak	825-834
<i>YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE DOĞRULUK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</i> Bekir Aksoy	835-842
<i>RENYİ ENTROPİ İLE ÜLKELERİN HAVA TRAFİĞİNİN ANALİZİ</i> İhsan Tuğal, Ali Karacı	843-853
<i>SÜPERPİKSEL TABANLI SATIR BÖLÜTLEME</i> Ali Alper Demir, Ufuk Özkaya	854-868
<i>INVESTIGATION AND DESIGN OF AN ACTIVE CELL BALANCING SYSTEM FOR LI-ION BATTERIES</i> Enver Derun Karabeyoğlu, Eda Güzel, Halis Kılıç, Baykal Sarıoğlu, Yiğit Dağhan Gökdel, Mustafa Fazıl Serincan	869-877
<i>FREE FALL TEST SYSTEM CONTROLLED BY COMPUTER WITH ARDUINO</i> Ahmet Ali Süzen, Kıyas Kayaalp	878-884
<i>24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ KAPSAMINDA TÜRKİYE ÇİVARINDA YERMANİYETİK ALANIN GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ</i> Cengiz Celik, Cenk Karataş, M. Nuri Dolmaz	885-896
<i>OTOMATİK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ</i> Halil İbrahim Kuruca, Kocaer Emine Rumeysa	897-905

<i>INVESTIGATING THE UTILITY OF SISAL IN HOT MIX ASPHALT AS A FIBER</i>	906-912
<i>Şebnem Karahançer, Ekinhan Erişkin, Mehmet Saltan, Serdal Terzi, Onur Sarıoğlu, Dicle Özdemir Küçükçapraz</i>	
<i>ASSISTIVE TECHNOLOGIES FOR INDIVIDUALS WITH VISUAL IMPAIRMENT: CONTRIBUTION OF DESIGN IN THE FIELD OF CLOTHING</i>	913-925
<i>Başak Süller Zor, Arzu Vuruşkan</i>	
Derleme Makaleler / Review Articles	
<i>A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF SOFT COMPUTING BASED MPPT TECHNIQUES FOR PARTIAL SHADING CONDITIONS IN PV SYSTEMS</i>	926-939
<i>Okan Bingöl, Burçin Özkaya</i>	



SU KİRLİLİĞİ AÇISINDAN HASSAS ALANLARIN İZLENMESİ: KIZILIRMAK DELTASI-BALIK GÖLÜ

Sema ARIMAN^{1*}, Serdar KOYUNCU²

¹ Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

²Konya Büyükşehir Belediyesi, KOSKİ Genel Müdürlüğü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Kızılırmak Deltası
Balık Gölü,
Hassas Alan,
Su Kalitesi,
Trofik Seviye İndeksi.*

Öz

Bu çalışmada, Kızılırmak Deltası'ndaki hassas alan olan Balık gölünün su kalitesindeki değişiklik zamansal olarak izlenmiş ve gölün trofik durumu (yaşam evresi) belirlenmeye çalışılmıştır. Balık Gölü'nün su kalitesini belirlemek için arazide/anlık olarak, seki disk derinliği (SDD), sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen, laboratuvar ortamında ise klorofil a, Renkli Çözülmüş Organik Madde (CDOM), toplam fosfor (TP), toplam azot (TN), toplam çözülmüş katı (TDS), tuzluluk ve bulanıklık gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Trofik Seviye kriter/indekslerine göre seki disk derinliği, klorofil a (Chl-a) , toplam fosfor ve toplam azot parametre değerleri de kullanılarak gölün trofik durumu belirlenmiştir. Trofik Seviye İndeks (Carlson 1977) sınıflandırmasına göre, mevsimsel değişimlere bağlı olarak, TP, TN, SDD ve Chl-a'nın, ötrofik durumun sınır değerini aştığı (TSI 60-70), hipertrofik durumun yaygın olması nedeniyle gölün kritik durumda olduğu belirlenmiştir.

MONITORING OF SENSITIVE AREAS FOR WATER POLLUTION: KIZILIRMAK DELTA-BALIK LAKE

Keywords

*Kızılırmak Deltası
Balık Lake,
Sensitive Area,
Water Quality,
Trophic Level Index.*

Abstract

In this study, the seasonal changes in the water quality of the Balık Lake, which is the sensitive area in the Kızılırmak Delta, were monitored temporally and the trophic status (life phase) of the lake was investigated. In order to determine the water quality of the Balık Lake, the Secchi disk depth (SDD), temperature, pH, Electrical Conductivity (EC), Dissolved Oxygen (DO) were analyzed in the field; and the chlorophyll a (Chl-a), Color Dissolved Organic Matter (CDOM), Total Phosphorus (TP), Total Nitrogen (TN), Total Dissolved Solids (TDS), salinity and turbidity were studied in the laboratory. In addition, the trophic status of the lake was determined by using the Secchi disk depth, chlorophyll a, total phosphorus and total nitrogen parameter values according to the trophic level criteria / indices. According to the Trophic Level Index classification (Carlson 1977), the TP, TN, SDD and Chl-a exceed the limit value of eutrophic condition (TSI 60-70) depending on the seasonal changes and the lake is in critical condition due to the prevalent hypertrophic status.

Alıntı / Cite

Arıman, S., Koyuncu, S., (2019). Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların İzlenmesi: Kızılırmak Deltası-Balık Gölü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 705-714.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Arıman, 0000-0001-7201-9243
S. Koyuncu, 0000-0002-4757-4680

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.02.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: sema.ariman@samsun.edu.tr, +90-362-312-1919-7665

1.Giriş

Geçtiğimiz yüzyılda, artan şehirleşme ve evsel atık su artışı, sulak alanların ve nehirlerin regülasyonu, artan tarım ve hayvancılık faaliyetleri çoğu sığ gölde besin tuzu yüklemesini (özellikle azot ve fosfor) arttırmış ve ötrofikasyon problemine yol açmıştır (Jeppese 1998). Göllerde aşırı azot ve fosfor yükleri alg patlamasının şiddetini artırmaktadır. Zaman içerisinde, alg ve bitkilerin ölmesi sonucu oluşan organik maddenin bakteriler ile parçalanması sonucu hızla harcanan oksijen nedeni ile su içerisindeki oksijen azalmakta olup, bu da suda oksijene ihtiyaç duyan balıklar başta olmak üzere diğer türlerin zarar görmesine neden olmaktadır (Le vd., 2010).

Avrupa Topluluğu tarafından kabul edilen 'Su Çerçeve Direktifi' (SÇD) doğrultusunda Avrupa'daki sulak ekosistemler ve bunlara bağlı diğer ekosistemlerin ekolojik olarak iyi duruma gelmesini sağlamak amacıyla çalışmalar yürütülmektedir (WFD 2000). Türkiye'de ise Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) su kalitesi yönetimine ilişkin kapsamlı düzenlemeler getirmiştir. Bu yönetmelikte, yerüstü sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirler belirlenmiştir (YSKY 2016). Türkiye'de tatlı su havzalarının çoğu koruma altında olmayıp evsel, endüstriyel ve tarımsal kirlilik kaynaklarının alıcı ortamları şeklindedir. SÇD (2000) ve YSKY (2016)'nin hedefleri doğrultusunda, tatlı su kaynaklarımızın özelliklerinin belirlenmesi, alıcı ortamlarda öngörülen su kalitesi ve ekolojik statüye ulaşmasına imkan verecek tarzda uygun 'Su kalitesi İzleme Çalışmaları' yapılması gerekliliği açıkça ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği hazırlanmasıyla, su kalitesi yönetimine ilişkin kapsamlı düzenlemeler getirilerek, ekosistem prensibi çerçevesinde su kalitesinin korunması ve ülke gereksinimleri doğrultusunda su kalitesinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir su yönetimi hedeflenmiştir. Öte yandan, günümüzde artan şehirleşme ve sanayileşme sonucunda evsel ve endüstriyel atık su miktarında artış, sulak alanların ve nehirlerin regülasyonları, bilinçsiz tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yürütülmesi, taban suyu ve drenaj kanalları vasıtasıyla ekosistem ciddi anlamda azot, fosfor ve potasyum yüklemesine maruz kalmakla birlikte bu durum birçok sulak alan gibi Kızılırmak Deltası için de tehlike arz etmeye başlamıştır. Hatta arazi kullanımındaki değişiklikler, sulama ile drenaj kanallarındaki yenilikler ve balıkçılık benzeri faaliyetler deltadaki sulak alanları doğrudan etkileyerek ekosistem içerisindeki biyoçeşitlilik yok olma tehlikesi ile karşı karşıya bulunmaktadır

(Yeniyurt vd., 2011. Bu nedenle Türkiye'de özellikle sulak alanlardaki kirlenme kaynaklı tehlikelerin sistematik bir şekilde izlenmesi, tespit edilmesi durumunda vakit geçirmeden gerekli müdahalenin ve/veya önlemlerin alınması, geleceğe dair planlamaların yapılması benzer doğa güzelliklerinin korunması açısından önem arz etmektedir.

Kızılırmak Deltası, 1998 yılında 'Ramsar Alanı' içine giren, 'Uluslararası öneme sahip alan' özelliği taşıyan ve Karadeniz Bölgesi'ndeki tek sulak alandır. Deltanın toplam alanı 56000 ha olup, barındırdığı sulak alanların büyüklüğü ise 16110 ha'dır. Delta alanında, birinci, ikinci ve üçüncü derece doğal sit alanları, irili ufaklı sulak bölgeler ve yaban hayatı geliştirme sahaları bulunmaktadır. Deltanın, Karadeniz'e özgü nadir habitat türlerini içermesi, çok sayıda nesli tehlike altında olan bitki, hayvan ve balık (mersin balığı gibi) türüne ev sahipliği yapması, çok sayıda canlı türünün Karadeniz'deki en önemli yaşam alanlarından biri olması, birçok kuş ve iç su balığı türünün hayatlarının belirli dönemlerini geçirdikleri alan olması, yıl boyunca 20 binden fazla su kuşu barındırması önemini daha da arttırmaktadır (Orman Su İşleri Bakanlığı 2013).

Kızılırmak Deltası'nın her iki yakasında deniz kıyısına paralel olarak uzanan sulak alanlar bulunmaktadır. Batı ve doğu sahilinde delta ve kıyı oluşumunu meydana getiren doğal şartlar farklı büyüklüklerde göllerin meydana gelmesini sağlamıştır. Lagün (kıyı göl) özelliği gösteren bu göllerin arasında çok sayıda küçük ve geçici su havzaları yaz aylarında kurumaktadır. Ayrıca bu sulak alanların birçoğu günümüzde, farklı arazi kullanımları (tarımsal vb.), hidrolojik değişimler (sulama ve drenaj kanalları gibi) ve balıkçılık benzeri insan faaliyetlerinin etkisi altında biçim değiştirmiştir. Bu çalışma kapsamında çalışma alanı olarak seçilen ve 1389 hektarlık alana sahip olan Balık Gölü, bu göller içerisinde en büyük yüzey alanına sahip olan göldür (Şekil 1). Kıyısız göllerden biri olan ve Deltanın doğu yakasında yer alan Balık Gölü, 19 Mayıs beldesi (Bafra-Samsun) sınırları içerisinde yaklaşık 1380 ha'lık alanı kaplamaktadır. Balık Gölü'nün denizle bağlantısı olduğundan, diğer göllere göre daha tuzlu olup, göl derinliği 3 m'ye kadar çıkmaktadır (SKDYP, 2019).

Su kaynaklarının havza ölçeğinde bütünlük yönetim yaklaşımı ile SÇD çerçevesinde su kalitesinin artırılması hedeflenmekte ve halen devam etmekte olan AB Mevzuatı'na uyum süreci ve bu süreçte söz konusu olan SÇD'ye uyum çalışmaları çerçevesinde su kaynaklarının havza ölçeğinde yönetimi prensibi benimsenmektedir. Bu kapsamda havza koruma planları hazırlanmakta ve noktasal ve yayılı kaynaklı kirleticiler (konvansiyonel, tehlikeli maddeler veya mikro-kirleticiler) birlikte değerlendirilerek su kütleleri korunmaya ya da kalitesinin artırılması hedefine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ekolojik ve kimyasal durumun tespiti

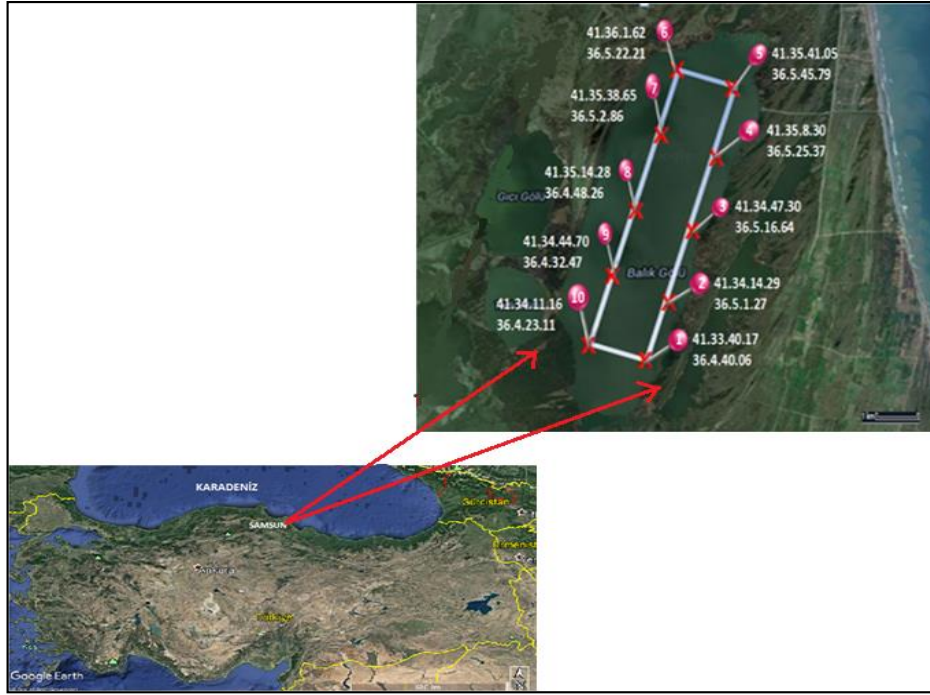
için fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik ve hidro-morfolojik parametrelerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve su kalitesinin iyileştirilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kızılırmak Deltası gibi uluslararası koruma statüsü içerisinde bulunan en büyük göllerden biri olan Balık Gölünün hassas alan olması nedeniyle su kalitesini izleme çalışmaları yürütülerek gölün su kalitesi durumu ve trofik seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Örnekleme Çalışması

Bu çalışma kapsamında, göl yüzeyindeki örnekleme çalışmaları, Nisan-2017- Nisan 2018 tarihleri arasında 10 farklı noktadan aylık olarak ilkbahar, yaz, sonbahar kış mevsimlerinde yapılmıştır (Şekil 1). Gölde örnek alma noktaları, "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği (R.G:10.10.2009/ 27372)"ne uygun olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ölçüm noktaları seçilirken her bir örnekleme noktasının gölün su kalitesini temsil edecek şekilde kuzey-güney yönünde birbirinden yaklaşık 1 km uzaklıktaki 5 ayrı nokta seçilmesi uygun görülmüş ve toplamda 5 x 2'lik bir grid yapısında 10 istasyon belirlenmiştir. Göl suyundan örneklerin alınma ve korunma yöntemleri "İç alanlarda Göl suyu örnekleme Kılavuzu'nda belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır (EPA, 2010). Göl suyundan alınan örnekler, su yüzeyinin 0,2-0,3 m altından alınmıştır. 10 farklı noktadan alınan örnekleme noktalarına ait, koordinat bilgileri (enlem-boylam) ile birlikte alınan örnekler etiketlenerek, analizler yapılmak üzere her bir parametre için uygun olan korunma yöntemlerine göre saklanmıştır. Suyun fizikokimyasal analizleri Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Genel Kimya laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kızılırmak Deltası-Balık Gölü çalışma alanı ve su örnekleme noktaları

2.2. Fiziksel ve Kimyasal Parametreler

Balık gölü yüzeyinden alınan su örneklerinde arazide/anlık olarak, seki disk derinliği (SDD), sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen, laboratuvar ortamında ise klorofil a, Renkli Çözülmüş Organik Madde (CDOM), toplam fosfor (TP), toplam azot (TN), TDS, tuzluluk ve bulanıklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında su örneklerinde, toplam azot "Su ve Atıksu Azotunun Belirlenmesinde Standart Yöntemler (Organik) Toplam azot yöntemi"

SM 4500 N ve toplam fosfor ölçümleri kit ile spektrofotometrik yöntemle DR 6000 marka spektrofotometre ile yapılmıştır. Sıcaklık, pH, ÇO,

iletkenlik, TDS ve tuzluluk değerleri dijital yöntem esasına dayanan Hach Lange Marka HQ40D Model çoklu parametre ölçüm cihazı ile arazide anlık ölçülmüştür. Işık geçirgenliği, Seki disk derinliği arazide anlık olarak tespit edilmiştir. Bulanıklık, Hach Lange Marka 2100 Q (EPA) turbidimetre cihazı ile optik yöntem (NTU) kullanılarak laboratuvar ortamında ölçülmüştür.

Klorofil a, EPA 445.0 "In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin a in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence" metoduna ve renkli çözülmüş organik madde (CDOM) parametreleri Trilogy Laboratory Fluorometer model cihaz ile florometrik yöntemle belirlenmiştir. CDOM

taini için örnekler 0,22 µm pore size'daki filtreden geçirilmiş ve filtrat florometre ile ölçülmüştür. Bütün su örneklerine ait analizler 24 saat içerisinde ve APHA, AWWA ve WEF standartlarına göre yapılmıştır (APHA ve WEF 2005).

3. Sonuçlar

Kızılırmak Deltası Balık gölü su kalitesi üzerine yapılan bu çalışmada 10 örnekleme noktasından ve yüzeyden 0,2-0,3 m derinlikten alınan su örneklerinde fiziko-kimyasal analizler yapılmıştır. Balık gölüne ait su kalite parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Parametrelerin mevsimsel değişimleri ise Şekil 2-6'da sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında, Seki disk derinliği, klorofil a, bulanıklık, toplam fosfor, toplam azot, renkli çözünmüş organik madde parametrelerine ait değerleri, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelikte (2016) belirlenen eşik değerleri ile karşılaştırılarak su kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, hassas alan olan Balık gölünün trofik durumu (yaşam evresi) ve su kalitesindeki dönemsel değişiklik de belirlenmiştir.

3.1. Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

Su sıcaklığı, göl ekosistemi içerisindeki su organizmalarının biyolojik aktivitesini ve büyümesini büyük ölçüde etkiler. Yüksek sıcaklık değerleri normal şartlarda biyolojik aktiviteyi arttırmaktadır. Gölün sıcaklığı yaz boyunca daha yüksek ve kış döneminde en düşük değerlerde olmaktadır (Cunha vd., 2013). İlkbaharda, ortalama 19,27°C; yaz mevsimi boyunca 28,84°C, sonbaharda 18,74°C iken kış döneminde ise 10,71°C'dir. pH aralığı 8,46-8,69 arasında olup, dönemsel çok fazla değişim olmadığı belirlenmiştir. Gölün elektriksel iletkenlik değeri ortalama 1688,22 µs/cm'dir. Elektriksel iletkenliğin arttığı kış döneminde, yağışların artmasına bağlı olarak gölün suyu seviyesindeki yükselmeye bağlı olarak deniz suyu girişimini olduğu gözlenmektedir. Bulanıklık parametresi ise 19,89-62,56 NTU arasında değişmektedir. Özellikle yaz döneminde diğer dönemlere göre yaklaşık 2-3 kat artış olduğu görülmektedir. Seki disk derinliği (SDD), temel olarak, diskin yüzeyinden gelen ışığın yansımalarının bir fonksiyonudur ve bu nedenle, sudaki partikül maddenin çözünme ve absorpsiyon özelliklerinden etkilenmektedir. Askıdaki maddelere bağlı olarak, ışıklı tabakayı belirlemek için komplike olmayan bir indekstir. Genel olarak SDD, göldeki hem konumsal hem de zamansal değişimi göstermektedir (Saluja ve Garg 2017). SDD yaz aylarında yapılan örnekleme minimum, ilkbahar örnekleme maksimum değerine ulaşmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada ortalama Balık gölünün Seki Disk Derinliği, ortalama 0,36 m olup (Tablo 1), YSKY (2016)'ya göre hipertrofik su kalitesi (<1 m) sınıfına girmektedir.

Su içerisinde çözünen oksijen miktarı, suda yaşayan pek çok organizmanın solunum metabolizması için

gereklidir ve birçok besin maddesinin çözünürlüğünü ve kullanılabilirliğini etkilediğinden sudaki ekosistemlerin verimliliğini belirlemektedir. İç sulardaki oksijen dinamikleri; atmosferdeki girdiler, fotosentetik aktivite ve organik maddenin mikrobiyal ayrışması arasındaki dengeyle yönetilir (Saluja ve Garg 2017). Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sonbahar aylarında 11,07 mg/L ile en yüksek değeri; ilkbahar aylarında ise 9,65 mg/L ile en düşük değer olarak belirlenmiştir. Göldeki çözünmüş oksijen değeri ortalama 10,31 mg/L olup, mevsimsel döngüyü takip ettiği gözlenmiştir (Tablo 1). Gölün çözünmüş oksijen seviyesi, YSKY (2016)'ya göre oligotrofik su kalitesi (>7 m) sınıfını göstermektedir. İlkbahar aylarında çözünmüş oksijen değerinin daha düşük olmasının nedeni, organik maddenin bozunması, ayrıştırılması ve bakteriler tarafından solunması yoluyla serbest oksijenin kullanılmasına bağlı olabilir. Yaz aylarındaki sıcaklık artışına paralel olarak çözünmüş oksijen miktarı azalma göstermektedir (Rashidet vd., 2016). Ayrıca meteorolojik parametrelerden olan rüzgar hızının düşük olması da buna bağlı bir neden de olabilir. Su ortamlarına azot, hem doğal hem de insan kökenli faaliyetler sonucu girmektedir. Su ortamına karışan azot bileşikleri birincil üretimi teşvik ederek ötrofikasyona neden olabilir. Ancak ötrofikasyonun asıl kaynağı fosforlu bileşiklerdir (Henry vd., 1984). Azotlu maddelerin kaynağı yağmur suyu ile taşınan atmosferik azot, toprak yapısında bulunan nitrat tuzları olabildiği gibi, tarımsal faaliyetler sırasında topraktan yıkanan, evsel ve endüstriyel atıklardan suya karışan bileşikler de olabilmektedir. Yağışlı iklimlerde, yağmur bitki örtüsü ve topraktan süzülürken akışın azot konsantrasyonu artmakta ve özellikle de nitrat azotu olarak akarsulara ve göllere ulaşmaktadır (Deemer vd., 2011). Ayrıca azot bağlayan mavi-yeşil alg ve bitkiler tarafından atmosferik azotun bağlanması da söz konusudur. Gölde Toplam Azot (TN) konsantrasyonu 4490-6070 µg/L arasında değişmektedir. YSKY (2016)'ya göre değerlendirildiğinde ise göl ekosisteminde yıllık ortalama 4775 µg/L TN olup hipertrofik su kalitesi (>1500 µg/l) durumunu göstermektedir.

Fosfor, doğal suların verimliliğini etkileyen besleyici minerallerin de en önemlisidir. Doğal sularda toplam fosfor yoğunluğu; havzanın morfolojisine, bölgenin jeolojik yapısının kimyasal içeriğine, suya karışan organik madde ve evsel atıklara özellikle deterjan olup olmamasına ve sudaki organik metabolizmaya bağlı olarak değişmektedir. Göllerde ve akarsularda çözünmüş inorganik fosfat, çözünmüş organik fosfat ve organik partiküler fosfat şeklinde bulunmaktadır. Çözünmüş inorganik fosfat fotoototrof üreticiler tarafından alınarak, organik olarak bağlandıktan sonra besin zincirine katılmaktadır (Schwörbel 1987). Fosfor su ortamında meydana gelen ötrofikasyonun da en temel elementidir (Harper 1992). TP değeri, tatlı su sistemlerinde verimliliğin belirlenmesinde baz alınan en önemli unsurlardan biridir. Yaz aylarında TP oranının yüksek olması gölün su seviyesinin düşmesi

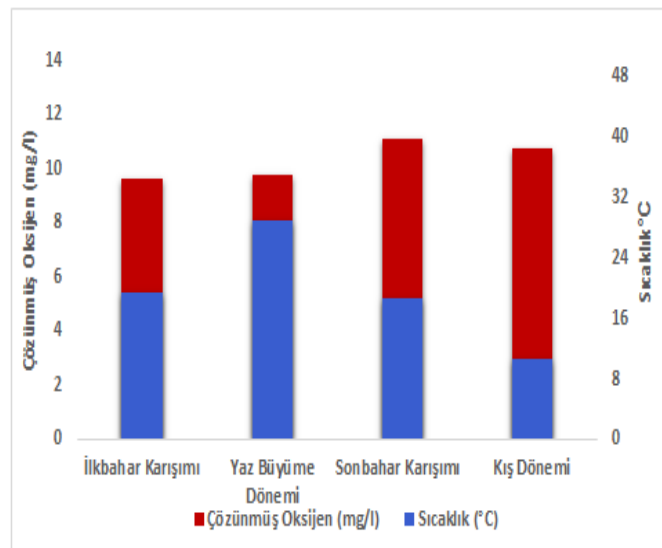
sonucunda meydana gelmektedir. Mikrobiyal aktivitelerin seviyesi sıcaklığa bağlı olarak yükselmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda sedimandan daha fazla miktarda fosfor salınımı gerçekleşmektedir. Fosfor konsantrasyondaki artış, fitoplankton üretimindeki artışa ve alg patlamasına neden olmaktadır. Büyük miktarda çözünmüş organik madde ve fitoplankton ayrışması nedeniyle göl ortamında yüksek değerlerde organik madde konsantrasyona sebebiyet vermektedir (Saluja ve Garg 2017). Buna bağlı olarak toplam fosfor (TP) değeri, kış döneminde en düşük (ortalama 57,95 µg/L), yaz büyüme döneminde ise TP (115,27 µg/L) değeri en yüksek olarak belirlenmiştir. YSKY (2016) yönetmeliğine göre, toplam fosfor seviyesine bağlı olarak gölün ötrofik durumdan (100 µg/l) hipertrofik

duruma (>100 µg/l) doğru geçtiği gözlenmektedir. Toplam fosfor miktarının yaz aylarında artmaktadır. Bunun sebebi ise, özellikle su sıcaklığının artması, tarımsal amaçlı gübre kullanımlarının artması ve gölün su seviyesindeki azalma olabilir. Klorofil-a konsantrasyonu, fitoplankton biyokütle konsantrasyonlarının değerlendirilmesine ışık tutmaktadır. Gölde, Klorofil-a konsantrasyonu 22,76-68,61 µg/L aralığında ve ortalama değeri 28,07 µg/L olarak belirlenmiştir. Göl ortamındaki fitoplankton aktiviteleri ve düşük su seviyeleri nedeniyle klorofil-a konsantrasyonu yaz aylarında en yüksek seviyededir (Parparov ve Gal 2017). YSKY (2016) yönetmeliğine göre göl ekosisteminde klorofil a miktarına bağlı olarak hipertrofik koşulların (>25 µg/l) yaygın olduğu görülmektedir.

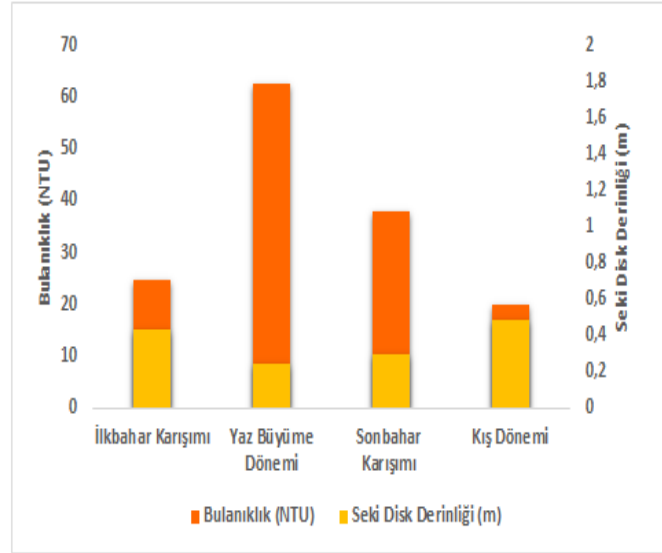
Tablo 1. Kızılırmak Deltası-Balık Gölü Su Kalite Parametre Değerleri (2017-2018)

Parametre	İlkbahar Karışımı	Yaz Büyüme Dönemi	Sonbahar Karışımı	Kış Dönemi	Ortalama
pH	8,55	8,67	8,69	8,46	8,59
Sıcaklık (°C)	19,27	28,84	18,74	10,71	19,39
Tuzluluk (‰)	0,80	0,81	0,93	0,98	0,88
TDS (mg/l)	798,30	805,27	917,60	967,60	872,19
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	9,65	9,78	11,07	10,74	10,31
Elektriksel İletkenlik (µs/cm)	1548,27	1561,00	1771,20	1872,40	1688,22
Bulanıklık (NTU)	24,84	62,56	37,95	19,89	36,31
CDOM (µg/L)	80,44	79,33	57,50	62,49	69,94
Seki Disk Derinliği (m)	0,43	0,24	0,30	0,48	0,36
Klorofil-a (µg/L)	45,13	68,61	48,86	22,76	46,34
Toplam Azot (µg/L)	6070	4560	4490	3980	4775
Toplam Fosfor (µg/L)	70,00	115,27	82,4	57,95	81,41

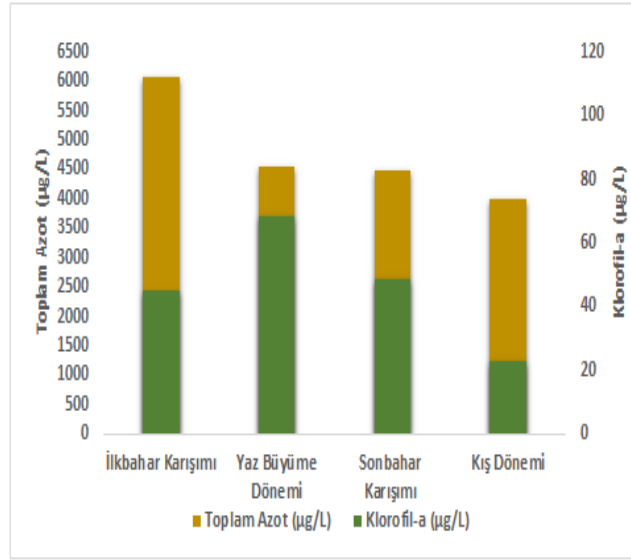
Not: Su kalite parametrelerine ait aylık olarak, 10 örnekleme istasyonuna ait değerlerin ortalaması



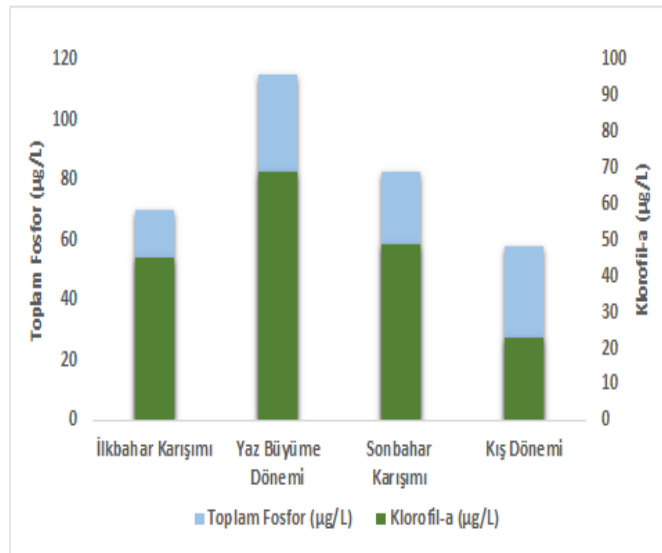
Şekil 2. Balık Gölü'nün mevsimsel değişime bağlı olarak Çözünmüş Oksijen ve Sıcaklık Değerleri



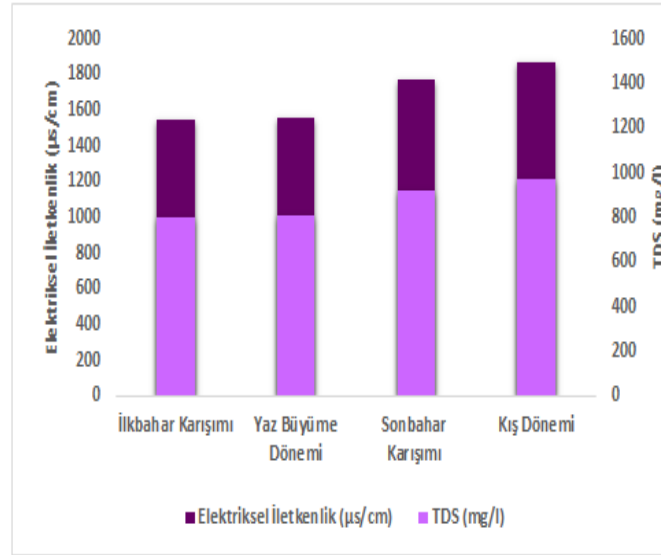
Şekil 3. Balık Gölü'nün mevsimsel değişime bağlı olarak Bulanıklık ve Seki Disk Derinliği Değerleri



Şekil 4. Balık Gölü'nün mevsimsel değişime bağlı olarak Toplam Azot ve Klorofil-a Değerleri



Şekil 5. Balık Gölü'nün mevsimsel değişime bağlı olarak Toplam Fosfor ve Klorofil-a Değerleri



Şekil 6. Balık Gölü'nün mevsimsel değişime bağlı olarak Elektriksel İletkenlik ve TDS Değerleri

3.2. Trofik Durum İndeksi

Göller, bölgesel hidrolojiye ve bozulmamış biyolojik çeşitliliğe katkıda bulunan hassas bir ekosistemdir ve bağımlı nüfusun sosyo-ekonomisini sürdürmede önemli rol oynamaktadır (Rashid vd., 2017). Göllerin su kalitesi özellikleri, göllerin rekreasyonel kullanımı dahil olmak üzere; habitat ve tür çeşitliliğinin belirlenmesinde kritik faktörleri temsil etmektedir (Fuller ve Jodoin 2016). Göllerin sınıflandırılması ve bunların trofik durumlarını belirlemek için çeşitli yöntemler benimsenmiştir. En yaygın kullanılan ve yaygın olarak kullanılan yöntem üretkenliğe dayanmaktadır. En sık kullanılan biyokütle ile ilişkili trofik durum Carlson (1977) indeksidir. Trofik durum indeksi, su kalitesi çalışmalarının önemli bir parçasıdır ve su kalitesi değişkenlerine bağlı olarak birden fazla parametreyi barındırdığı için; bir gölün su kalitesinin analiz edilmesi, hesaplanması ve yorumlanmasına kolaylık sağlamaktadır (Cunha vd., 2013). Trofik besin ilaveleri, zorlayıcı faktörlere biyolojik cevap olarak anlaşılmalıdır, ancak besin maddesi etkisi mevsimsel değişim, karıştırma derinliği gibi parametrelerle de değişebilmektedir. Göl suyunun kalitesinin derecelendirmesi için Trofik Durum İndeksi (Trophic State Index: TSI); Klorofil *a* (Chl *a*), toplam fosfor (TP), toplam azot (TN) ve seki disk derinliği (SDD) parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Tablo 2) (Carlson 1977; Kratzer ve Brezonik 1981). Yapılan bu parametrelere ait ölçümlerin birimleri ve değerleri farklı boyutta olduğu için bu parametreleri birbirleri ile kıyaslamak ve sınırlayıcı parametreyi tespit etmek zor olmaktadır. Tablo 3'de Göllerin trofik durumunun sınıflandırılması ve TSI sınır değerleri verilmektedir (Carlson 1977). Bu indeks bize bir gölü farklı parametreler açısından tüm parametreleri ortak bir ölçekte değerlendirebilme şansı vermektedir (Akyüz 2016).

Bu çalışmada, aylık olarak Nisan 2017-Nisan 2018 tarihleri arasında alınan göl yüzey suyunda, toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), klorofil-a (Chl-a) ve Seki Disk Derinliğinin (SDD) mevsimsel değişimine bağlı olarak, bu parametreler arasındaki ilişkiye göre Carlson (1977) ; Kratzer and Brezonik (1981) Trofik Durum İndeksi (TSİ) değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Balık Gölü'nün trofik durum indeksi mevsimsel olarak değişimi hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmektedir. Balık gölü yıllık ortalama trofik seviye indeks değerleri; TSİ (Chl-a) 67,5; TSİ (SDD) 76,2; TSİ (TN) 176,5; TSİ (TP) 67,1'dir. Gölün özellikle yaz büyüme döneminde, TSİ (Chl-a) 72,08; TSİ (SDD) 80,56; TSİ (TP) 72,6; TSİ (TN) 176,02 değerleri oldukça yüksek olup, diğer mevsimlerde de yaygın olarak hipertrofik durum görülmektedir. Bu nedenle gölde, alg ve makrofit yoğunluğu fazla ve ışık geçirgenliği sınırlıdır. Ayrıca, mevsimsel değişimlere bağlı olarak TP ve SDD trofik seviye indeksi değerlerine göre göl ekosistemi hipertrofik (TSİ, 70-80), TN ve Chl-a değerlerine göre ise ötrofik-hipertrofik durumun (TSİ, 60-70) belirgin olduğu görülmektedir. Cüce ve Bakan (2017)'nin Balık Gölü'nde yaptığı çalışmada genel olarak gölün ötrofik yapıda olduğu ve göl statüsünün kritik duruma olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, bu çalışmada ise mevsimsel değişimlere bağlı olarak, elde edilen sonuçlar, TP, TN, SDD ve Chl-a'nın trofik seviye indeks değerlerine göre, TSI sınıflandırmasına göre ötrofik durumun sınır değerini aşmakta olduğu (TSI 60-70), yaygın olarak hipertrofik durumun oluşması nedeniyle gölün kritik durumda olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Trofik durum indeks değerinin hesaplanması (Carlson 1977; Kratzer ve Brezonik 1981)

Trofik Durum İndeksi	Trofik Durum İndeks Değerinin Hesaplanması
TSI (Chl-a)	$9,81 \cdot \ln(\text{Chl-a}) + 30,6$
TSI (SDD)	$60 - 14,41 \cdot \ln(\text{SDD})$
TSI (TP)	$14,42 \cdot \ln(\text{TP}) + 4,15$
TSI (TN)	$54,45 + 14,43 \cdot \ln(\text{TN})$

*TSI Carlson tarafından ilk kez tanımlandığında TP, Chl-a ve SDD değerlerine göre hesaplanırken, Kratzer ve Brezonik'in yaptığı çalışma (1981) ile TN değeri de ilave edilmiştir.

Tablo 3. Göllerin trofik durumunun sınıflandırılması ve TSI sınır değerleri (Carlson 1977)

TSI	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	SDD (m)	TP ($\mu\text{g/L}$)	Özelliği
<30	<0,95	>8	<6	Oligotrofik: Temiz su, O ₂ , yıl boyunca hipolimnion durumu mevcut
30-40	0,95-2,6	8-4	6-12	Sığ göllerin hipolimnion tabakası oksijensiz olabilir
40-50	2,6-7,3	4-2	12-24	Mezotrofik: Su kısmen temiz, yaz süresince hipolimniondaki oksijensizlik artış gösterebilir
50-60	7,3-20	2-1	24-48	Ötrofik: Hipolimnion oksijensiz, makrofit problemleri de gözlenebilir
60-70	20-56	0,5-1	48-96	Mavi-yeşil algler dominanttır, alg köpükleri ve makrofitler sorun teşkil edebilir.
70-80	56-155	0,25-0,5	96-192	Hipertrofik: Işık verimliliği sınırlar. Algler ve makrofitler yoğundur
>80	>155	<0,25	192-384	Alg köpükleri ve az sayıda makrofit mevcuttur

Tablo 4: Balık Gölün Trofik Durum İndeksi Değerleri

Trofik Durum İndeksi (TSİ)	İlkbahar Karışımı	Yaz Büyüme Dönemi	Sonbahar Karışımı	Kış Dönemi	Ortalama Değerleri
TSİ (Chl-a)	67,97	72,08	68,75	61,25	67,5
TSİ (SDD)	72,16	80,56	77,34	74,72	76,2
TSİ (TP)	65,41	72,61	67,76	62,68	67,1
TSİ (TN)	180,15	176,02	175,80	174,06	176,5

3.3. Kalite ve Kontrol

Laboratuvar analizleri sonucunda göl su örneklerinden elde edilen parametre değerleri ve örnekleme istasyonlarına ait koordinat bilgileri kayıt altına alınmıştır. Analizler/ölçümler % 90-95 güven aralığında yapılmıştır. Rölatif hata oranı %10'dan büyük olması durumunda analizler tekrarlanmıştır. Ayrıca, ilk set analizlerde kalitenin sağlanması ve kontrolü amacıyla her 5 numunede bir kör numune analizi, her 10 numunede bir içeriği bilinen bir laboratuvar kontrol numunesi ile kontroller yapılmış ve sonuçların tatminkar olması durumunda kontrol numunesi sıklığı azaltılmıştır.

4. Tartışma

Bu çalışmada, Kızılırmak Deltası gibi uluslararası koruma statüsü içerisinde bulunan en büyük göllerden biri olan Balık Gölünün su kalitesini izleme

çalışmaları yürütülmüş ve gölün trofik durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Bir su kaynağının amacına uygun olarak kullanılabilmesi için periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. RAMSAR alanı olarak belirlenip koruma altına alınmış olan Kızılırmak Deltası-Balık Gölü 2017--2018 dönemlerini kapsayan süreçte, aylık olarak su kalitesinin fizikokimyasal parametreleri ve trofik durum indeksi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; gölün su kalitesine bağlı olarak zamansal değişimlerinin önemli olduğu ve özellikle yaz aylarında göldeki su seviyesinin düşmesine bağlı olarak ekosistemi önemli olarak olumsuz etkilediği görülmektedir. Antropojenik faaliyetler göl ekosisteminde değişikliklere neden olmuştur. Biyolojik içerikli kirlenici deşarjları, ticari amaçlı balık avı ve yabancı türlerin girişimi ile insan etkisine maruz kalmıştır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmelik (2016)'ine göre ve

Trofik Seviye İndeksine (Carlson 1977) göre, Balık gölü ekosisteminde hipertrofik koşulların yaygın olduğu gözlemlenmektedir. Bunun en önemli sebebi ise, evsel atık sular ile tarımsal faaliyetlerdeki azotlu ve fosforlu gübre kullanımı sebebiyle ortaya çıkan organik ve inorganik madde yüklemeleridir. Arazi kullanımındaki değişiklikler, sulama ile drenaj kanallarındaki yenilikler ve balıkçılık benzeri faaliyetler de deltadaki sulak alanları doğrudan etkileyerek ekosistem içerisindeki biyoçeşitlilik yok olma tehlikesi ile karşı karşıya getirmektedir. Bu nedenle özellikle sulak alanlardaki kirlenme kaynaklı tehlikelerin sistematik bir şekilde izlenmesi, tespit edilmesi durumunda vakit geçirmeden gerekli müdahalenin ve/veya önlemlerin alınması, geleceğe dair planlamaların yapılması benzer doğa güzelliklerinin korunması açısından önem arz etmektedir. Öte yandan, hassas su kütlesi olan ve özel korunan alan statüsündeki Balık gölü'nün farklı koruma önlemlerinin alınması ve izleme yükümlülüklerinin de yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda ekolojik ve kimyasal durumun tespiti için fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik ve hidro-morfolojik parametrelerin birlikte değerlendirilerek, baskıların/etkilerin belirlenmesi ve iyileştirilme çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından, PYO.HUBF.1901.16.001 referans numaralı bilimsel araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Akyüz, D.E., 2016. Trofik Durum İndeksi ile Anahtar Sınırlayıcı Parametrelerin Değerlendirilmesi: Taihu Gölü Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7 (Ek Sayı 1), 194-201.

APHA, AWWA, WEF, (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21th Ed). Washington, DC: American Public Health Association.

Carlson, R. E., Simpson, J., 1996. A coordinator's guide to volunteer Lake monitoring methods. Madison: North American Lake Management Society.

Carlson, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, 22, 361-369.

Cunha D.G.F., Calijuri M. C., Lamparelli M.C., 2013. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). Ecological Engineering, 60, 126- 134.

Cüce, H. ve Bakan, G., 2017. Siğ Bir Gölde Sediman Kalitesinin Trofik Duruma Etkisinin Değerlendirilmesi; Balık Gölü Örneği (Kızılırmak Deltası), Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt:7, Sayı:1, 2017,83-97.

Deemer, B. R., Harrison J.A., Whitling, E.W., 2011. Microbial dinitrogen and nitrous oxide production in a small eutrophic reservoir: An in situ approach to quantifying hypolimnetic process rates, Limnology and Oceanography 56(4): 1189-1199.

Harper, D., 1992. Eutrophication of fresh waters: Principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London, UK.

Henry. R., Tundisi, J.G., Curi, P.R., 1984. Effects of phosphorus and nitrogen enrichment on the phytoplankton in a tropical reservoir. Hydrobiologia, 118, 177-85.

Jeppesen, E., Sondergaard, M., Jensen, J.P., Mortensen, E., Hansen, A.M. and Jorgensen, T., 1998. Cascading Trophic Interactions from Fish to Bacteria and Nutrients after Reduced Sewage Loading: An 18-Year Study of a Shallow Hypertrophic Lake, Ecosystems, 1, 250-267.

Kratzer, C.R., and Brezonik, P.L., 1981. A Carlson-type Trophic State Index for Nitrogen in Florida lakes. Water Res. Bull., Am. Water Res. Assn. 17(4), 713-715, 1057-1060.

SKDYP 2019-2023. Samsun Kızılırmak Deltası Sulak Alan ve Kuş Cenneti Doğal Sit Alanları Yönetim Planları. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Le, C. Zha, Y., Li, Y. Sun, D. Lu, H. Yin, B., 2010. Eutrophication of Lake Waters in China: Cost Causes, and Control. Environmental Management 45, 662-668 DOI 10.1007/s00267-010-9440-3.

Parparov, A., Gal, G., 2017. Quantifying Ecological Stability: From Community to the Lake Ecosystem. Ecosystems, 20, 1015-1028. DOI: 10.1007/s10021-016-0090-z.

Samsun Kızılırmak Deltası Doğal Sit Alanları Sulak Alan ve Kuş Cenneti (2019-2023) Yönetim Planı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü, Ankara.

Saluja, R., Garg, J.K., 2017. Trophic state assessment of Bhindawas Lake, Haryana, India. Environment Monitoring Assessment 189, 32. DOI 10.1007/s10661-016-5735-z.

- Schwörbel, J., 1987. Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer Verlag, 269 p, Stuttgart.
- Sulak Alanlar, 2013. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, Ankara.
- U.S.EPA, 2010. National Lakes Assessment: Technical appendix data analysis approach. EPA/841/R/09/001a. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development.
- Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) (2012;2016). 30.11.2012, Sayı: 28483; Sayı : 29797.
- Yeniyurt, C., Hemmami, M., Çağırankaya, S., Koopmanschap E. 2011. Türkiye'nin Ramsar Alanlarında Sulak Alan Yönetim Planları Değerlendirme Raporu. Doğa Derneği, Ankara, Türkiye.



YÜRÜYEN DALGALI TÜP KUVVETLENDİRİCİLERİNDE İLETİM SABİTLERİNİN İNCELENMESİ

Agâh Oktay ERTAY^{1,2}, Serkan ŞİMŞEK¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Demet-Dalga Etkileşimi,
Pierce Teorisi,
Yürüyen Dalgalı Tüpler
(YDT'ler),
YDT İletim Sabitleri,
Uzay Yükü.

Öz

Bu çalışmada tipik bir yürüyen dalgalı tüp kuvvetlendiricisindeki (TWT) elektron demeti ile elektromanyetik dalganın etkileşimi sonucu elde edilen TWT iletim sabitlerinin davranışı incelenmiştir. Öncelikle, TWT demet dalga etkileşiminden dispersiyon denklemi çıkarılmıştır. Elde edilen denklem, Pierce normalizasyon parametreleri kullanılarak basitleştirilmiştir. Farklı Pierce normalizasyon parametre takımları için TWT'ye ait tüm dalga tipi çözümlerin davranışları TWT'nin artırılmış iletim sabitlerine bakılarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda üç ana durum ele alınmıştır. Bu üç ana durumun her birinde sırasıyla sadece senkronizasyon, uzay yükü ve devre kaybı parametreleri belirli bir değer aralıklarında süpürülmüştür ve ilgili diğer normalizasyon parametreleri sabit alınmıştır. Böylece TWT'deki dalga tipi çözümlerin artırılmış iletim sabitlerinin kök-yer eğrileri derinlemesine incelenmiştir.

INVESTIGATION OF PROPAGATION CONSTANTS IN TRAVELING WAVE TUBE AMPLIFIERS

Keywords

Beam-Wave Interaction,
Pierce Theory,
Traveling Wave Tubes
(TWT's),
TWT Propagation
Constants,
Space Charge.

Abstract

In this study, behavior of TWT propagation constants obtained from interaction of electron beam and electromagnetic wave in a typical traveling wave tube amplifiers is analyzed. First of all, dispersion equation is derived from TWT beam-wave interaction. Acquired equation is simplified by using Pierce normalization parameters. Behaviors of all wave-type solutions related to TWT are determined for different Pierce normalization parameter sets by looking incremental propagation constants of TWT. In this context, three main cases are considered. In each of three main cases, only synchronization, space charge and circuit loss parameters are swept in a certain value range and other related normalization parameters are taken constant, respectively. Hence, root-locus curves of incremental propagation constants of wave type solutions in TWT are deeply analyzed.

Alıntı / Cite

Ertay, A. O., Şimşek, S., (2019). Yürüyen Dalgalı Tüp Kuvvetlendiricilerinde İletim Sabitlerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 715-724.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. O. Ertay, 0000-0001-6791-0947
S. Şimşek, 0000-0003-0964-2176

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.12.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	10.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

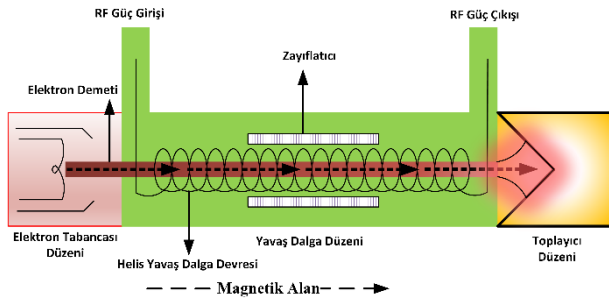
Bir bilgi işaretinin arzu edilen bir noktadan istenen bir noktaya gönderilme ihtiyacı haberleşme sistemlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu noktada bir

haberleşme sisteminde temelde verici, alıcı ve iletim ortamından oluşan üç ana sistem yer almaktadır. Bu üç ana sistem içerisinde verici işaretinin alıcı noktasına kayıpsız ve verimli bir şekilde iletilmesine katkı sağlayan işaret kuvvetlendirici sistemleri

* İlgili yazar/ Corresponding author : aoertay@itu.edu.tr, +90-212-285-7400

bulunmaktadır. Günümüzde özellikle haberleşme uyduları için işaret kuvvetlendirmesini gerçekleştiren Katı Hal Güç Kuvvetlendiricileri (Solid State Power Amplifiers-SSPA) ve Yürüyen Dalgalı Tüp Kuvvetlendiricileri (Traveling Wave Tube Amplifiers-TWTA) bulunmaktadır (Pierce, 1950; Gilmour 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Kesari ve Basu 2018). Teknolojik olarak birbiri ile sürekli rekabet içinde bulunan bu sistemlerin içerisinde TWTA'lar, haberleşme uydularında SSPA'lara göre özellikle yüksek frekanslarda daha yüksek çıkış gücü ve verimlilik sağlayabildiklerinden dolayı (Qiu vd. 2009) oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

1940'lı yıllardan beri vakum tabanlı bir güç kuvvetlendiricisi olarak kullanılan TWTA'larda Şekil 1'de görüldüğü gibi üç ana çalışma düzeni bulunmaktadır. Her biri oldukça karmaşık çalışma düzenine sahip bu üç ana düzenden biri olan elektron tabancası RF işaretin etkileşime gireceği elektron demetinin uygun biçimde oluşturulmasını ve sisteme uygulanmasını sağlamaktadır. Sisteme verilen elektron demeti ile RF giriş işaretinin istenilen aksel mesafede uygun koşullarda etkileşerek RF işaret çıkışından alınmasını sağlayan yavaş dalga düzeni sistemin ikinci ana çalışma düzenini oluşturmaktadır. Sistemde enerjisi azalmış elektronların RF çıkış işaretine pozitif katkı yapacak ölçüde (yüksek verimde) toplanmasını sağlayan mekanizma toplayıcı düzendir.



Şekil 1. Bir Yürüyen Dalgalı Tüp (TWT) sisteminin genel görünümü.

Bir TWTA sisteminde yavaş dalga düzenindeki işaret kuvvetlendirme mekanizmasının anlaşılması ve gerekli çalışma isterlerine ulaşmak için uygun parametrelerin seçimi haberleşme sisteminin verimli kullanılması açısından oldukça gereklidir. Bu doğrultuda elektron demeti ile helis yavaş dalga devresindeki elektromanyetik dalganın yavaş dalga düzeni içerisindeki etkileşiminin matematiksel olarak irdelenmesi büyük önem arz etmektedir. TWT çalışma mekanizmasında küçük işaret seviyesinde Demet-Dalga etkileşiminde dispersiyon denkleminin çözümünü içeren bu durum birçok çalışmada incelenmiştir (Pierce, 1947; Birdsall ve Brewer 1954; Brewer ve Birdsall 1957; Booske ve Converse 2004; Wong vd. 2018; Qiu vd.2018). Bu çalışmalarda basit formdaki bir TWT'deki dispersiyon denklemi çözülmüş ve elde edilen dalga çözümlerinin TWT

kazanç performansına etkileri ele alınmıştır. Bununla beraber, artırılmış iletim sabitlerinin genel davranışlarının (Pierce, 1947; Birdsall ve Brewer 1954; Brewer ve Birdsall 1957; Ertay ve Şimşek, 2017) incelendiği çalışmalarda, çözülen kompleks köklerin yer aldığı kök-yer eğrilerinin çıkarımı ve genel davranışlarının detaylı incelenmesine yeterince girilmemiştir. Bu araştırma makalesinde yeni bir bakış açısı ile bu eksiklikleri giderecek detaylı bir inceleme yapılarak literatüre bu noktada katkı sağlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle, tek helisli TWT'lerde meydana gelen Demet-Dalga etkileşimi mekanizmasının ve literatürde yer alan Pierce normalizasyon parametrelerinin (QC, b, d) Demet-Dalga etkileşimine etkisinin araştırılması yapılmıştır. Temel kabuller altında problem basit bir biçime indirgenerek çözümler yapılmıştır. Demet-Dalga etkileşimini içeren dispersiyon denklemi verilmiştir. Çözümlerden elde edilen dalgaların kökleri incelenerek davranış tipleri belirlenmiştir. Her bir Pierce parametre takımı belirli aralıkta serbest bırakılıp, serbest bırakılan parametre dışındaki normalizasyon parametreleri sabit alınarak dispersiyon denkleminde elde edilen köklerin davranışı incelenmiştir. Elde edilen kompleks köklerin kök-yer eğrileri çıkarılmıştır ve farklı Pierce parametreleri için kök-yer eğrilerinden köklerin davranışları incelenmiştir.

İlerleyen bölümlerde lineer bölgede ele alınan temel düzeyde bir TWT'nin Demet-Dalga etkileşimi sonucunda ortaya çıkan iletim sabitlerinin davranışı ve kök-yer eğrilerinin değişimi detaylı olarak incelenmiş, sonuçlar ve değerlendirmeler verilmiştir.

2. TWT Demet-Dalga Etkileşim Denklemi

Tipik bir TWT'de meydana gelen Demet-Dalga etkileşiminin incelenmesi için öncelikle ele alınacak koşulların basitleştirilmesi gereklidir. Bu doğrultuda aşağıda belirtilen temel varsayımlar dikkate alınmalıdır (Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017):

- Elektron demeti hareketinin sadece aksel yönde ve düzgün bir forma sahip olduğu kabul edilmiştir.
- Elektron demet hızının ışık hızından görece küçük olduğu kabul edilmiştir.
- Elektron demet hızının alternatif akım bileşenlerinin doğru akım bileşenlerine göre oldukça küçük olduğu kabul edilmiştir.

Analizi basitleştirici bu kabuller ile birlikte, $e^{j\omega t - \Gamma z}$ (ω : açısal frekans ve Γ : TWT iletim sabiti) zaman bağımlılığı dikkate alınmıştır. TWT'nin yavaş dalga düzeninde bulunan yavaş dalga devresi ile elektron demetinin etkileşimi birbirine yakın olan iletim hattı devresi ile elektron demetinin etkileşimi olarak ele alınmıştır (Pierce, 1947). Bu durumda Demet-Dalga etkileşiminin uygun analizi açısından ortaya iki durum çıkmaktadır. Uzay yükü etkilerinin olmadığı varsayımı altında, yavaş dalga devresinin elektronların hareketini etkilediği aksel elektrik alan (E_{eks}) bir

durumu (devre denklemi), aksenal elektrik alandan kaynaklanan elektron demetindeki aksenal akım (i_{eks}) diğer durumu (elektronik denklemi) meydana getirmektedir. Matematiksel çıkarımlarına detaylı olarak (Pierce, 1950; Gilmour 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017) literatürde yer verildiği devre ve elektronik denklemleri sırasıyla eşitlik (1) ve (2)'de ifade edilmektedir.

$$E_{eks} = \frac{\Gamma^2 \Gamma_0 Z_0}{\Gamma_0^2 - \Gamma^2} i_{eks} \quad (1)$$

$$i_{eks} = \frac{j\beta_e I_0}{2V_0(j\beta_e - \Gamma)^2} E_{eks} \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'de yer alan Γ , Γ_0 , Z_0 , I_0 , V_0 ve β_e ifadeleri sırasıyla TWT iletim sabiti, eşdeğer iletim hattı devresi ile modellenen yavaş dalga devresinin iletim sabiti ve karakteristik empedansı, dc demet akımı, elektronların hızlandırılmasını sağlayan dc demet gerilimi ve elektronların faz sabitini göstermektedir. Elektron demetinin faz sabiti ω/u_0 ile ifade edilmekte olup ($u_0 = 5.93 \times 10^5 \sqrt{V_0}$ m/s) ortalama elektron hızıdır ve demet gerilimine bağlıdır.

Uzay yükü etkilerinin olmadığı durumda eşitlik (1) ve (2) ifadeleri i_{eks} ile E_{eks} arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaktadır. Bu iki denklemin bu koşullar altında bir araya getirilmesi sonucu (3) no'lu dördüncü dereceden genel denklem elde edilmektedir.

$$\frac{j\beta_e I_0 Z_0 \Gamma^2 \Gamma_0}{2V_0(\Gamma_0^2 - \Gamma^2)(j\beta_e - \Gamma)^2} = 1 \quad (3)$$

Elektron demetinin elektron tabancasından çıkıp yavaş dalga düzenini geçmesinden sonra yavaş dalga devresi ile etkileşime başlaması sonucunda oluşan kümelenmiş elektron demetinin yükü yavaş dalga devresinde ilerleyen dalganın oluşturduğu elektrik alana ek bir elektrik alan getirmektedir. Bu durumda eşitlik (2)'de uzay yükü etkilerinden kaynaklanan elektrik alanın dikkate alınması ile ve detaylı matematiksel işlemler sonucunda (Pierce, 1947; Gilmour, 1994; Gilmour, 2001, Ertay, 2017) eşitlik (4)'teki gibi bir Demet-Dalga etkileşim denklemi elde edilmektedir.

$$\frac{j\beta_e I_0 \Gamma}{2V_0(j\beta_e - \Gamma)^2} \left[\frac{Z_0 \Gamma \Gamma_0}{2(\Gamma_0^2 - \Gamma^2)} - \frac{j\Gamma}{\omega C_1} \right] = 1 \quad (4)$$

(4) no'lu dispersiyon denkleminde eşitliğin sol tarafındaki ikinci terim uzay yükü etkilerinin oluşturduğu katkıyı göstermektedir. (4) no'lu eşitlikte yer alan C_1 ifadesi eşdeğer iletim hattı ile modellenen yavaş dalga devresi ile elektron demeti arasında oluşan birim uzunluktaki kapasiteyi göstermektedir (Pierce, 1950; Gilmour, 1994; Ertay ve Şimşek, 2017). Uzay yükü etkileri de dikkate alınarak, ifadelerin daha basit ve anlaşılabilir bir formda açıklanması açısından bazı normalizasyon parametreleri

kullanılmıştır. Buna göre, eşitlikler (5)'de, (6)'da ve (7) ile (8)'de TWT terminolojisinde sıkça kullanılan Pierce normalizasyon parametreleri (Q, C, b, d) (Pierce, 1950; Gilmour 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017) yer almaktadır.

$$Q = \frac{\beta_e}{2\omega C_1 Z_0} \quad (5)$$

$$C = \left(Z_0 \frac{I_0}{4V_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$b = \frac{\left(\frac{u_0}{v_f} - 1 \right)}{C} \quad (7)$$

$$d = \frac{\alpha}{\beta_e C} \quad (8)$$

Eşitlik (5)'te, (6)'da, (7)'de ve (8)'de yer alan v_f , α , Q , C , b , ve d ifadeleri sırasıyla yavaş dalga devresine ait faz hızı ve zayıflama sabiti, uzay yükü parametresi, kazanç parametresi, demet ve dalga hızı arasındaki senkronizasyon parametresi ve devre kayıp parametresidir. v_f , yavaş dalga düzeninde kullanılan yavaş dalga devresinin elektron demeti mevcut değilken (soğuk analiz), alan analizlerinden (Jain vd., 1987; Jain vd., 1992; Ghosh vd., 1997; D'Agostino vd., 1998; Ertay ve Şimşek 2018) veya üç boyutlu elektromanyetik benzetim ortamlarında yavaş dalgalı yapı modellenmesi yapılarak elde edilebilecek, dispersiyon ilişkisinden ortaya konabilen bir büyüklüktür. Pierce kazanç parametresi C elektron demeti ile yavaş dalga devresi arasındaki etkileşim yoğunluğunun ölçüsünü göstermektedir. Tipik bir TWT için kazanç parametresi $C \ll 1$ mertebelerinde olabilmektedir. Birbiri ile etkileşim halindeki elektron demetinin ve elektromanyetik dalganın hızlarının aynı olduğu durum senkron durumu ifade etmektedir ve bu durum eşitlik (7)'de u_0/v_f oranının 1 olmasına karşılık düşer böylece hız senkronizasyon parametresi 0'a eşit olmaktadır. Bu durumda yavaş dalga devresi ile elektron demeti faz sabitleri arasında $\beta_0 = \beta_e$ eşitliği yazılabilmektedir. Elektron demetinin ve elektromanyetik dalganın hızlarının farklı olduğu durum senkron olmayan durumu ifade etmektedir ve bu durumda ilgili faz sabitleri arasında $\beta_0 = \beta_e(1 + Cb)$ ilişkisi yazılabilmektedir. Yavaş dalga devresinin zayıflama sabitinin $\beta_e C$ çarpımına oranı kayıp parametresini vermektedir. TWT'nin iletim sabitlerinin genel olarak bulunabilmesi için Pierce artırılmış iletim sabiti yaklaşımını öne sürmüştür (Pierce, 1947). Buna göre, birbirileri ile etkileşimde olan Demet-Dalga mekanizmasında oluşan TWT iletim sabiti Γ eşitlik (9)'da verilmiştir. Eşitlik (9) senkron, senkron olmayan durum ve devre zayıflaması gibi tüm durumları içeren iletim sabitlerini ifade etmektedir.

$$\Gamma = j\beta_e - \beta_e C \delta \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da yer alan δ , eşitlik (10)'da belirtilmiş olup, TWT'nin her bir dalga çözümüne ait artırılmış iletim sabiti bileşenlerini göstermektedir.

$$\delta = x_n + jy_n, \quad n = 1, 2, 3 \quad (10)$$

Yavaş dalga devresi iletim sabiti Γ_0 eşitlik (11)'deki gibi yazılabilmektedir.

$$\Gamma_0 = j\beta_e + j\beta_e Cb + \beta_e Cd \quad (11)$$

Eşitlik (5)'te, (6)'da, (7)'de, (8)'de, (9)'da ve (11)'de yer alan ifadeler (4) no'lu eşitlikte yerine yazıldığında ve $C \ll 1$ kabulü dikkate alındığında eşitlik (12)'de yer alan üçüncü dereceden denklem elde edilmektedir.

$$(j)\delta^3 + (b - jd)\delta^2 + (j4QC)\delta + ((-1 - 4QCb) + j4QCd) = 0 \quad (12)$$

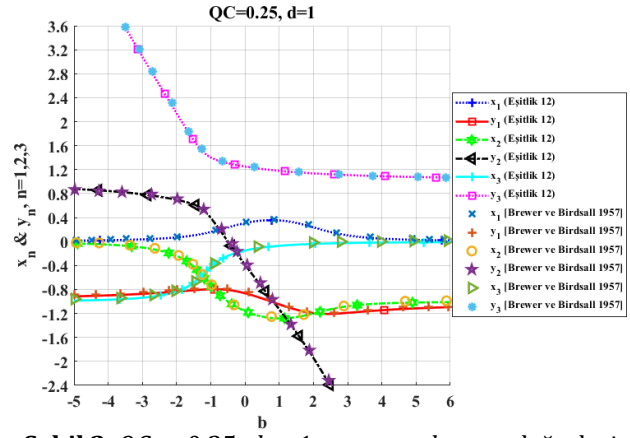
Eşitlik (12)'nin çözümleri eşitlik (10)'daki kompleks kökleri vermektedir. Eşitlik (12)'de verilen QC çarpımı elektronlar üzerindeki genleşme kuvvetlerinin kümelenme kuvvetlerine bağlı mukavemetinin ölçüsü olarak kabul edilmektedir ve uzay yükü etkilerini içermektedir (Gilmour, 1994). Ek olarak, adı geçen aynı eşitlik demet-dalga hız ilişkisini ve yavaş dalga devresinin zayıflama etkilerini de içermektedir. Eşitlik (9)'da belirtilen TWT iletim sabiti, $e^{j\omega t - \Gamma z}$ dalga tanımında yerine yazıldığında eşitlik (13) elde edilmektedir.

$$e^{j\omega t - \Gamma z} = e^{j\omega t} e^{j\frac{\omega}{u_0} Cx_n} z e^{-j\left[\frac{\omega}{(1-Cy_n)}\right]z} \quad (13)$$

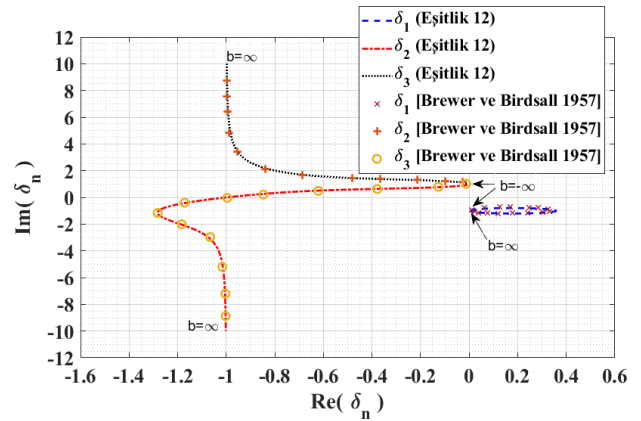
Eşitlik (13)'te de görüleceği üzere, elde edilen kompleks çözümlerin reel kısımları TWT'de ortaya çıkan dalgaların genliğinin davranışı hakkında bilgi vermekte olup, sanal kısımları ise aynı dalga çözümlerine ait hızların elektron demet hızından ne kadar farklı olduğunun ölçüsünü belirtmektedir. Eşitlik (12)'den elde edilen kompleks köklerin eşitlik (13)'te verilen genlik ve faz ifadelerine etkisi b , d ve QC parametrelerinin farklı değerleri için belirlenebilmektedir.

3. Sayısal Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu bölümde eşitlik (12)'nin Pierce parametrelerinin mümkün olabilecek farklı durumları için çözümleri yer almaktadır. Öncelikle, üçüncü dereceden TWT dispersiyon denklemi eşitlik (12)'nin $QC = 0.25$ ve $d = 1$ ve $-\infty < b < \infty$ değerleri için elde edilen sonuçlar ile literatürde mevcut aynı durum için dördüncü dereceden TWT dispersiyon denkleminin çözümünden elde edilen sonuçlar [Brewer ve Birdsall, 1957] Şekiller 2 ve 3'teki gibi karşılaştırılmıştır. Eşitlik (12)'nin çözümü ile elde edilen artırılmış iletim sabitlerine ait reel ve sanal kısımlara ait çözümlerin literatürde verilen sonuçlar ile mükemmel bir uyuma sahip olduğu Şekiller 2 ve 3'ten açıkça görülmektedir.

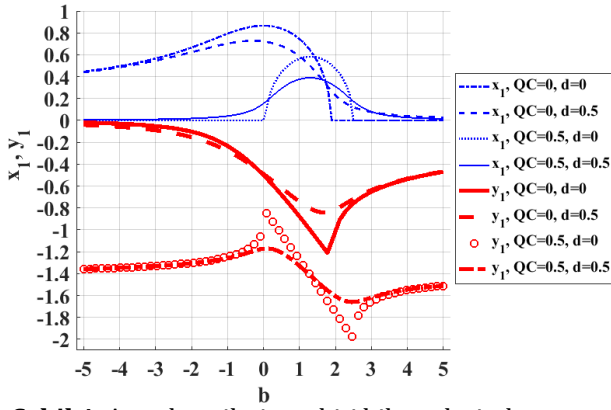


Şekil 2. $QC = 0.25$, $d = 1$ ve $-\infty < b < \infty$ değerleri için eşitlik (12) ve literatüre ait reel ve sanal kısımlara ilişkin çözümlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3. $QC = 0.25$, $d = 1$ ve $-\infty < b < \infty$ değerleri için eşitlik (12) ve literatüre ait δ düzleminde çözümlerinin karşılaştırılması.

Eşitlik (12)'nin çözümü literatür ile doğrulandıktan sonra dört farklı durum için Şekil 4-9'da ele alınmıştır. Bu dört farklı durumdan ilki uzak yükü etkilerinin ve devre kaybının olmadığı durumu ($QC = 0$, $d = 0$), ikincisi sadece devre kaybı etkilerinin dikkate alındığı durumu ($QC = 0$, $d = 0.5$), üçüncüsü sadece uzay yükü etkilerinin dikkate alındığı durumu ($QC = 0.5$, $d = 0$), son durum ise her iki etki mekanizmalarının da dikkate alındığı durumu ($QC = 0.5$, $d = 0.5$) ifade etmektedir. Her bir durumun artırılmış iletim sabitlerinin davranışını içeren sonuçlar Şekil 4-9'da verilmektedir.



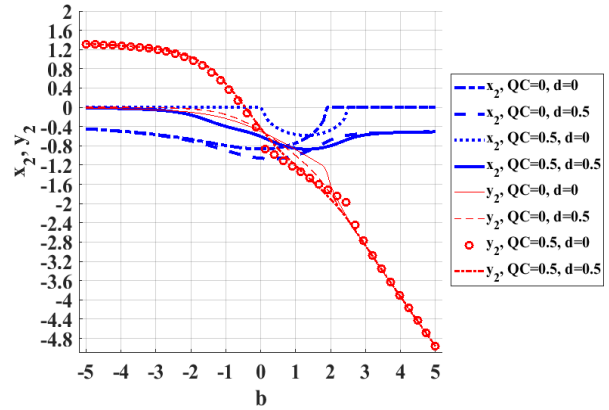
Şekil 4. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden artan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC, d değerleri için senkronizasyon parametresine göre değişimi.

Şekil 4'de, açıklanan dört farklı durumu içeren kompleks kök çözümlerinden biri verilmektedir. Buna göre, dört farklı durum için elde edilen kompleks çözümün reel kısmı, seçilen b değerlerinde daima sıfırdan büyük olmaktadır. Şekil 4'de bulunan x_1 değerleri eşitlik (13)'te yerine konursa elde edilen dalga tipi çözümünün artan dalga olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, elde edilen kompleks çözümün sanal kısmı seçilen b değerlerinde daima sıfırdan küçüktür. Bulunan y_1 değerleri eşitlik (13)'te yerine konursa elde edilen dalga tipi çözümünün elektron demeti ile aynı yönde ve ortalama elektron hızından yavaş olduğu görülmektedir. Sonuç olarak artan ileri dalga bileşeni bulunmuş olmaktadır. Ayrıca farklı dört durum için Şekil 4 incelendiğinde uzay yükü parametresi QC 'nin x_1 'i belirli bir b değer aralığında sınırladığı ve artan ileri dalganın hızını da eşitlik (13) incelenirse düşürdüğü görülmektedir. Devre kaybının mevcut olması çözümün reel kısmı değerini düşürmektedir (Pierce, 1950; Gilmour, 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017) ve bu durum artan ileri dalga karakteristiğine negatif katkı sunmaktadır.

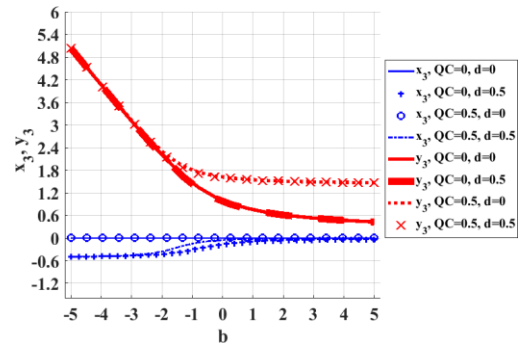
Şekil 5'te eşitlik (12)'nin çözümünden elde edilen bir diğer kompleks kök çözümü görülmektedir. Şekil 5'te görülmektedir ki, dört farklı durum için elde edilen kompleks kökün reel kısmı seçilen b değerlerinde daima sıfırdan küçük olmaktadır. Bu durumda elde edilen x_2 eşitlik (13)'te yerine yazıldığında ele alınan dalga tipi çözümün azalan dalga olduğu görülmektedir. Bunun yanında, b 'nin çok küçük değerleri için y_2 değerlerinin pozitif bir sabite yakınsadığı ve b 'nin çok büyük değerleri için y_2 değerlerinin oldukça düşmekte olduğu görülmektedir. Eşitlik (13) 'te ilgili bu kompleks kökün sanal kısmı yerine konduğunda elde edilen dalga tipi çözümün elektron demeti ile aynı yönde ve elektron demet hızından daha yavaş olduğu görülmektedir (Pierce, 1947; Gilmour, 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017).

Şekil 6'da eşitlik (12)'nin çözümünden gelen son kompleks kökün reel ve sanal kısımlarının değişimi

verilmektedir. Şekil 6'da açıkça görülmektedir ki, dört farklı durum için elde edilen kompleks kökün reel kısmının seçilen b değerleri için ciddi oranda değişmediği görülmektedir. Elde edilen bu durum eşitlik (13)'te yerine konursa kompleks kökü elde edilen dalga tipi çözümün genliğinin zayıflamadığı görülmektedir. Dört farklı durum için elde edilen kompleks çözümün sanal kısmı ise seçilen b değer aralığında daima pozitifdir. Eşitlik (13)'te bu durum yerine konursa elde edilen dalga tipi çözümün hızının elektron demeti hızından daha büyük olduğu görülmektedir (Pierce, 1947; Gilmour, 1994; Gilmour 2011; Basu, 1996; Pierce, 1947; Ertay ve Şimşek, 2017).



Şekil 5. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden azalan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC, d değerleri için senkronizasyon parametresine göre değişimi.



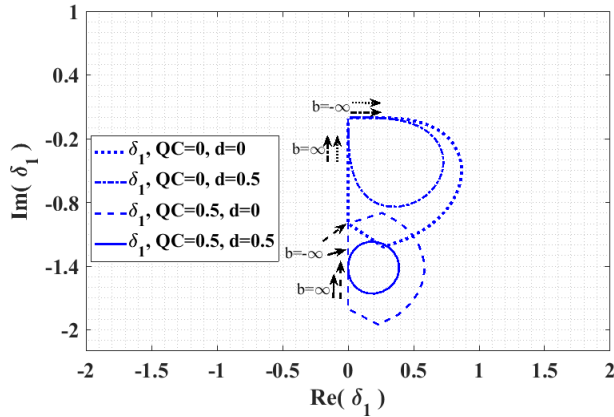
Şekil 6. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden zayıflamayan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC, d değerleri için senkronizasyon parametresine göre değişimi.

Eşitlik (12) 'nin dört farklı durum için çözümü sonucu çıkan üç kompleks kökün kök-yer eğrileri Şekil 7-9'da verilmektedir. Dalga tipi çözümlerin yorumlanması açısından kök-yer eğrilerinin konumları aşağıdaki gibi değerlendirilebilmektedir:

- $Re(\delta_n) > 0, Im(\delta_n) > 0 \Rightarrow I. Bölge$
- $Re(\delta_n) < 0, Im(\delta_n) > 0 \Rightarrow II. Bölge$
- $Re(\delta_n) < 0, Im(\delta_n) < 0 \Rightarrow III. Bölge$
- $Re(\delta_n) > 0, Im(\delta_n) < 0 \Rightarrow IV. Bölge$

I. bölgede olabilecek kökler eşitlik (13) için yerine konursa, ilgili çözümler artan ya da zayıflamayan dalga olabilir ve bu dalganın hızı elektronların hızından büyüktür. II. bölgede olabilecek kökler eşitlik

(13) için yerine konursa, ilgili çözümler azalan ya da zayıflamayan dalga olabilir ve bu dalganın hızı elektronların hızından büyüktür. III. Bölgede olabilecek kökler eşitlik (13) için yerine konursa, ilgili çözümler azalan ya da zayıflamayan olabilir ve bu dalganın hızı elektronların hızından küçüktür. IV. bölgede olabilecek kökler eşitlik (13) için yerine konursa, ilgili çözümler artan ya da zayıflamayan dalga olabilir ve bu dalganın hızı elektronların hızından küçüktür. Şekil 7'de dört farklı durum için elde edilen artan ileri dalgaya ait artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin kök-yer eğrileri verilmektedir. Şekil 7'de görülmektedir ki, olabildiğince geniş ölçekteki b değer aralığı için $(-\infty < b < \infty)$ kök-yer eğrilerinin dört farklı durum için de kendi üzerine kapandığı görülmektedir. Devre kaybı parametresinin artması geniş ölçekteki b değer aralığı için kök yer eğrilerinin bir noktadan başlayıp aynı noktada daha dar bir değer aralığı bölgesinde sınırlandırılmış göstermektedir. Sadece uzay yükü etkilerinin artması artan ileri dalga kök-yer eğri karakteristiğinin δ düzleminde sanal eksen boyunca negatif yönde kaymasına yol açmaktadır. Ek olarak, Şekil 7'de dört farklı durum için elde edilen kök çözümünün sürekli IV. bölgede bulunduğu görülmektedir ve bu durum elde edilen çözümün artan ileri dalga (δ_1) olduğunu doğrulamaktadır.

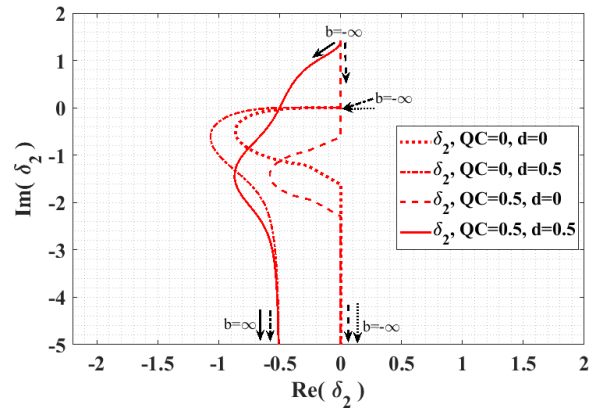


Şekil 7. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden artan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC, d değerleri için kök-yer eğrilerinin senkronizasyon parametresine göre değişimi.

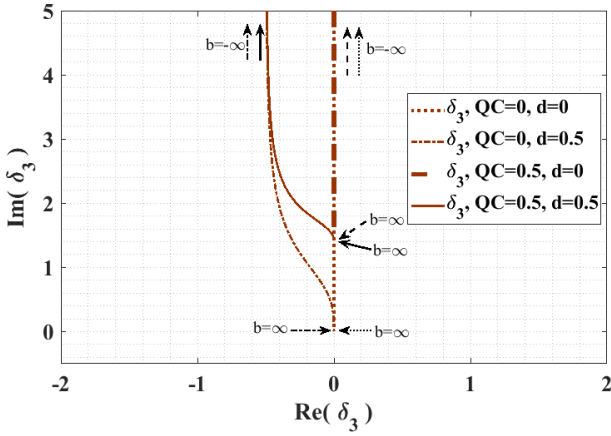
Şekil 8'de eşitlik (12)'nin çözümünden gelen diğer kompleks kökün kök-yer eğrileri yer almaktadır. Şekil 8'deki kök-yer eğrileri göstermektedir ki, kayıp parametresinin artması, kökleri sol yarı δ düzlemine kaydırmaktadır. Sadece uzay yükü etkilerinin artması köklerin değişimini δ düzleminin sanal eksenine kaydırmaktadır. Ek olarak, $QC \neq 0$ ve $d \neq 0$ durumlarında ve negatif b değerlerinde kökler II. bölgede yer almıştır, bunun haricindeki durumlarda ise kökler III. bölge ve sanal eksen doğrultusunda kalmıştır. Bu doğrultuda, ele alınan çözümün azalan dalga olduğu ve negatif b değerlerinde dalganın hızı elektron demet hızından küçük, pozitif b değerlerinde ise büyük olduğu görülmektedir. Genel itibari ile

azalan ileri dalganın (δ_2) III. Bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 9'da eşitlik (12)'den elde edilen son çözüm için kök-yer eğri karakteristiğinin dört farklı durum ve farklı b değerleri için değişimi verilmiştir. Farklı b değerleri için sadece devre kaybının artması sonucu kökler δ düzleminde II. bölgenin soluna doğru kaymıştır ve kompleks kökün reel kısmının sabit bir değere yakınsadığı görülmektedir. Sadece uzay yükü parametresinin artması sonucu saf sanal ekseninde yer alan kökler pozitif sanal eksen yönüne kaymaktadır. Genel itibari ile II. Bölgede ve saf sanal ekseninde yer alan ilgili kompleks kökler neredeyse sabit reel değerlere sahiptir ve bu durum elde edilen dalga çözümünün zayıflamayan ve elektron demetinden hızlı bir dalga olduğunu (δ_3) doğrulamaktadır. Şekil 7-9'da verilen kök-yer eğrilerinin I. bölgede yer almaması artan ya da zayıflamayan ve elektron demetinden hızlı bir ileri dalganın bu problemde oluşmadığını göstermektedir. Şekil 10-12'de yer alan kök-yer eğrilerinde sabit bir senkronizasyon parametresi seçilmiştir ve farklı devre kaybı parametre değerleri için uzay yükü parametresi belirli aralıklarda süpürülerek ilgili köklerin davranışı incelenmiştir. Senkronizasyon parametresi elektron demetinin hızına, yavaş dalga devresinin faz hızına ve Pierce kazanç parametresine bağlıdır. Demet-Dalga etkileşimi esnasında yavaş dalga devresinin faz hızı, ilgili yavaş dalga devresinin dispersiyon karakteristiğine bağlı olarak elektron demet hızından büyük olabilmektedir. Bu sebeple Şekil 10'da b 'nin negatif durumu için analiz yapılmıştır.



Şekil 8. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden azalan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC, d değerleri için kök-yer eğrilerinin senkronizasyon parametresine göre değişimi.



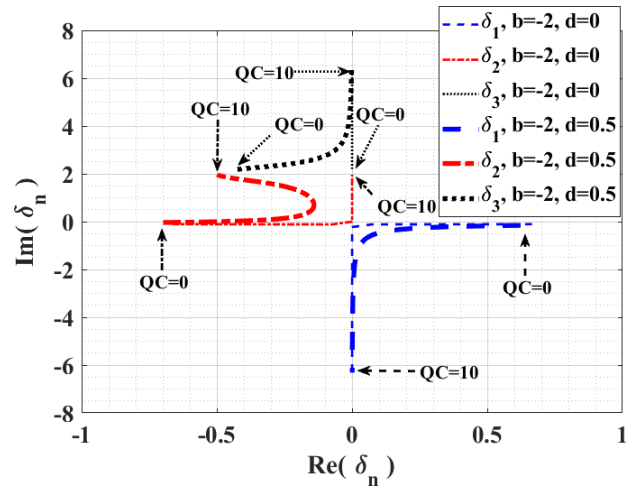
Şekil 9. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinden zayıflayan ileri dalga bileşenlerinin farklı QC , d değerleri için kök-yer eğrilerinin senkronizasyon parametresine göre değişimi.

Şekil 10'da açıkça görülmektedir ki, δ_1 ve δ_2 kayıpsız durumda, QC değerinin artması ile saf reel değerlerden saf sanal değerlere doğru ilerlemiş ve δ_3 ise daima sanal eksen üzerinde yer almıştır. Kayıp parametresinin artması δ_1 'in karakteristiğinde önemli bir değişiklik meydana getirmemekle beraber, δ_2 'nin karakteristiği QC değerinin artması sonucu saf reelden kompleks değere doğru ilerlemiştir ve kökler II. bölgede yer almaya başlamıştır. Ortaya çıkan bu sonuç, yüksek QC değerlerinde azalan ileri dalganın hızının elektron demetinin hızından ele alınan durum için daha yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. Ek olarak, kayıp parametresinin artması δ_3 'ün II. bölgeden başlayarak QC 'nin artması ile saf sanal duruma yakınsadığı görülmektedir.

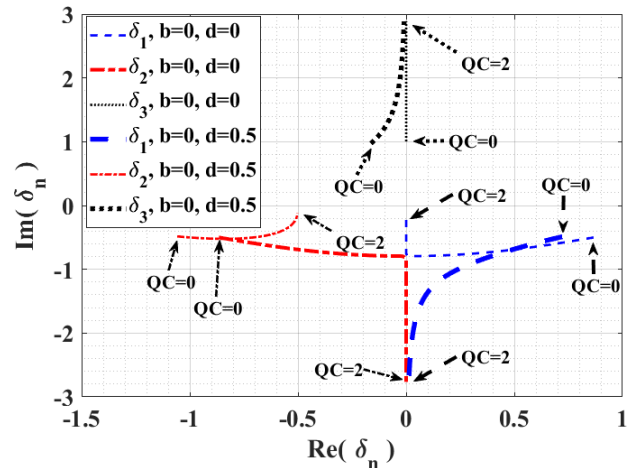
Senkron durumda ($b = 0$) ilgili yavaş dalga devresinin kayıpsız ve kayıplı olduğu durumlar dikkate alınarak QC parametresinin süpürülmesi ile eşitlik (12) çözülmüştür ve Şekil 11'de verilen kök-yer eğrileri elde edilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü üzere, δ_1 değerleri, kayıpsız durumda QC 'nin artması ile δ düzleminde önce sanal eksene sonra orijine yakınsamıştır. Kayıplı durumda ise QC 'nin artması ile artan ileri dalgaya ait kökler δ düzleminde sanal eksenin negatif değerlerine yakınsamaktadır. Bu durum, artan ileri dalganın hızını eşitlik (13) dikkate alındığında Pierce kazanç parametresine bağlı olarak etkilemektedir. Kayıpsız durumda, QC 'nin artması ile δ_2 önce δ düzleminin sanal eksenine ilerlemiş ve sonrasında saf sanal olarak negatif sanal eksende ilerlemiştir. Kayıplı durumda ise, QC 'nin artması sonucunda δ_2 III. bölgede yer almıştır. Şekil 11'de δ_3 kökleri, kayıplı ve kayıpsız durumları için Şekil 10'daki benzer davranışı sergilemiştir.

Elektron demet hızının yavaş dalga devresinin faz hızından büyük olduğu herhangi bir durumda senkronizasyon parametresi sıfırdan büyük olmaktadır. Kayıpsız ve kayıplı durumların ele alındığı ve QC 'nin belirli aralıkta seçildiği Şekil 12'de b parametresi 1.87 alınmıştır. Şekil 12'de görülmektedir ki, δ_1 kökleri QC 'nin artması ile çoğunlukla IV. Bölgede

yoğunlaşmış ve yüksek QC değerlerinde saf sanal değerlere ulaşmıştır. Yüksek QC değerleri ve seçilen b değeri için δ_1 'in saf sanal hale gelmesi eşitlik (13) ile birlikte değerlendirilirse, ilgili dalganın sabit genliğe sahip ve hızı elektron demet hızına yaklaşan bir dalga formuna dönüştüğü söylenebilmektedir. Devre kaybının yer aldığı durumda artan ileri dalga benzer şekilde IV. bölgede yoğunlaşmakla birlikte yüksek QC değerlerinde ilgili dalga sabit genlikli bir forma yakınsayan ve elektron hızından daha yavaş hale gelen bir forma dönüşmektedir. Devre kaybının artması sonucunda Şekil 12'de yer alan δ_2 köklerinin δ düzleminde III. bölgede sola doğru kaydığı görülmektedir. Ek olarak, QC 'nin artması ve kayıpsız durum için δ_2 kökleri δ düzleminde sanal eksene doğru ilerlemiş ve negatif sanal eksende devam etmiştir. Kayıplı durumda için ise QC 'nin artması sonucu δ_2 kökleri Şekil 12'de görüldüğü gibi daima III. bölgede yer almıştır. Şekil 12'deki δ_3 kökleri ise Şekil 10'daki ve Şekil 11'deki benzer davranışlara sahiptir.

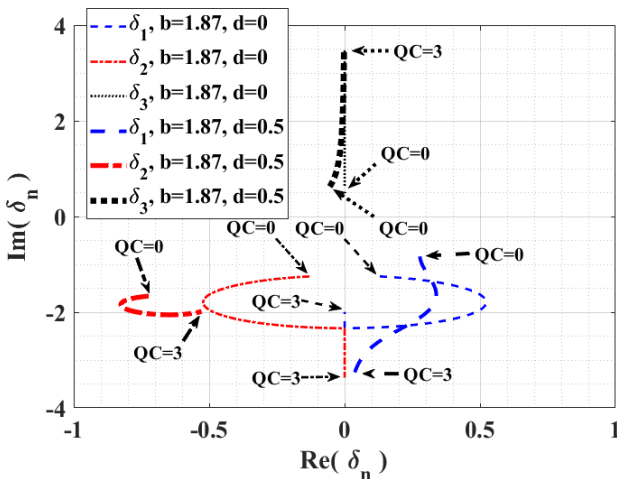


Şekil 10. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = -2$ ve farklı d değerleri için QC parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.



Şekil 11. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = 0$ ve farklı d değerleri için QC parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.

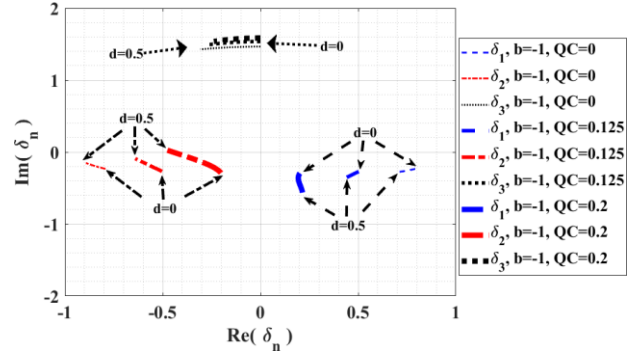
Devre kaybı parametresinin sabit b ve QC değerleri için süpürülmesi ile eşitlik (12)'nin çözümü yapılabilmektedir. Bu durum TWT'de devre kaybı her noktada farklı olabilecek yavaş dalga devresinin kullanılmasına karşılık gelebilmektedir. Bu çözüm sonucu elde edilen köklerin kök-yer eğri karakteristikleri Şekil 13-15'te verilmektedir. Genel itibari ile Şekil 13-15'te çıkan tüm kökler oldukça sınırlı değer aralıklarında yer almıştır. Şekil 13'te $b = -1$ ve farklı QC değerleri için d parametresine göre köklerin değişimi görülmektedir. Şekil 13'te görüldüğü üzere, δ_1 kökleri ele alınan her durum için IV. bölgede yer almış ve QC 'nin artması ilgili kökleri δ düzleminde IV. bölgenin soluna kaydırmıştır. δ_2 kökleri ise, Şekil 13'te görüldüğü gibi QC 'nin artması ile δ düzleminin orijinine yaklaşmaktadır. Aynı durum için devre kaybının artması δ_2 köklerinin saf reel değerlere doğru ilerlediğini Şekil 13'te göstermektedir. Şekil 13'teki δ_3 'ün davranışı incelendiğinde, QC 'nin artması ile ilgili köklerin pozitif sanal eksene doğru gittiği ve devre kaybının artması sonucunda ise ilgili kökün reel değerlerinin negatifte gittiği görülmektedir. Senkron durumda farklı QC parametreleri için devre kaybı parametresinin süpürülerek eşitlik (12)'nin çözümü ile Şekil 14'te verilen kök-yer eğrileri elde edilmiştir. Buna göre, ilgili tüm kök yer eğrileri kendi içlerinde Şekil 13'te sonuçları verilen köklerin davranışına benzer özellikler göstermesine ek olarak, QC 'nin artması Şekil 13'e göre δ_1 ve δ_2 değerlerinin kendi içlerinde küçük değişiklikler oluşturduğu ve δ_3 'te ise daha geniş bir değişim aralığı oluşturduğu Şekil 14'te gözlenmiştir.



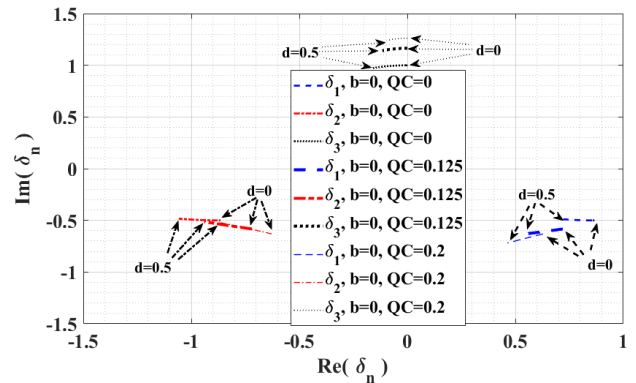
Şekil 12. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = 1.87$ ve farklı d değerleri için QC parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.

Farklı QC değerleri ve $b = 1.88$ ile seçilen d aralığında eşitlik (12)'nin çözümü sonucu Şekil 15'te verilen kök yer eğrileri elde edilmektedir. Şekil 13 ve Şekil 14'den farklı olarak ele alınan bu durumda QC 'nin artması sonucu δ_3 'ün giderek daralan bir kök-yer eğrisine sahip olduğu görülmektedir. Ek olarak, QC 'nin artması ve belirli d aralığı için δ_1 ve δ_2 değerlerinin sanal kısmının sabit değerlerde kaldığı Şekil 15'te görülmektedir. Bu durum belirli bir bölgede yer alan d

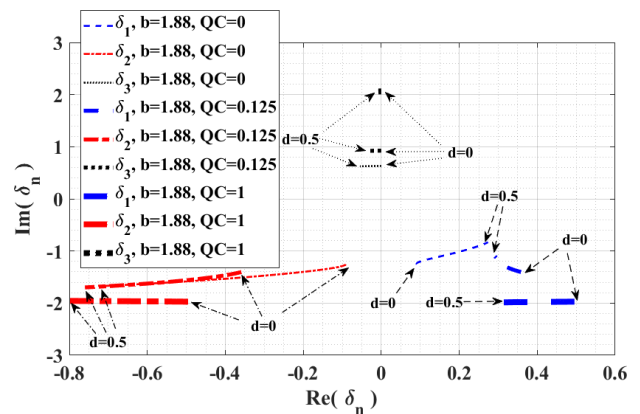
parametre aralığı ve yüksek QC değerlerinde artan ve azalan dalgaların hızlarının Pierce kazanç parametresine bağlı olarak elektron demetine daha yakın olabildiğini göstermektedir.



Şekil 13. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = -1$ ve farklı QC değerleri için d parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.



Şekil 14. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = 0$ ve farklı QC değerleri için d parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.



Şekil 15. Artırılmış iletim sabiti bileşenlerinin $b = 1.88$ ve farklı QC değerleri için d parametresine göre kök-yer eğrilerinin değişimi.

4. Sonuç

Yürüyen dalgalı tüp kuvvetlendiricilerinde meydana gelen Demet-Dalga etkileşiminin incelendiği bu araştırma ve irdeleme makalesinde basitleştirilmiş formda ele alınan bir yürüyen dalgalı tüp için tüpte mevcut olabilecek dalga tipi çözümlerin elde edilmesini sağlayacak dispersiyon eşitlikleri

çıkarılmıştır. Elde edilen eşitlikler Pierce normalizasyon parametrelerinin mümkün olabilecek birçok farklı durumu ele alınarak detaylı olarak incelenmiştir. İlgili dispersiyon eşitlikleri ve zaman kabulleri kullanılarak artırılmış iletim sabitlerinin davranışları çıkarılmıştır. Mümkün olabilecek her Pierce normalizasyon parametre takımı için ilgili iletim sabitlerini gösteren kök-yer eğrileri elde edilmiştir ve her eğrinin davranışı Demet-Dalga etkileşimi çerçevesinde TWT'de ortaya çıkan dalgaların genlik ve faz karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Bu makalede farklı Pierce normalizasyon parametre takımları ele alınarak Demet-Dalga etkileşimi detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan bu inceleme ile TWT alt çalışma düzenlerinin tasarımına önemli katkılar sağlanması öngörülmektedir.

Bu çalışmada, artırılmış iletim sabitinin Pierce normalizasyon parametrelerine göre değişimlerinin kompleks δ düzleminde bulunması gerçekleştirilmiş olmakla birlikte elde edilen kompleks δ değerleri TWT'nin isterlerini oluşturan kazanç, gürültü faktörü, güç verimliliği gibi parametrelerin analizleri için etkin bir şekilde kullanılabilir. Aynı zamanda bu çalışmada gerçekleştirilen üçüncü derece TWT dispersiyon denklem çözümü yerine benzer adımları takip ederek dördüncü derece denklem çözümü gerçekleştirilmesi durumunda TWT'lerde karşılaşılan geri dalga etkileşimi de modellenilebilir.

TWT'de aksel yönde Demet-Dalga etkileşiminde elektron demetinin hızı sürekli değişkenlik gösterebilmektedir. Bu değişimin çalışma isterlerine uygun yavaş dalga düzeninin seçimi ile istenilen frekans aralıklarında kontrol edilebilmesi çıkış kazancının istenilen seviyede alınması açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple, Demet Dalga etkileşimi sadece TWT'de elde edilen dalgaların davranışları noktasında değil uygun kazanç bölgesini sağlayabilecek Pierce normalizasyon parametrelerine karşılık gelebilecek tasarım parametrelerinin seçimi olacak şekilde de analiz edilebileceği öngörülmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Basu, B. N., (1996). Electromagnetic theory and applications in beam-wave electronics. Singapore, World Scientific.

Birdsall, C. K., Brewer, G. R. (1954). Traveling wave tube characteristics for finite values of C.

Transactions of the IRE Professional Group on Electron Devices, 1(3), 1-11.

- Booske J. H., Converse M. C., (2004). Insights from one-dimensional linearized pierce theory about wideband traveling-wave tubes with high space charge, IEEE Trans. Plasma Sci., 32, 3, 1066-1072.
- Brewer G., Birdsall, C., (1957). Traveling-Wave Tube Propagation Constants, IRE Transactions on Electron Devices, 4, 2, 140-144.
- D'Agostino, S., Emma, F., Paoloni, C. (1998). Accurate analysis of helix slow-wave structures. IEEE Transactions on Electron Devices, 45, 7, 1605-1613.
- Ertay, A. O., Şimşek, S., (2017). On the Assessment Study of Small Signal Gain Analysis of Helix Type Traveling Wave Tube with Pierce Parameters, In IV International IEEE Electromagnetic Compatibility Conference (EMC Türkiye), 1-7.
- Ertay A. O., Şimşek S. (2018). Yürüyen dalgalı tüp kuvvetlendiricileri için helis yavaş dalgalı yapıların tasarımı, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı ELECO 2018 , 423-427.
- Ghosh, S., Jain, P. K., Basu, B. N., (1997). Rigorous tape analysis of inhomogeneously-loaded helical slow-wave structures. IEEE Transactions on Electron Devices, 44, 7, 1158-1168.
- Gilmour, A. S., (1994). Principles of Traveling Wave Tubes, Norwood, MA, USA: Artech House.
- Gilmour, A. S., (2011). Klystrons traveling wave tubes, magnetrons crossed-field amplifiers and gyrotrons, 1st ed. Norwood, Mass., Artech House.
- Jain, P. K., Basu, B. N., (1992). The inhomogeneous dielectric loading effects of practical helix supports on the interaction impedance of the slow-wave structure of a TWT. IEEE Transactions on Electron Devices, 39, 3, 727-733.
- Jain, P. K., Basu, B. N., (1987). The inhomogeneous loading effects of practical dielectric supports for the helical slow-wave structure of a TWT. IEEE Transactions on Electron Devices, 34, 12, 2643-2648.
- Kesari, V., Basu B. N., (2018). High Power Microwave Tubes Basics and Trends, San Rafael, CA, Morgan & Claypool Publishers.
- Pierce, J. R., (1947). Theory of the Beam-Type Traveling-Wave Tube, Proceedings of the IRE. 35, 2, 111-123.
- Pierce, J. R., (1950). Traveling-Wave Tubes, 1st ed. Princeton, N. J. Van Nostrand.

- Qiu, J. X., Levush, B., Pasour, J., Katz, A., Armstrong, C. M., Whaley, D. R., Gallagher, D. (2009). Vacuum tube amplifiers. *IEEE Microwave Magazine*, 10(7), 38-51.
- Qiu, H. J., Hu, Y. L., Hu, Q., Zhu, X. F., Li, B. (2018). Analytic Exploration of the Accuracy of Pierce's Three-Wave Beam-Wave Interaction Theory of Traveling-Wave Tubes. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 46, 7, 2505-2511.
- Wong, P. Y., Chernin, D., Lau, Y. Y. (2018). Modification of Pierce's classical theory of traveling-wave tubes, *IEEE Electron Device Letters*, 39, 8, 1238-1241.



THE EFFECTS OF NOISE FILTERS ON SEGMENTATION BASED SEEDED REGION GROWING

Mürsel Ozan İNCETAŞ^{1*}, Ufuk TANYERİ²

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, ALTSO Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Antalya, Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

Keywords

Noise Filters,
Segmentation,
Seeded Region Growing.

Abstract

Image segmentation is a process of grouping pixels to make parts of objects into distinct image areas using their texture, edge, color properties. The segmentation process plays an important role in the analysis of images and in image processing. One of the techniques developed for segmentation is SRG (Seeded Region Growing). The noise generated during the acquisition of images affects the segmentation success negatively. Filters used to eliminate noise reduce it, but the effect of filtering on the segmentation success is not fully known. In this study, the effects of noise and filters on the SRG algorithm are investigated. For this purpose, various noises were added to Weizmann database images at different levels. Later, filters were applied to noisy images. Finally, F-Score values were obtained from the images segmented by the SRG algorithm and compared with the values of the original images.

GÜRÜLTÜ FİLTRELERİNİN TOHURLU ALAN GENİŞLETME TABANLI BÖLÜTLEMeye ETKİLERİ

Anahtar Kelimeler

Gürültü Filtreleri,
Bölütleme,
Tohumlu Alan Genişletme.

Öz

Görüntü bölütleme, doku, kenar ve renk özelliklerini kullanarak nesnelerin parçalarını farklı görüntü alanlarına dönüştürmek için pikselleri gruplama işlemidir. Bölütleme süreci, görüntülerin analizinde ve görüntü işlemede önemli bir rol oynar. Bölütleme için geliştirilen tekniklerden biri de SRG'dir (Tohumlu Alan Genişletme). Görüntülerin elde edilmesi sırasında oluşan gürültü, bölütleme başarısını olumsuz yönde etkiler. Gürültüyü ortadan kaldırmak için kullanılan filtreler gürültüyü azaltmaktadır, ancak filtreleme işleminin bölütleme başarısı üzerindeki etkisi tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, gürültü ve filtrelerin SRG algoritması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Weizmann veri tabanına farklı seviyelerde çeşitli gürültüler eklenmiştir. Daha sonra gürültülü görüntülere filtreler uygulanmıştır. Son olarak, SRG algoritması tarafından segmentlere ayrılmış görüntülerden F-Skor değerleri elde edilmiş ve orijinal görüntülerin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Alıntı / Cite

İncetas, M.O., Tanyeri, U., (2019). The Effects of Noise Filters On Segmentation Based Seeded Region Growing, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 725-735.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. O. İncetas, 0000-0002-1016-1655
U. Tanyeri, 0000-0002-7039-9577

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.05.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.01.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Image segmentation is one of the most important and challenging aspects of image analysis and processing. In general, segmentation, which is the process of

composing multiple meaningful fields by splitting a visual, is applied in many areas. Image segmentation is frequently used in areas such as medical images, satellite images, face recognition systems, fingerprint recognition, and Seeded Region Growing (SRG)

* İlgili yazar / Corresponding author: ozan.incetas@alanya.edu.tr, +90- 242-510-6180

algorithm is one of the most well-known region based image segmentation techniques (Adams & Bischof, 1994). In this algorithm, after the selection of seeds, they are grown by including the adjacent pixels which are close to the average gray level value of the neighboring seeds. The growing process continues until all the pixels are included in a region. Seed selection can be done with the help of the user, as well as methods for automatic seed selection (Gómez et al., 2007; Fan et al., 2001). It has been observed that the use of SRG has been successful in solving many problems (Pohle & Toennies, 2001; Dreizin et al., 2016; Yeom et al., 2017; Pan & Wang, 2016; Wu et al., 2008; Al-Faris et al., 2014).

Noise is an undesirable result in the acquisition of images. Different noises can be seen in the images obtained with various methods and tools. For example, the sensor and the circuit of a digital camera can cause noise. When it occurs, there is random brightness or color change in the images. The most known types of noise in the literature are gauss, salt-pepper and speckle noise (Gonzalez et al., 2009). Gaussian noise is caused by poor lighting, high heat, or the transfer of data to the electronic circuit. Salt-pepper noise is seen during data transfer due to bit errors or conversion from analog to digital. Salt-pepper is also common in satellite images. Speckle noise is naturally present in active radar, synthetic aperture radar (SAR), medical ultrasound, and optical coherence tomography, and is a granular noise.

Filters are used to eliminate the noise problem and are defined as devices or processes that remove some unwanted components or features. It is known that certain filters have a high success against various noises. The most commonly used filters in the literature are mean, median and Gaussian filters.

Noise negatively affects the result of image segmentation process. In addition, it has been observed that the effect of different noise types and intensities on the success of SRG is also different (İncetaş et al., 2017). Especially, it was determined that the performance of SRG against noises in Salt-Pepper type was higher. It is also seen that image filtering is applied before segmentation in noisy images (Savkare et al., 2016; Kostopoulos et al., 2017; Samantaray et al., 2016). However, the effect of the filters on the SRG technique has not been measured quantitatively. For this reason, it is important to determine which filter is more effective against different noise types to increase the success of the SRG method.

In this paper, the effect of seed selection, noises and noise filters on the success of the SRG algorithm was investigated and tried to be determined quantitatively. This investigation is a continuation of the study (İncetaş et al., 2017) presented in 2017 and the first parts of the results were taken from the

previous study. Weizmann's one-object image segmentation database (Alpert et al., 2012), consisting of 100 images, was used throughout the study. First, noisy images were obtained by adding salt-pepper, speckle, and Gaussian noises to the images at different levels. Then, these noisy images were filtered through average, median and Gaussian filters. Finally, the original, noisy and filtered images were segmented by SRG according to the manual seed selections and the F-Score results were calculated with the Weizmann evaluation tool. By comparing the results obtained, the effect of filtering techniques on SRG success was evaluated.

2. Seeded Region Growing (SRG)

The SRG algorithm, first developed by Adam and Bischof in 1994, performs the decomposition of an image according to a set of points known as the kernel (Adams & Bischof, 1994). The algorithm starts with seed points grouped in n sets (A_1, A_2, \dots, A_n). Some seed sets may consist of a single pixel. Each step of the algorithm involves adding a pixel to one of these seed sets. After step m , the states of the A_i sets can be shown as follows. Let T be a set of pixels that are bound to at least one set and have not yet been assigned to a set.

$$T = \{x \notin \bigcup_{i=1}^n A_i \mid N(x) \cap \bigcup_{i=1}^n A_i \neq \emptyset\} \quad (1)$$

where $N(x)$ is the set of neighbors of the x pixel. These neighbors refer to 8 adjacent pixels in the original study. For $x \in T$, if there is an $N(x)$ that corresponds to one of the A_i sets, that is, if some of the neighbors of the x pixel are included in one of the sets A_1, A_2, \dots, A_n $i(x) \in \{1, 2, \dots, n\}$ index is defined, which is $N(x) \cap A_i(x) \neq \emptyset$.

$$\delta(x) = \left| g(x) - \text{mean}_{y \in A_{i(x)}} [g(y)] \right| \quad (2)$$

$g(x)$ represents the gray level of the x pixel, and $\delta(x)$ indicates the difference of x pixels to the neighboring seed pixel. If $N(x)$ meets two or more of A_i sets, i.e. the neighbor pixels of the x pixel assigned to different seed sets, the i value of index $i(x)$ with the smallest $\delta(x)$ is selected. That is, i is the index of the set $A_i (A_1, A_2, \dots, A_n)$ includes the neighbor pixel which is the closest x pixel as the gray level value. Then a $z \in T$ is taken, such that

$$\delta(z) = \min_{x \in T} \{\delta(x)\} \quad (3)$$

This selected z value is added to $A_i(z)$. Thus step $m+1$ is completed. This process continues until all pixels are added to one of seed sets. Equation (2) and (3) ensure that the segmentation is as homogenous as possible.

2. Material and Method

In the study, 100 images were used in the single object Weizmann segmentation evaluation database. In this database, there are segmentation results for which

each image is divided into two parts manually by 3 different users as object and background. These manual segmentation results were used as a reference to measure the success of the SRG algorithm for the noisy and filtered images. The F-Score values calculated for determining the performance were also made with the evaluation functions provided by the Weizmann database.

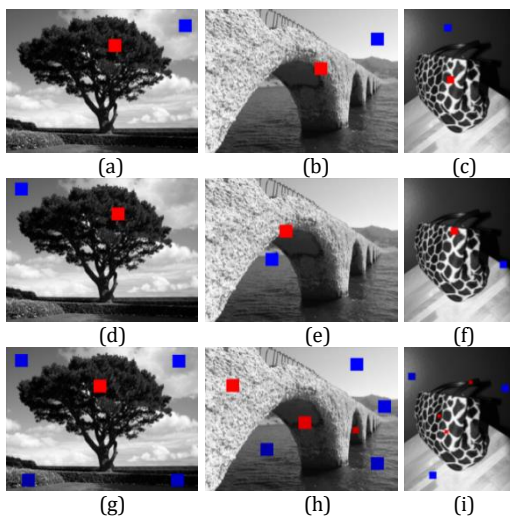


Figure 1. Seed selection examples for three groups (a) (b) (c) First group, (d) (e) (f) Second group, (g) (h) (i) Third group

Seed selections were made with the help of the user and marking an area of up to 20x20 pixels which would be in different numbers for the object and the background on the image. Selected seeds for each image were recorded in a file so that it could be reused in the SRG algorithm. In addition, three different groups of seeds were selected for each images to determine the spreading effect of SRG. In the first two selection groups, one seed field was marked for the object and the background, and the selections were made randomly. There are seed marking examples of the first selection group in Figure 1 (a) (b) (c) and examples of the second selection group in Figure 1 (d) (e) (f). In the third seed selection group, more than one seed fields were selected for the object or the background. By examining the SRG results of the first and second seed selection groups, we marked the third group seeds that cover all the gray levels of the pixels in each object and the background areas. In this way, the transition between pixels in same area was facilitated. In Figure 1 (g) (h) (i), there are examples of seeds from the third selection group. In the images shown in Figure 1, the seed areas of the object are shown in red, and the seed areas in the background are shown in blue.

In the second phase of the study, noise was added to all images in 10 different levels (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.10, 0.20, 0.25, 0.30, and 0.40) for each of the salt-pepper, speckle and Gaussian noises respectively. In Figure 2 (a), there are examples of salt-pepper noise added images from top to bottom at a level of 0.04,

0.10 and 0.20. Similarly, in Figure 2 (b) there are speckle noise samples in the level range from 0.04, 0.10 and 0.20 from top to bottom. In Figure 2 (c), there are examples of Gaussian noisy images with the same order.

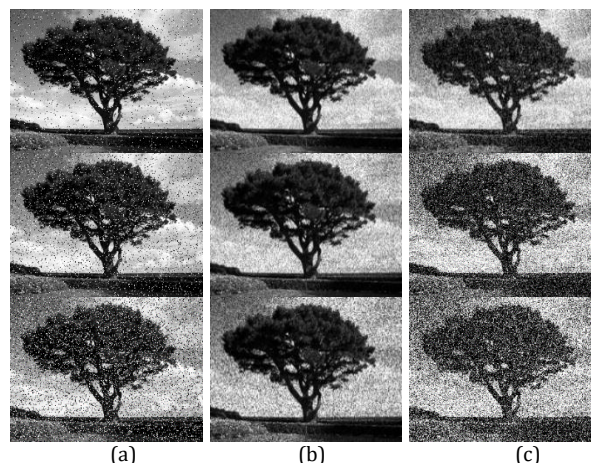


Figure 2. Noisy image examples (a) Salt-pepper noise, (b) Speckle noise, (c) Gaussian noise

In the third stage of the study, mean, median and $\sigma = 0.5$, $\sigma = 1.0$ and $\sigma = 1.5$ Gaussian filters were applied to noisy images. Figure 3 shows filtered images that are ordered from top to bottom in mean, median, and Gaussian ($\sigma = 1.0$) filters. There are filter results for salt-pepper noise in Figure 3 (a), speckle noise in Figure 3 (b), and Gaussian noise in Figure 3 (c). All images shown in Figure 3 have 0.04 noise level.

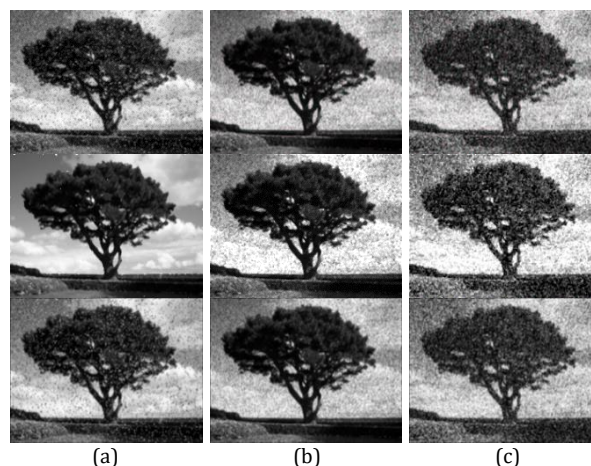


Figure 3. Filtering results for noisy images (a) Salt-pepper noise, (b) Speckle noise, (c) Gaussian noise

Finally, the SRG segmentation technique was applied to all the original, noisy and filtered images, using the three different seed selection groups mentioned earlier. F-score values of the SRG results were obtained using the evaluation tool of the Weizmann segmentation database.

The F-score value is used to measure the success of segmentation algorithm on images in Weizmann dataset. The evaluation tool provided by the database finds F-score values based on reference pictures. The intersection of the segmentation results determined

manually by three different users is taken and the final reference result of the object is obtained. Figure 4 shows the segmentations made by the users. The red marked areas in the images in Figure 4 (a, b and c) show the object, while the other pixels which have original gray level values are the background.



Figure 4. Reference images in the Weizmann segmentation database

The F-score calculation in Equation (6) is based on the harmonic mean of the precision in Equation (4) and recall in Equation (5) values. The precision value gives the ratio of the true object pixels in all selected object pixels by algorithm and recall gives the ratio of the pixels selected by algorithm in reference object. The terms used for F-score calculation are shown in Table 1.

Table 1. Evaluation of segmentation results

Calculation		Algorithm Results	
		Object	Background
Definite Reference	Object	A	B
	Background	C	D

A: True Positive, B: False Negative, C: False Positive, D: True Negative

$$Precision = \frac{A}{A+C} \tag{4}$$

$$Recall = \frac{A}{A+B} \tag{5}$$

$$FScore = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{6}$$

3. Experimental Results and Discussion

The experiments were completed in three steps. In the first step, seed areas were selected manually and these selections were applied to the original images using SRG. Noisy images were segmented by SRG technique by selecting seed areas in the second step. Finally, SRG results were obtained for filtered noisy images. F-Score values for all these segmentation results were also calculated using Weizmann evaluation tool.

At the first stage of the experiments, the seed area selection was made manually as three different groups for each image as mentioned before. Thus, with the help of selected seed groups for 100 images in the database, 300 segmentation results were obtained for original images and one of them is shown in Figure 5. Figure 5 (a) shows the original image and Figure 5 (b) shows the first seed selection for this image. The seed selected for the object is shown in red color, and the seed selected for background is shown in blue color. SRG result of these seeds are shown in Figure 5 (c) and

the object pixels is seen as black while the background pixels is seen as white.

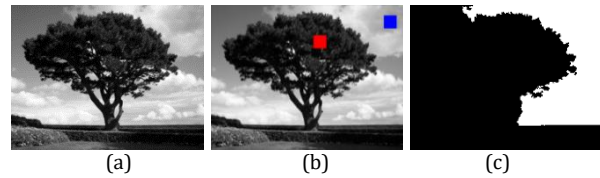


Figure 5. (a) An image in the Weizmann database, (b) First group seed sample, (c) SRG segmentation result of the first group seed sample

When the first and second groups of seed selection results were examined, the second group gave better results on some images, but generally the F-score average values were close to each other. The second group seed selection example and segmentation result with a better F-Score than the first one are shown in Figure 6. The reason for such improvements is the selection of a background seed that is close to the gray level intensity of the object in the second example. With this way, background pixels that have gray level value that close to the object seed intensity are added background seed.



Figure 6. (a) Second group seed sample (b) SRG segmentation result of the second group seed sample

During the growing of the background seed (blue color) in Figure 5 (b), the clouds are added to background due to the density of the white color. Non-cloud background pixels are included in the object since the gray level values of them are low. In Figure 6 (a), the background seed was selected from the pixels of non-cloud background area, which is closer to the object as the gray level. Thus, the background first grew to the cloudless background, and then clouds that were far away from the object in terms of gray level intensity were added to this seed.

In the third group seed selection, unlike the first two groups, more seeds were selected for background and object. In addition, effects and results of the first two selections were taken into consideration when seed selection was made. Thus, seeds were selected to increase the segmentation success.

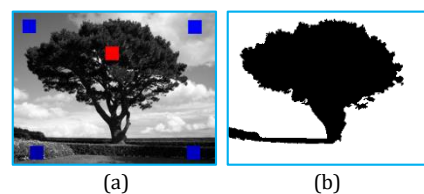


Figure 7. (a) Third group seed sample (b) SRG segmentation result of the third group seed sample

As shown in Figure 7, the use of more than one background seed produces a more successful segmentation result than the other two seed selections. The average F-score results obtained from the seed selection groups are shown in Table 2. As can be seen in Table 2, the third group seed selection produces the higher F-score values than other two. Therefore, it is considered that the results to be investigated should be interpreted through the third group seed selections.

Table 2. Comparison of SRG seed selection results

Seed Selection Group	Segmentation Results (Average)		
	F-Score	Precision	Recall
1st Selection	0.6663	0.8066	0.6848
2nd Selection	0.6738	0.7944	0.7034
3rd Selection	0.7910	0.7717	0.8758

In the second stage of the experiments, different levels of salt-pepper, speckle and Gaussian noises were added separately to 100 images in the database. Each image with noise added with 10 different levels (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.10, 0.20, 0.25, 0.30 and 0.40) was recorded in different folders. With this process, 3000 noisy images were generated for 100 images in Weizmann dataset. Segmentation results obtained for the noisy images by applying SRG for each seed group selected in the first stage were recorded in different folders. Due to 3 different seed selection group, a total of 9000 noisy image segmentation results were obtained for all noisy images. The F-Score values were calculated for the segmentation results using the evaluation tool provided by the Weizmann database. F-Score results of noisy images are presented in Table 3.

Table 3. Noisy image F-Score values

Noise Level	Salt & Pepper			Gaussian			Speckle		
	Seed Group			Seed Group			Seed Group		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.01	0.668	0.677	0.791	0.672	0.671	0.784	0.678	0.669	0.783
0.02	0.667	0.674	0.787	0.665	0.644	0.747	0.671	0.669	0.771
0.03	0.664	0.681	0.79	0.654	0.654	0.747	0.666	0.669	0.762
0.04	0.667	0.69	0.791	0.655	0.636	0.748	0.668	0.674	0.772
0.05	0.662	0.677	0.792	0.643	0.64	0.743	0.671	0.654	0.738
0.10	0.669	0.69	0.796	0.617	0.619	0.701	0.646	0.631	0.715
0.20	0.669	0.697	0.789	0.588	0.584	0.624	0.605	0.603	0.668
0.25	0.665	0.686	0.787	0.575	0.562	0.603	0.575	0.595	0.661
0.30	0.664	0.687	0.753	0.551	0.55	0.59	0.568	0.573	0.638
0.40	0.65	0.684	0.752	0.532	0.533	0.541	0.551	0.533	0.623

According to the F-Score results in Table 3, the segmentation success is seriously decreased at high level of noise. On the other hand, at low level of noise, the F-Score values are similar to that of the original

images. Also it is observed that segmentation success and F-score values are increased for some images where salt-pepper and Gaussian noises are low-level. This is because some pixels that have not been included in homogenous areas previously are added to their region due to the salt-pepper noise. Another reason is that the average gray level values of similar areas become closer to each other when the Gaussian noise is added. Thus, it makes easier to add similar pixels to the same region. Figure 8 shows the corresponding situation.

The SRG algorithm produces successful results even at the 0.40 level of the salt-pepper noise. The reason is that the regions are grown according to gray level average of their own pixels. Therefore, salt-pepper noisy pixels are included in the growing process lastly, because they are far from the average values of regions.

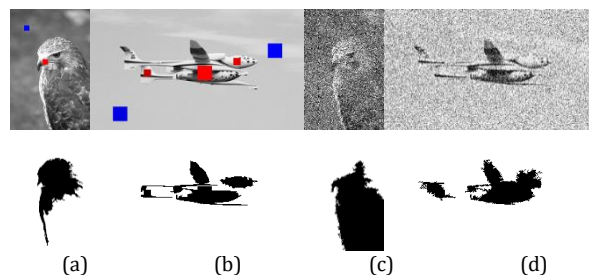


Figure 8. (a) Example of second seed selection group and SRG result, F-score: 0.52 (b) Third seed selection group example and SRG result, F-score: 0.38 (c) Salt pepper image at 0.40 level and SRG result, F-score: 0.88 (d) Gaussian image at 0.40 level and SRG result, F-score: 0.60

The results of SRG segmentation at different noise types and levels are shown in Figure 9 for three seed selection groups separately. Decreasing of the segmentation results for all noise types appears to have similar characteristics in all seed selection groups. The success rate appears to start to decrease after the 0.04 and 0.05 levels for the speckle and Gaussian noises, while the segmentation success continues even at 0.40 for the salt pepper noise. The reason why the salt-pepper noise is more successful than other noises is that black-and-white noise pixels are included the growing process lastly.

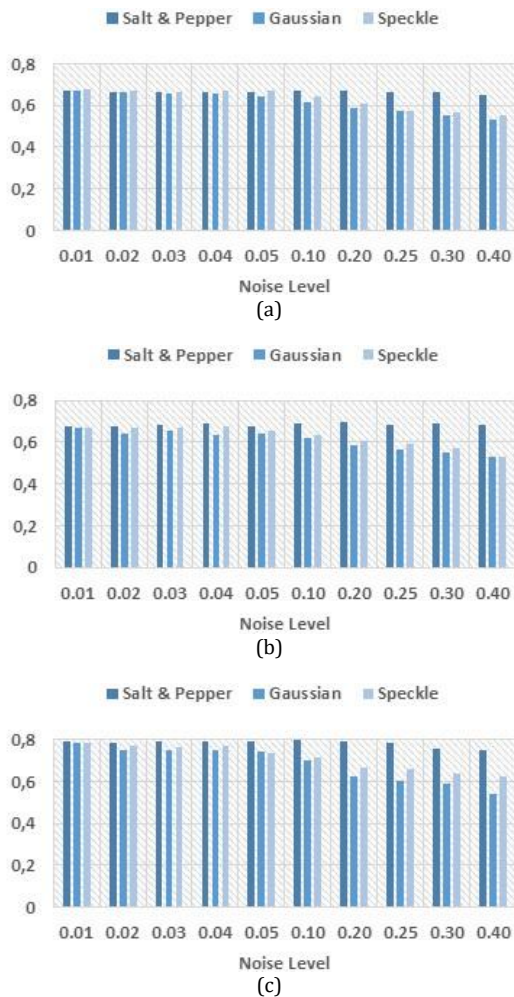


Figure 9. SRG segmentation F-score values of images with different noise levels for three seed selection groups a) First group, b) Second group, c) Third group

Table 4. SRG algorithm F-score results of filtered noisy images according to first seed selection group

Filter	Noise Level									
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.659	0.661	0.657	0.653	0.654	0.641	0.619	0.615	0.604	0.576
Gaussian ($\sigma=1$)	0.657	0.660	0.671	0.657	0.663	0.664	0.655	0.630	0.650	0.632
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.660	0.657	0.662	0.663	0.660	0.669	0.649	0.652	0.644	0.641
Mean	0.665	0.657	0.660	0.660	0.663	0.666	0.649	0.643	0.645	0.633
Median	0.668	0.662	0.662	0.658	0.667	0.649	0.647	0.629	0.627	0.629
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.662	0.661	0.671	0.668	0.664	0.653	0.677	0.669	0.653	0.650
Gaussian ($\sigma=1$)	0.662	0.673	0.666	0.669	0.669	0.661	0.656	0.652	0.625	0.640
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.659	0.654	0.663	0.666	0.664	0.664	0.657	0.651	0.649	0.650
Mean	0.664	0.659	0.663	0.661	0.659	0.659	0.663	0.660	0.651	0.645
Median	0.673	0.671	0.671	0.673	0.673	0.673	0.675	0.666	0.668	0.672
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.676	0.662	0.665	0.663	0.673	0.671	0.648	0.642	0.640	0.638
Gaussian ($\sigma=1$)	0.659	0.661	0.675	0.664	0.654	0.661	0.660	0.659	0.663	0.648
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.659	0.661	0.666	0.667	0.657	0.661	0.671	0.658	0.665	0.652
Mean	0.668	0.664	0.662	0.667	0.665	0.662	0.670	0.661	0.661	0.652
Median	0.678	0.672	0.669	0.672	0.676	0.673	0.644	0.654	0.649	0.652

In the last stage of the experiments, Gaussian ($\sigma = 0.5$), Gaussian ($\sigma = 1.0$), Gaussian ($\sigma = 1.5$), mean, and median filters were applied to each of 3000 noisy images, respectively and 15000 filtered images were obtained. SRG was applied to all filtered images using three different seed selection groups, and the segmentation results of 45,000 filtered images in total were obtained as F-score. As a result, 72100 image segmentation results were generated from 100 images in the database. Each of the five lines of Tables 4, 5 and 6 shows the F-score results for the "Gaussian", "Salt & Pepper", and "Speckle" noise, respectively.

Table 5. SRG algorithm F-score results of filtered noisy images according to second seed selection group

Filter	Noise Level									
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.664	0.678	0.653	0.668	0.664	0.656	0.629	0.632	0.615	0.623
Gaussian ($\sigma=1$)	0.663	0.667	0.659	0.664	0.661	0.655	0.632	0.633	0.620	0.620
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.663	0.677	0.656	0.659	0.663	0.653	0.640	0.636	0.628	0.618
Mean	0.660	0.673	0.659	0.667	0.667	0.653	0.641	0.618	0.623	0.607
Median	0.671	0.644	0.654	0.636	0.640	0.619	0.584	0.562	0.550	0.533
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.664	0.655	0.664	0.663	0.666	0.665	0.667	0.654	0.645	0.645
Gaussian ($\sigma=1$)	0.664	0.671	0.669	0.672	0.659	0.652	0.652	0.659	0.642	0.642
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.664	0.665	0.670	0.671	0.666	0.665	0.645	0.650	0.641	0.643
Mean	0.669	0.671	0.669	0.669	0.669	0.672	0.673	0.663	0.672	0.672
Median	0.677	0.674	0.681	0.690	0.677	0.690	0.697	0.686	0.687	0.684
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.672	0.672	0.674	0.669	0.662	0.682	0.664	0.663	0.645	0.657
Gaussian ($\sigma=1$)	0.667	0.672	0.665	0.659	0.659	0.674	0.655	0.670	0.655	0.647
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.658	0.666	0.664	0.662	0.654	0.665	0.661	0.664	0.662	0.655
Mean	0.678	0.667	0.666	0.671	0.652	0.655	0.652	0.661	0.659	0.664
Median	0.700	0.703	0.685	0.694	0.670	0.632	0.599	0.580	0.534	0.499

The graphs of the F-Score results obtained from filtered salt-pepper noisy images are shown in Figure 10. As can be seen in the figures, there is no significant difference between the filtered and unfiltered results. The reason why the SRG algorithm is less affected by the salt-pepper noise is that the added noisy pixels have the extreme gray level values like black or white and they are included in the growing process lastly, as mentioned earlier. The median filter produced the most successful results for the first seed selection group in Figure 10 (a). For the second and third seed selection group in Figure 10 (b) and (c), it is seen that the results of the unfiltered image have the highest values. For the third seed selection group with higher F-score, the success of the median filter appears to exceed the success of the unfiltered images in images with a noise level higher than 0.25.

In Figure 11, segmentation results of an image added salt & pepper noise with 0.10 level and applied filters are shown for all seed selection groups. On the sample image, it is seen that the mean and Gaussian ($\sigma = 1$) filters increase success in first group seed selection

and decrease in second and third group seed selections. It is also clear that the median filter increases success in the first group seed selection and does not change the result in the second and third group seed selections.

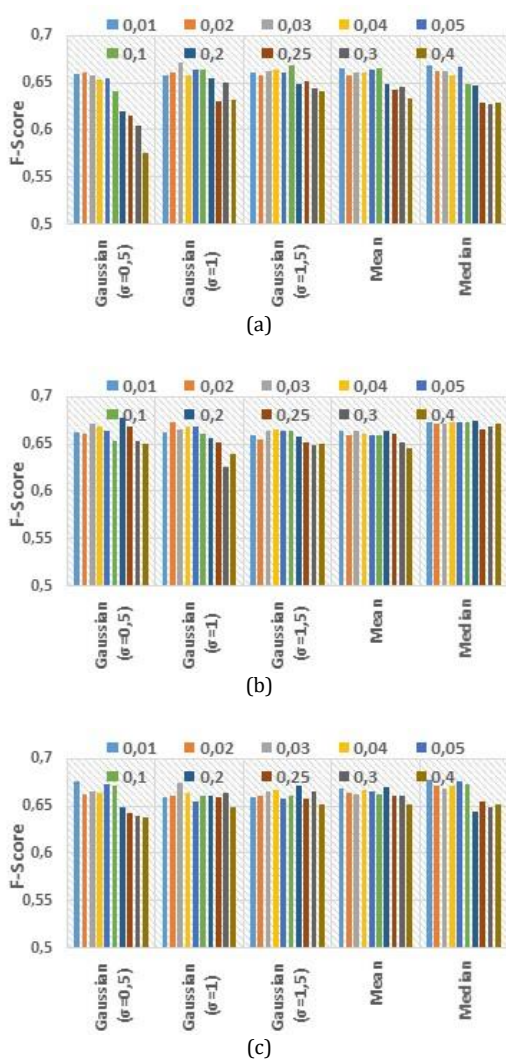


Figure 10. SRG segmentation F-Score results of filtered images added salt-pepper noise for three seed selection group (a) First group, (b) Second group, (c) Third group

The graphs of the F-Score results obtained from filtered Gaussian noisy images are shown in Figure 12. The results of the unfiltered images appear to have the lowest F-score value in each seed selection group. It is evident that the all filters used trough the experiments improve SRG performance against Gaussian noise. For all seed selection groups, the SRG results of unfiltered images produce lower results from the noise level 0.05.

For the first seed selection group in Figure 12 (a), values are similar up to 0.05 noise level. F-score value for unfiltered images at 0.10 level decreases from 0.66 to 0.61. The median, Gaussian ($\sigma = 1$) and Gaussian ($\sigma = 1,5$) filters improve the F-score to initial value of 0.66, while the median and Gaussian ($\sigma = 0.5$) filters

improve to 0.64. The same situation is repeated as the noise levels increase. In addition, mean, Gaussian ($\sigma = 1$) and Gaussian ($\sigma = 1,5$) filters produced results close to their initial value, while median and Gaussian ($\sigma = 0.5$) filters could not make an effective improvement.

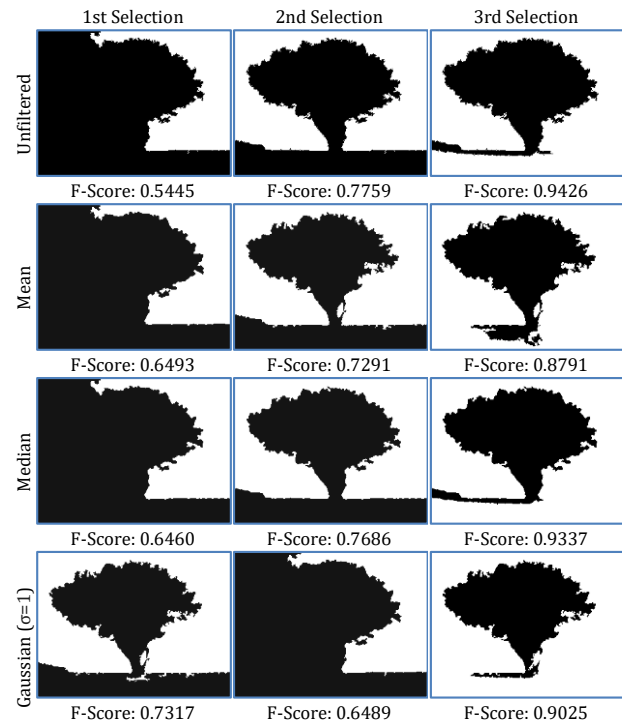


Figure 11. Examples of SRG results for salt-pepper noise with 0.10 level

Table 6. SRG algorithm F-score results of filtered noisy images according to the results of the third seed selection

Filter	Noise Level									
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.781	0.778	0.774	0.751	0.762	0.747	0.734	0.732	0.727	0.710
Gaussian ($\sigma=1$)	0.779	0.762	0.761	0.755	0.759	0.749	0.734	0.741	0.717	0.721
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.779	0.774	0.760	0.752	0.760	0.748	0.745	0.732	0.723	0.715
Mean	0.788	0.768	0.767	0.750	0.771	0.738	0.710	0.703	0.697	0.672
Median	0.784	0.747	0.747	0.748	0.743	0.701	0.624	0.603	0.590	0.541
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.780	0.781	0.786	0.775	0.775	0.771	0.780	0.757	0.723	0.724
Gaussian ($\sigma=1$)	0.782	0.774	0.779	0.769	0.776	0.764	0.758	0.757	0.729	0.726
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.781	0.778	0.784	0.774	0.779	0.758	0.757	0.754	0.733	0.715
Mean	0.786	0.785	0.781	0.784	0.785	0.786	0.779	0.784	0.777	0.764
Median	0.791	0.787	0.790	0.791	0.792	0.796	0.789	0.787	0.753	0.752
Gaussian ($\sigma=0.5$)	0.784	0.777	0.777	0.776	0.776	0.772	0.772	0.749	0.759	0.758
Gaussian ($\sigma=1$)	0.785	0.776	0.772	0.772	0.773	0.769	0.781	0.754	0.759	0.744
Gaussian ($\sigma=1.5$)	0.787	0.782	0.776	0.778	0.774	0.776	0.784	0.760	0.749	0.743
Mean	0.791	0.774	0.785	0.765	0.775	0.758	0.753	0.766	0.733	0.759
Median	0.783	0.771	0.762	0.772	0.738	0.715	0.668	0.661	0.638	0.623

F-score values shows very little ups and downs in the unfiltered results up to 0.05 noise level for the second group of seed selections in Figure 12 (b). However,

this is not seen in F-score values of filtered images. F-score results for unfiltered images at 0.10 noise level decrease from an initial value of 0.67 to 0.62. All of the filters applied increase the F-score value from 0.62 to 0.65. The F-score values of the filters are separated from each other at noise level of 0.20. The lowest improvement at 0.40 noise level is achieved by Gaussian ($\sigma = 0.5$) filter with 0.57 F-score value and this is done by median filter with 0.61 F-score and mean, Gaussian ($\sigma = 1$) and Gaussian ($\sigma = 1.5$) filters with 0.62 F-score value.

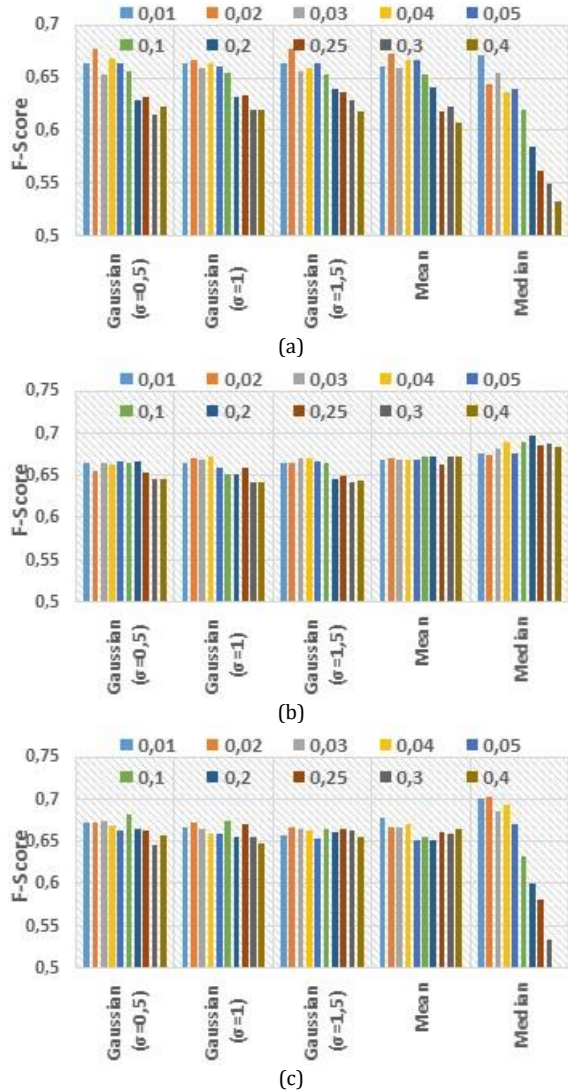


Figure 12. SRG segmentation F-Score results of filtered images added Gaussian noise for three seed selection group (a) First group, (b) Second group, (c) Third group

As can be seen in Figure 12 (c), the results of the third seed selection group which generally produces better results show the difference between the filters more clearly. The noise effect starts from the noise level 0.02. All filters produce results close to the initial value at low noise levels. The difference of the filters is clearly seen after the noise level 0.20. The F-Score value of SRG results for unfiltered images decreased from 0.78 to 0.54 at 0.40 noise level. The Gaussian (σ

= 0.5) filter with 0.54 F-score and the median filter with 0.67 F-score are less effective than others. The average and Gaussian ($\sigma = 1$) filters with 0.71 F-score and the Gaussian ($\sigma = 1.5$) filter with 0.72 F-score produced results closer to the initial value.

According to the SRG result sample images shown in Figure 13, the average filter applied to the Gaussian noise decreases the F-score value of the second seed selection group, and the Gaussian ($\sigma = 1$) filter decreases the F-score value of the third seed selection group. However, in the general of examples, it seems that there is not a significant change in the F-Score values. When the third group seed selection examples were examined, there was no change in the F-score result, although there were some visible changes in the segmentation results. This is because of the change in the precision and recall values of the F-Score calculation. Due to Equation (3), the F-score value does not change when one of the precision and recall values increases while the other decreases in a similar way.

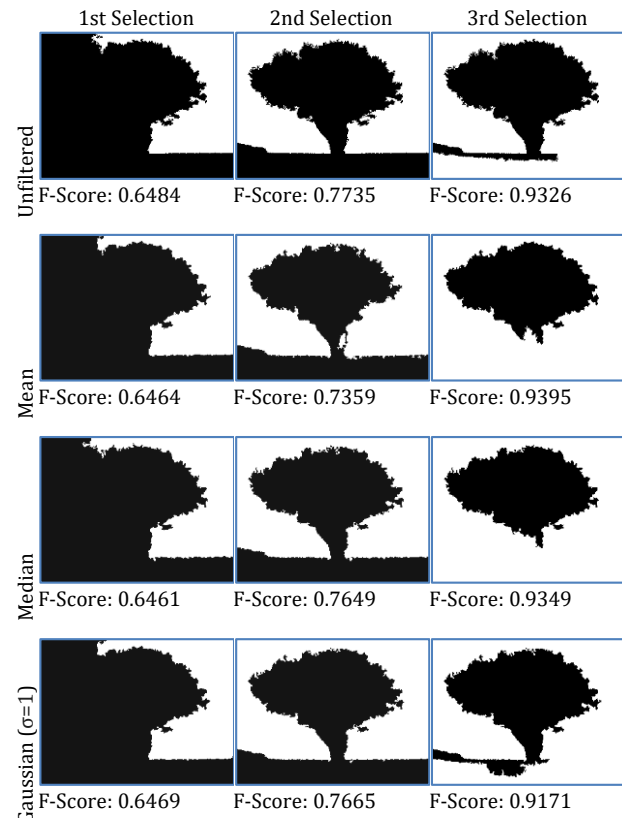


Figure 13. Examples of SRG results for Gaussian noise with 0.10 level

Figure 14 shows the graphs of the F-Score results obtained from filtered speckle noisy images. The results of unfiltered images of speckle noise show the lowest F-score values. All the filters used for the first and second seed selection group in Figure 14 (a) and (b) produce similar results. It is seen that the filters applied to the unfiltered images with low F-score value from 0.05 noise level produce the results close to the initial value. The

initial F-score value of 0.66 for the first seed selection group was increased from 0.55 to 0.65 using the filters at the 0.40 noise level. For the second seed selection group, the initial F-score value of 0.67 was increased from 0.53 to 0.66 at 0.40 noise level in the same way.

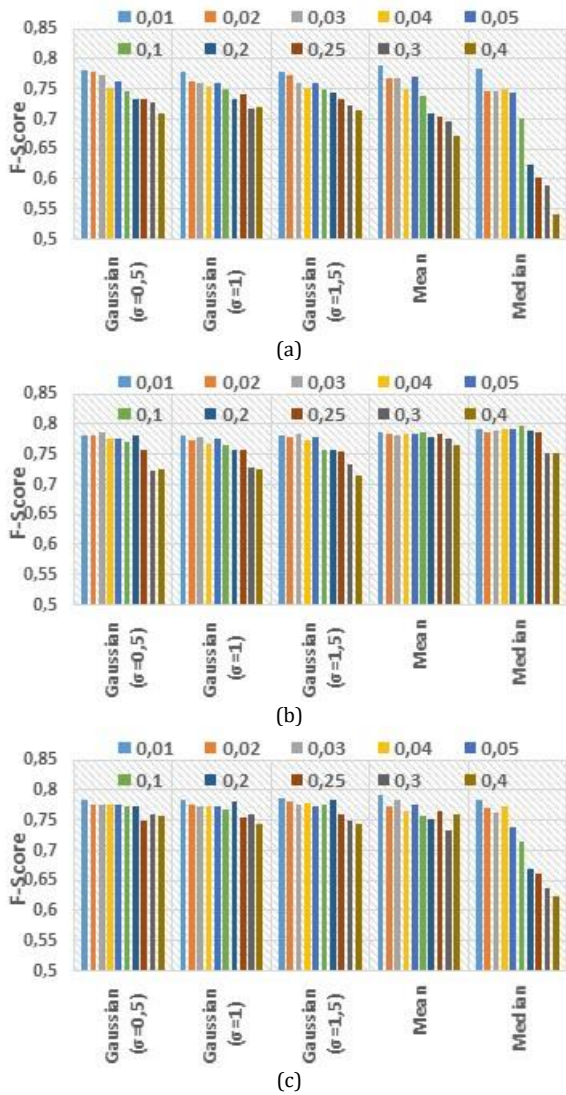


Figure 14. SRG segmentation F-Score results of filtered images added Speckle noise for three seed selection group (a) First group, (b) Second group, (c) Third group

The difference in success between filters is seen more clearly for the results of the third seed selection group in Figure 14 (c). As the noise level increases, the improvement rates also increase for all filters. Gaussian ($\sigma = 0.5$) filter has the lowest improvement performance among the all filters. The initial F-score value of unfiltered noisy images decreased from 0.79 to 0.62 at 0.40 noise level. The Gaussian ($\sigma = 0.5$) filter improved to 0.70 F-score while the other filters improved to 0.75 F-score. Although the median filter gives the best result at some noise levels, it is generally observed that its success is lower than other filters. It is seen that Gaussian ($\sigma = 1$), Gaussian ($\sigma = 1.5$) and mean filters produce the best results similar to each other for all seed selection groups.

Figure 15 shows example segmentation and F-score results for the speckle noise. It is seen that the average and Gaussian ($\sigma = 1$) filters reduces the F-score value in all seed selection groups. The median filter results showed a decrease for the first seed selection group and an increase for the third selection group but no change for the second seed selection group.

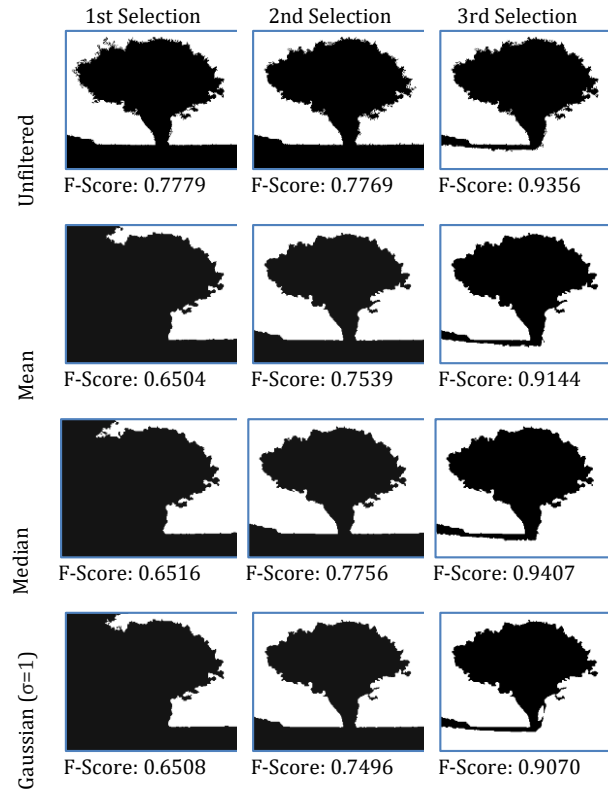


Figure 15. Examples of SRG results for speckle noise with 0.10 level

4. Conclusion

Image segmentation is an important part of the image analysis and image processing. Segmentation is also affected by noise like most steps in image processing. Many filter are used to reduce the noise effect. It is also expected that these filters reduce the negative effects of noise in processing such as segmentation. In this study, the effects of noise filters on SRG which is one of the most known of the region-based segmentation algorithms have been investigated.

The results obtained showed that the position and the number of seeds has a great influence on the success of SRG segmentation and correctly selected seeds increased the success. If the background around the object has more than one part with different gray level values, the object has more than one part with different gray level values, or the gray level values of the background and object are very close to each other, then the success of SRG method reduce. Selecting the background with the gray level values closest to the object as the seed field and selecting more than one seed for both the object and the

background seemed to increase the success of the SRG method. Selecting the background seed which has the closest gray level values to object and selecting more than one seed for both the object and the background increase the SRG success.

Experiments on noisy images have shown that noise with 0.05 level or less change the segmentation success, while the success rate is greatly reduced at higher noise level. It is also seen that SRG is less resistant against Gaussian and speckle noise and its success rate decreases significantly from 0.04 noise level. On the other hand, it has been determined that the SRG method is most resistant to salt-pepper noise and produces successful results even at the 0.40 noise level. Therefore, it appears that the negative effect of salt-pepper noise on SRG method is less than expected. It has been observed that the effects of the filters for the seed selections with low segmentation success are close to each other, while the differences between the filters become more apparent for seed selections with high success. In addition, there is not noise or filter effect on the success of SRG method when the noise level is low (level \leq 0.05). As the noise level increases, all filters applied to the speckle and Gaussian noises provide some improvement.

Since there was no significant reduction in the SRG success for salt-pepper noisy images, there was no significant decrease or increase in the F-score value for the filtered images accordingly. Nevertheless, it has been observed that the median filter gives slightly better results than other filters, as is known in literature. Since SRG is already resistant to salt-pepper noise and filters are not affected, it eliminates the necessity of using filters in salt-pepper noisy images. Gaussian ($\sigma = 1$), Gaussian ($\sigma = 1.5$), and average filters achieved the highest success rates for speckle and Gaussian noisy images. It is clearly visible that the using of these filters against the speckle and the Gaussian noises increases success of SRG, since they don't reduce the SRG segmentation results.

This study quantitatively demonstrated the effect of the noise filters against different noise types on SRG method. Thus, a reference source for filters that can be used before the SRG process to be performed on images with known noises has been established. The obtained data can be used to examine the effects of different filters on the segmentation in the future.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Adams, R., Bischof, L., 1994. Seeded Region Growing. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 16(6), 641-647.
- Al-Faris, A.Q., Ngah, U.K., Isa, N.A.M., Shuaib, I.L., 2014. Breast MRI Tumour Segmentation Using Modified Automatic Seeded Region Growing Based on Particle Swarm Optimization Image Clustering. *Soft Computing in Industrial Applications*, vol 223, In: Snášel V., Krömer P., Köppen M., Schaefer G. (eds), *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham.
- Alpert, S., Galun, M., Brandt, A., Basri, R., 2012. Image Segmentation by Probabilistic Bottom-Up Aggregation and Cue Integration. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 34(2), 315-327.
- Dreizin, D., Bodanapally, U.K., Neerchal, N., Tirada, N., Atlas, M., Herskovits, E., 2016. Volumetric Analysis of Pelvic Hematomas After Blunt Trauma Using Semi-Automated Seeded Region Growing Segmentation: A Method Validation Study. *Abdominal Radiology*, 41(11), 2203-2208.
- Fan, J., Yau, D.K., Elmagarmid, A.K., Aref, W.G., 2001. Automatic Image Segmentation by Integrating Color-Edge Extraction and Seeded Region Growing. *IEEE transactions on image processing*, 10(10), 1454-1466.
- Gómez, O., González, J.A. Morales, E.F., November, 2007. Image Segmentation Using Automatic Seeded Region Growing and Instance-Based Learning. In *Iberoamerican Congress on Pattern Recognition*, Valparaíso, Chile, 192-201.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L., 2009. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Gatesmark Publishing.
- İncetaş, M.O., Kılıçaslan, M., Tanyeri, U., Yakışır Girgin, B., Aydemir, Z., Kasım, 2017. Gürültünün Tohumlu Alan Genişletme Tabanlı Bölütleme Sonucuna Etkisinin Nicemsel Olarak Belirlenmesi. *Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu ISMSIT*, Tokat, Türkiye.
- Kostopoulos, S.A., Vassiou, K.G., Lavdas, E.N., Cavouras, D.A., Kalatzis, I.K., Asvestas, P.A., Arvanitis, D.L., Fezoulidis, I.V., Glotsos, D.T., 2017. Computer-Based Automated Estimation of Breast Vascularity and Correlation with Breast Cancer in DCE-MRI Images. *Magnetic resonance imaging*, 35, 39-45.
- Pan, J., Wang, M., 2016. Improved Seeded Region Growing for Detection of Water Bodies in Aerial Images. *Geo-spatial Information Science*, 19(1), 1-8.
- Pohle, R., Toennies, K.D., July, 2001. Segmentation of Medical Images Using Adaptive Region Growing. In *Medical Imaging 2001: Image Processing*, San

Diego, CA, United States, International Society for Optics and Photonics, 4322, 1337-1347.

Samantaray, M., Panigrahi, M., Patra, K.C., Panda, A.S., Mahakud, R., January, 2016. An Adaptive Filtering Technique for Brain Tumor Analysis and Detection. In Intelligent Systems and Control (ISCO), 10th International Conference on IEEE, Tamilnadu, India.

Savkare, S.S., Narote, A.S., Narote, S.P., September, 2016. Automatic Blood Cell Segmentation Using K-Mean Clustering from Microscopic Thin Blood Images. In Proceedings of the Third International Symposium on Computer Vision and the Internet ACM, 8-11, Jaipur, India.

Wu, J., Poehlman, S., Noseworthy, M.D., Kamath, M.V., May, 2008. Texture Feature Based Automated Seeded Region Growing in Abdominal MRI Segmentation. In BioMedical Engineering and Informatics, Sanya, China, 2, 263-267.

Yeom, J., Jung, M., Kim, Y., 2017. Detecting Damaged Building Parts in Earthquake-Damaged Areas Using Differential Seeded Region Growing. International journal of remote sensing, 38(4), 985-1005.



LONGITUDINAL FORCED VIBRATION ANALYSIS OF POROUS A NANOROD

Şeref Doğuşcan AKBAŞ*

Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Dept. of Civil Engineering, Bursa, Turkey

Keywords

Nanorods,
Nonlocal Elasticity Theory,
Porosity,
Forced Vibration.

Abstract

In this paper, longitudinal vibration responses of a nanorod subjected to harmonic external load are investigated with porosity based on Nonlocal Elasticity theory. The governing equation of the problem is solved by analytically. Frequency equations and the forced vibration displacements are obtained exactly. In the numerical examples, effects of the nonlocal, dynamic, geometry and porosity parameters on forced vibration responses of the nanorod are investigated.

BOŞLUK YAPILI NANO BİR ÇUBUK ELEMANIN BOYUNA ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

Nano Çubuklar,
Yerel Olmayan
Elastisite Teorisi,
Boşluk Oranı,
Zorlanmış Titreşim.

Öz

Bu çalışmada, boşluk yapılı nano çubuk bir elemanın harmonik bir dış kuvvet etkisi altında zorlanmış boyuna titreşim cevapları, yerel olmayan elastisite teorisi ile incelenmiştir. Probleme ait hareket denklemi analitik olarak çözülmüş olup, frekans denklemleri ile zorlanmış titreşim yer değiştirmeleri kesin bir analitik değerde elde edilmiştir. Sayısal çalışmada, yerel olmayan parametre, dinamik, geometrik ve boşluk oranı parametrelerinin, nano çubuğun zorlanmış titreşim cevaplarına olan etkileri incelenmiştir.

Alıntı / Cite

Akbaş, Ş.D., (2019). Longitudinal Forced Vibration Analysis of Porous a Nanorod, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 736-743.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ş.D. Akbaş, 0000-0001-5327-3406

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.04.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

With the advancement of technology, the use of nano structures is increasing in the engineering projects. Nano structures have been used many application, such as electro-mechanical devices, actuators, atomic microscopes. In the mechanical modelling and solution of the nano structures are still difficult problems at the present time. In the mechanical solution of the nanostructures, molecular dynamic simulation is used. However, this solution takes much time and its computational cost is considerably high. So, the nonlocal continuum theories are preferred in the nanostructures. The nonlocal continuum theories consist of size effect in contrast with classical continuum theory.

The main nonlocal elasticity theories are the couple stress theory, strain gradient theory, Eringen's nonlocal elasticity theory.

In the production phase or lifetime of the nano structures, voids and porosities can be occurred naturally or technical problems. The porosity yields to losing strength and the mechanical responses of the nano structure change considerably.

In the last decade, vibration, stability and static behavior of the nano structure have been investigated within nonlocal continuum theories in the literature at large (Eringen (1972,1983), Toupin (1962), Lam et al. (2003), Mindlin (1963a,b)), Yang et al. (2002) Park and Gao (2006), Hasanyan et al. (2008), Loya et al. (2009), Civalek et al. (2009), Civalek and Kiracioglu (2010), Reddy (2010,2011), Hasheminejad et al.

* İlgili yazar / Corresponding author: seref.akbas@btu.edu.tr, +90-224-300-3498

(2011), Avcar (2010,2017,2018), Liu et al. (2013), Ansari et al. (2011), Civalek and Demir (2011), Wang et al. (2012), Asghari et al. (2010), Liu and Reddy (2011), Salamat-Talab et al. (2012), Akgöz and Civalek (2013,2014a,2014b), Roostai et al. (2014), Peng et al. (2015), Akbaş (2014a,2014b,2014c,2015, Karličić et al. (2015), Kocatürk and Akbaş (2013), Sedighi et al. (2014), Al-Basyouni et al. (2015), Şimşek (2016), Chaht et al. (2015), Zerín (2012), Yaylı (2014,2018), Mercan and Civalek (2017), Akgöz and Civalek (2017), Demir and Civalek (2017), Yaylı et al. (2015), Belkorissat et al. (2015), Akbaş (2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018c, 2017d, 2017e, 2018a, 2018b,2018c,2018d,2018e), Ke et al. (2012), Demir and Civalek (2016), Arda and Aydogdu (2017), Arda (2018), Eren and Aydogdu (2018)).

In the literature, the studies about porous nanostructures are as follows; Shafiei and Kazemi (2017) analyzed buckling of functionally graded porous tapered nanobeams based on Eringen's nonlocal elasticity theory. Ebrahimi et al. (2017) investigated vibration analysis of porous piezoelectric nanobeams under thermal effects based on strain gradient theory. Sahmani et al. (2018) analyzed nonlinear behavior of functionally graded nano/micro beam with reinforced by graphane with porosity effect. Li et al. (2018) presented nonlinear vibration analysis of porous nanobeams by using the von Kármán type nonlinearity and the strain gradient theory. Ebrahimi and Barati (2018a,2018b) examined dynamic and stability of porous nano beams with couple stress theory. Radić (2018) investigated buckling results of functionally graded nanoplates embedded on foundation with porosity. Karami et al. (2018) examined wave propagation analysis of functionally graded porous nanoplates. Sahmani and Aghdam (2018) studied nonlinear resonance of nanoporous nanobeams based on strain gradient theory. Barati and Zenkour (2018) investigated post-buckling analysis porous nano-composite beam reinforced by Graphane. Ahmed et al. (2019) studied post-buckling of functionally graded porous nanobeams.

In this study, longitudinal forced vibration of a cantilever nanorod is investigated with porosity effect. The nanorod is subjected to a harmonic load at the free end. In the governing equation of the problem, the nonlocal Elasticity theory is used. The solution of problem is obtained by analytically. The explicit frequency and displacements are obtained in domain time by analytically. In this paper, the effects of the nonlocal parameter, dynamic, geometric and porosity ratio values on the forced vibration responses of the nanorod are presented and discussed.

2. Theory and Equations

A clamped-free porous circular nanorod subjected to dynamically point load ($P(t)$) at the free end is shown

in figure 1. In figure 1, L and D indicate the length and diameter of the nanorod, respectively.

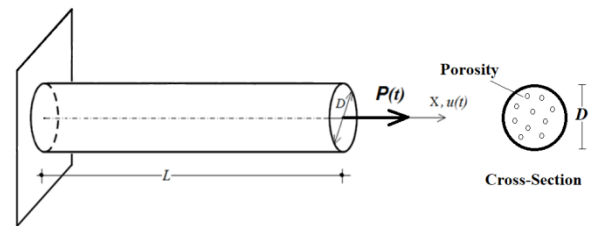


Figure 1. A clamped-free porous circular nanorod subjected to dynamically point load.

According to the nonlocal elasticity theory, constitutive equation of the problem is given as follows (Eringen (1972,1983));

$$\sigma_{xx} - \mu \frac{d^2 \sigma_{xx}}{dx^2} = E(p) \epsilon_{xx} \tag{1}$$

where, σ_{xx} is nonlocal normal stress, ϵ_{xx} is normal strain, E is the Young's modulus, p is volume fraction of porosities and $\mu = (e_0 a)^2$. where μ indicates the nonlocal parameter, e_0 indicates the material length scale parameter. By using the equilibrium of forces in the axially direction, the equation of motion can be expressed as follows;

$$E(p) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \rho(p) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + \rho(p) \mu \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} \right) = 0 \tag{2}$$

where, ρ is the mass density and u is the axial displacement function. The effective material property of the nanorod is considered as the even porosity distribution as follows:

$$E(p) = E(1 - p), \quad \rho(p) = \rho(1 - p) \tag{3}$$

When $p=0$, the nanorod becomes perfect. In solution of free vibration problem, the separation of variable is implemented in equation (2):

$$u_h(x, t) = U_h(x) e^{i\omega t} \tag{4}$$

where $U_h(x)$ is spatially function. ω is the natural frequency, t indicates the time and i indicates imaginary number.

The boundary conditions of the clamped-free of the nanorod for the free vibration problem are given as follows;

$$u(0, t) = 0, \quad \frac{du(L,t)}{dx} = 0 \tag{5}$$

Substituting equation (4) into equation (2) gives following equations of motion:

$$\left(\frac{d^2 U_h(x)}{dx^2} + \beta^2 U_h(x) \right) e^{i\omega t} = 0 \tag{6}$$

where

$$\beta^2 = \frac{\rho(p)\omega^2}{E(p) - \rho(p)\mu\omega^2} \quad (7)$$

By implementing the boundary conditions in the equation (6) for clamped-free nanorod, the following frequency equation is obtained:

$$\cos\beta L = 0 \quad (8a)$$

$$\beta_k L = (k - 0.5)\pi, \quad k=1,2,3\dots \quad (8b)$$

Substituting equation (7) into equation (8b) gives following equations of frequency:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{E(p)}{\rho(p)} \frac{(k-0.5)\pi}{\sqrt{L^2 + \mu(k-0.5)^2 \pi^2}}}, \quad k=1,2,3\dots \quad (9)$$

The external dynamically load (P(t)) is considered a harmonic function;

$$P(t) = P_0 \sin(\Omega t) \quad (10)$$

where P_0 and Ω are the amplitude and frequency of load, respectively. The boundary conditions of the forced vibration problem are given as follows;

$$u(0, t) = 0, \quad \frac{du(L, t)}{dx} = \frac{P(t)}{E(p)A} \quad (11)$$

where A is the area of the cross section. To solve the forced vibration problem, The solution (u_p) of equation (2) for the forced vibration problem is solved by using the separation of variable ;

$$u_p(x, t) = U_p(x) \sin(\Omega t) \quad (12)$$

Substituting Eq. (12) into equation (2) gives following equations of motion:

$$\left(\frac{d^2 U_p(x)}{dx^2} (E(p) - \mu \rho(p) \Omega^2) + \rho(p) \Omega^2 U_p(x) \right) \sin(\Omega t) = 0 \quad (13)$$

After the simplifying expression (13), the following equation is obtained as follows:

$$\left(\frac{d^2 U_p(x)}{dx^2} + \gamma^2 U_p(x) \right) = 0 \quad (14)$$

where

$$\gamma^2 = \frac{\rho(p)\Omega^2}{E(p) - \rho(p)\mu\Omega^2} \quad (15)$$

By implementing the boundary conditions in the equation (14) for clamped-free nanorod, the $U_p(x)$ is obtained as follows:

$$U_p(x) = \left(\frac{P_0 \sin(\gamma x)}{E(p) A \gamma \cos(\gamma L)} \right) \quad (16)$$

The dynamic displacement function is given as follows:

$$U_p(x, t) = \left(\frac{P_0 \sin(\gamma x)}{E(p) A \gamma \cos(\gamma L)} \right) \sin(\Omega t) \quad (17)$$

The dimensionless quantities are expressed as follows:

$$\eta = \frac{e_0 a}{L}, \quad \bar{\Omega} = \sqrt{\frac{\rho(p) L^2}{E(p)}} \Omega, \quad \lambda = \frac{L}{D}, \quad \bar{U} = \frac{U_p}{L} \quad (18)$$

where η and $\bar{\Omega}$ indicate the dimensionless nonlocal parameter and the dimensionless the frequency of the dynamic load, respectively. λ is the aspect ratio and \bar{U} is dimensionless the longitudinal displacement.

3. Numerical Results

In this section, the effects of the dimensionless nonlocal parameter, dimensionless the frequency of the dynamic load and the volume fraction of porosity on the dynamic displacements of the porous nanorod are examined. In the numerical study, the material of the nanorod is considered as epoxy ($E=1,44$ GPa, $\rho = 1600$ kg/m³). The diameter of the nanorod is taken as $D=1$ nm. The length of the nanorod is selected according to the aspect ratio (λ).

In figures 2,3 and 4, relationship between the dimensionless displacements and dimensionless nonlocal parameter (η) for different the volume fractions of porosity (p) is presented for different aspect ratios $\lambda = 10, \lambda = 30$ and $\lambda = 100$, respectively. The displacements (\bar{U}_m) are calculated at the free end of the nanorod. In these figures, the the amplitude of the dynamic load is taken as $P_0 = 1$ nN and the dimensionless the frequency of the dynamic load is taken as $\bar{\Omega}=10$.

It is seen from figures 2,3 and 4 that increasing the dimensionless nonlocal parameter yields to increase the difference among of the volume fractions of porosity on the dynamic displacements increase significantly. In the higher values of the dimensionless nonlocal parameter, there is quite large difference among the results of the porosity parameters. Another result of the figures 2,3 and 4 is that the aspect ratio has very influence on the porous nanorods. With increasing aspect ratio, the effects of nonlocal parameter on dynamic displacements change dramatically.

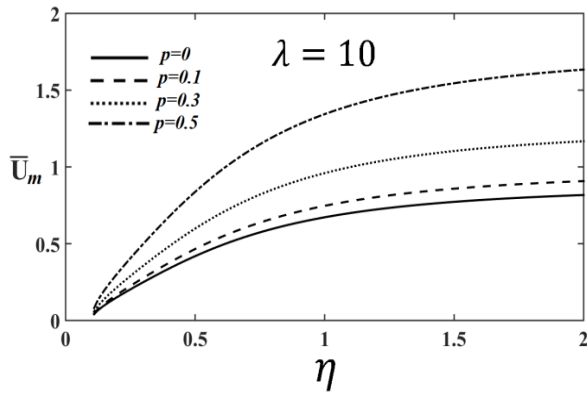


Figure 2. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless nonlocal parameter for different the volume fractions of porosity for $\lambda = 10$.

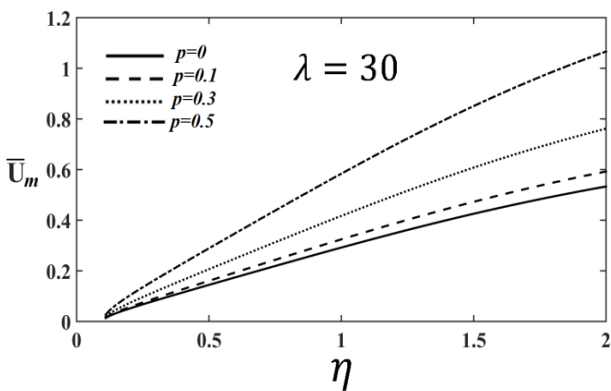


Figure 3. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless nonlocal parameter for different the volume fractions of porosity for $\lambda = 30$.

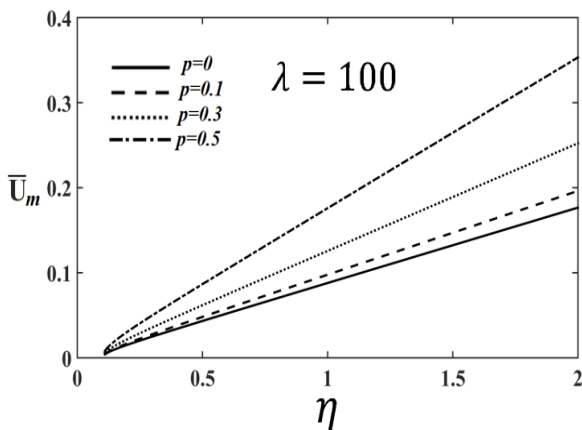


Figure 4. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless nonlocal parameter for different the volume fractions of porosity for $\lambda = 100$.

Figures 5, 6 and 7 show the relationship between the dimensionless displacements (\bar{U}_m) and the dimensionless the frequency of the dynamic load ($\bar{\Omega}$) is plotted for different the dimensionless nonlocal parameter (η) for the volume fractions of porosity $p=0, p=0.3$ and $p=0.5$, respectively. In figures 5, 6 and 7, the the amplitude of the dynamic load is taken as $P_0 = 1$ nN and the aspect ratio is taken as $\lambda = 10$.

As seen from figures 5, 6 and 7 that the dynamic responses the porous nanorod change with increasing the nonlocal parameter. Also, the resonance frequency change considerably with increasing the nonlocal parameter. The resonance case can be seen in the vertical asymptote lines in figures 5-7. Increasing of the dimensionless nonlocal parameter yields to decrease the resonance frequency.

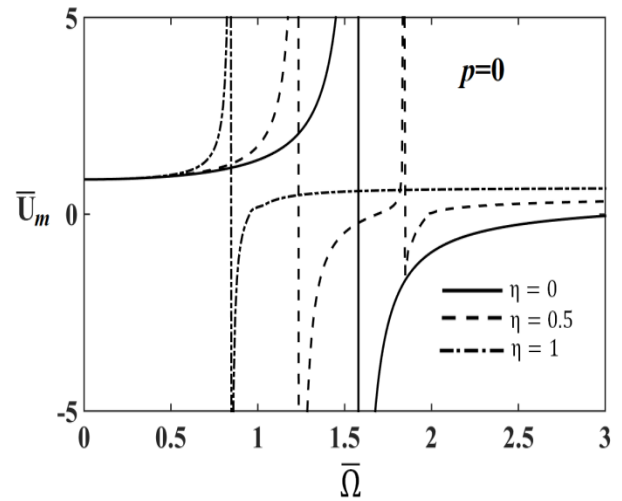


Figure 5. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless frequency of the load for different the dimensionless nonlocal values for $p=0$.

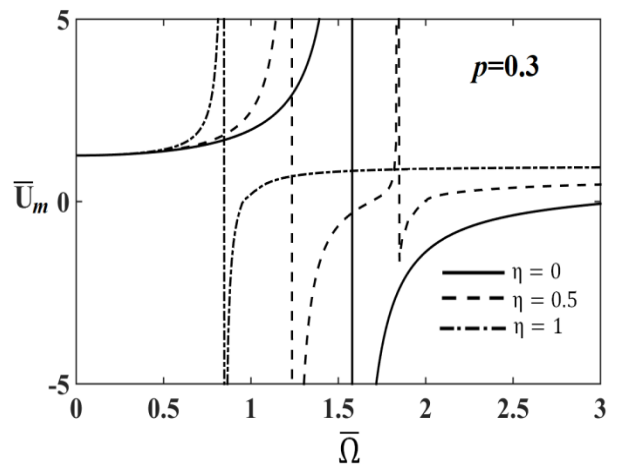


Figure 6. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless frequency of the load for different the dimensionless nonlocal values for $p=0.3$.

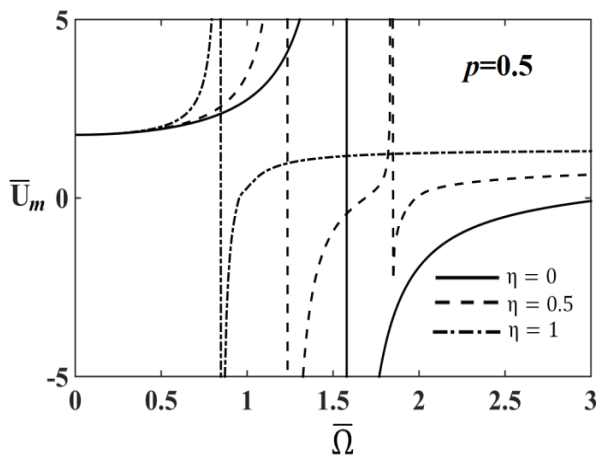


Figure 7. The relationship between dimensionless displacements and dimensionless frequency of the load for different the dimensionless nonlocal values for $p=0.5$.

4. Conclusions

Longitudinal forced vibration results of the porous a nanorod are investigated by using the nonlocal elasticity theory. In the forced vibration analysis, a harmonic external load is considered at the free end of the cantilever rod. In the considered vibration problem dynamic responses are obtained by analytically with using the separation of variable. In the numerical examples, the effects of the nonlocal, dynamic, geometry and porosity parameters on the forced vibration responses of the nanorod are presented and discussed. With using the analytical method in this problem, the exact solution and the dynamic responses of the all domain are obtained.

It is concluded from the results that the nonlocal parameters play important role on the porosity effects. The dynamic responses of the nanorods change with increasing the volume fractions of porosity significantly.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Ahmed, R. A., Fenjan, R. M., & Faleh, N. M. (2019). Analyzing post-buckling behavior of continuously graded FG nanobeams with geometrical imperfections. *Geomechanics and Engineering*, 17(2), 175-180.
- Akbaş, Ş.D. (2014a). Free vibration of axially functionally graded beams in thermal environment. *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 6(3), 37-51.
- Akbaş, Ş.D. (2014b). Wave propagation analysis of edge cracked circular beams under impact force. *PloS one*, 9(6), e100496.
- Akbaş, Ş.D. (2014c). Wave propagation analysis of edge cracked beams resting on elastic foundation. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 6(1), 40-52.
- Akbaş, Ş.D. (2015). Free vibration and bending of functionally graded beams resting on elastic foundation. *Research on Engineering Structures and Materials*, 1(1), 25-37.
- Akbaş, Ş.D., 2016a. Forced vibration analysis of viscoelastic nanobeams embedded in an elastic medium. *Smart Structures and Systems*, 18(6), 1125-1143.
- Akbaş, Ş.D., 2016b. Analytical solutions for static bending of edge cracked micro beams. *Structural Engineering and Mechanics*, 59(3),579-599.
- Akbaş, Ş.D., 2017a. Free vibration of edge cracked functionally graded microscale beams based on the modified couple stress theory, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 17(3),1750033.
- Akbaş Ş.D., 2017b. Static, Vibration, and Buckling Analysis of Nanobeams, in *Nanomechanics*, ed. A. Vakhrushev (InTech), pp.123-137.
- Akbaş, Ş.D., 2017c. Stability of A Non-Homogenous Porous Plate by Using Generalized Differential Quadrature Method, *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 9(2), 147-155.
- Akbaş, Ş.D., 2017d. Forced vibration analysis of functionally graded nanobeams, *International Journal of Applied Mechanics*, 9(07), 1750100.
- Akbaş, Ş.D. (2017e). Thermal effects on the vibration of functionally graded deep beams with porosity. *International Journal of Applied Mechanics*, 9(05), 1750076.
- Akbaş, Ş.D. 2018a. Forced vibration analysis of cracked functionally graded microbeams, *Advances in Nano Research*, 6(1), 39-55.
- Akbaş, Ş.D., 2018b. Forced vibration analysis of cracked nanobeams, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(8), 392.
- Akbaş, Ş.D. (2018c) Investigation on Free and Forced Vibration of a Bi-Material Composite Beam. *Journal of Polytechnic*, 21(1), 65-73.
- Akbaş, Ş.D. (2018d). Investigation of static and vibration behaviors of a functionally graded orthotropic beam. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 20(1), 69-82.

- Akbaş, Ş D. (2018e). Forced vibration analysis of functionally graded porous deep beams. *Composite Structures*, 186, 293-302.
- Akgöz, B. and Civalek, Ö., (2013). Free vibration analysis of axially functionally graded tapered Bernoulli-Euler microbeams based on the modified couple stress theory. *Composite Structures*, 98:314-322.
- Akgöz, B. and Civalek, Ö. (2014a) Thermo-mechanical buckling behavior of functionally graded microbeams embedded in elastic medium. *International Journal of Engineering Science*, 85:90-104.
- Akgöz, B. and Civalek, Ö., 2014b. Longitudinal vibration analysis for microbars based on strain gradient elasticity theory, *Journal of Vibration and Control*, 20(4), 606-616.
- Akgöz, B. and Civalek, Ö. (2017). Effects of thermal and shear deformation on vibration response of functionally graded thick composite microbeams. *Composites Part B: Engineering*, 129, 77-87.
- Al-Basyouni, K.S., Tounsi, A. and Mahmoud, S.R., 2015. Size dependent bending and vibration analysis of functionally graded micro beams based on modified couple stress theory and neutral surface position, *Composite Structures*, 125, 621-630.
- Ansari, R., Gholami, R. and Sahmani, S., 2011. Free vibration analysis of size-dependent functionally graded microbeams based on the strain gradient Timoshenko beam theory, *Composite Structures*, 94(1): 221-228.
- Arda, M. and Aydogdu, M., 2017. Longitudinal Vibration of CNTs Viscously Damped in Span, *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 9(2), 22-38.
- Arda, M., 2018. Vibration Analysis of an Axially Loaded Viscoelastic Nanobeam, *Int J Eng*, 10(3), 252-263.
- Asghari, M., Ahmadian, M.T., Kahrobaian, M.H. and Rahaeifard, M., 2010. On the size-dependent behavior of functionally graded micro-beams. *Materials and Design*, 31(5):2324-2329.
- Avcar, M. (2010). Free Vibration of Randomly and Continuously NonHomogenous Beams with Clamped Edges Resting On Elastic Foundation. *Journal of Engineering Science and Design*, 1(1), 33-38.
- Avcar, M. and Mohammed, W.K.M. (2017). Examination of The Effects of Winkler Foundation and Functionally Graded Material Properties on The Frequency Parameters of Beam. *Journal of Engineering Science and Design*, 5(3), 573-580.
- Avcar, M. and Mohammed, W.K.M. (2018). Free vibration of functionally graded beams resting on Winkler-Pasternak foundation. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(10), 232.
- Barati, M. R., & Zenkour, A. M. (2018). Analysis of postbuckling of graded porous GPL-reinforced beams with geometrical imperfection. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 1-9.
- Belkorissat, I., Houari, M. S. A., Tounsi, A., Bedia, E. A. and Mahmoud, S. R., 2015. On vibration properties of functionally graded nano-plate using a new nonlocal refined four variable model, *Steel and Composite Structures*, 18(4), 1063-1081.
- Civalek, Ö., Demir, Ç. and Akgöz, B., 2009. Static analysis of single walled carbon nanotubes (SWCNT) based on Eringen's nonlocal elasticity theory, *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 1(2), 47-56.
- Civalek, Ö. and Kiracioglu, O. (2010). Free vibration analysis of Timoshenko beams by DSC method. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 26(12), 1890-1898.
- Civalek, Ö. and Demir, C. (2011). Buckling and bending analyses of cantilever carbon nanotubes using the euler-bernoulli beam theory based on non-local continuum model. *Asian Journal of Civil Engineering*, 12(5), 651-661.
- Chaht, F. L., Kaci, A., Houari, M. S. A., Tounsi, A., Bég, O. A. and Mahmoud, S. R., 2015. Bending and buckling analyses of functionally graded material (FGM) size-dependent nanoscale beams including the thickness stretching effect, *Steel and Composite Structures*, 18(2), 425-442.
- Demir, Ç. and Civalek, Ö. 2016. Bending and Vibration of Single-Layered Graphene Sheets. *Journal of Engineering Science and Design*, 4(3), 173-183.
- Demir, Ç. and Civalek, Ö. (2017). A new nonlocal FEM via Hermitian cubic shape functions for thermal vibration of nano beams surrounded by an elastic matrix. *Composite Structures*, 168, 872-884.
- Ebrahimi, F., Daman, M., & Jafari, A. (2017). Nonlocal strain gradient-based vibration analysis of embedded curved porous piezoelectric nano-beams in thermal environment. *Smart Structures & Systems*, 20(6), 709-728.
- Ebrahimi, F., & Barati, M. R. (2018a). Stability analysis of porous multi-phase nanocrystalline nonlocal

- beams based on a general higher-order couple-stress beam model. *Structural Engineering and Mechanics*, 65(4), 465-476.
- Ebrahimi, F., & Barati, M. R. (2018b). Propagation of waves in nonlocal porous multi-phase nanocrystalline nanobeams under longitudinal magnetic field. *Waves in Random and Complex Media*, 1-20.
- Eren, M. and Aydogdu, M. 2018. Finite strain nonlinear longitudinal vibration of nanorods. *Advances in Nano Research*, 6(4), 323-337.
- Eringen, A.C., 1972. Nonlocal polar elastic continua, *International Journal of Engineering Science*, 10(1),1-16.
- Eringen, A.C., 1983. On differential equations of nonlocal elasticity and solutions of screw dislocation and surface waves, *Journal of Applied Physics*, 54, 4703-10.
- Hasanyan, D.J., Batra, R.C. and Harutyunyan, S., 2008. Pull-in instabilities in functionally graded microthermoelectromechanical systems, *J Therm Stresses*, 31,1006-21.
- Hasheminejad, B.S.M., Gheshlaghi, B., Mirzaei, Y., Abbasion, S., 2011. Free transverse vibrations of cracked nanobeams with surface effects, *Thin Solid Films*, 519, 2477-2482.
- Karami, B., Janghorban, M., & Li, L. (2018). On guided wave propagation in fully clamped porous functionally graded nanoplates. *Acta Astronautica*, 143, 380-390.
- Karličić, D., Cajić, M., Murmu, T., & Adhikari, S., 2015. Nonlocal longitudinal vibration of viscoelastic coupled double-nanorod systems, *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 49, 183-196.
- Ke, L.L., Wang, Y.S., Yang, J. and Kitipornchai, S., 2012. Nonlinear free vibration of size-dependent functionally graded microbeams, *International Journal of Engineering Science*, 50(1),256-267.
- Kocatürk, T. and Akbaş, Ş.D. (2013). Wave propagation in a microbeam based on the modified couple stress theory, *Structural Engineering and Mechanics*, 46(3),417-431.
- Lam, D.C.C., Yang, F., Chong, A.C.M., Wang J. and Tong P., 2003. Experiments and theory in strain gradient elasticity, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 51(8),1477-508.
- Li, L., Tang, H., & Hu, Y. (2018). Size-dependent nonlinear vibration of beam-type porous materials with an initial geometrical curvature. *Composite Structures*, 184, 1177-1188.
- Liu, P. and Reddy, J.N., 2011. A Nonlocal curved beam model based on a modified couple stress theory, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 11(3),495-512.
- Liu, S.J., Qi, S.H. Zhang, W.M., 2013. Vibration behavior of a cracked micro-cantilever beam under electrostatic excitation, *Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock*, 32,41-45.
- Loya, J., López-Puente, J., Zaera, R. and Fernández-Sáez, J., 2009. Free transverse vibrations of cracked nanobeams using a nonlocal elasticity model, *Journal of Applied Physics*, 105(4),044309.
- Mercan, K. and Civalek, Ö. (2017). Buckling analysis of Silicon carbide nanotubes (SiCNTs) with surface effect and nonlocal elasticity using the method of HDQ. *Composites Part B: Engineering*, 114, 34-45.
- Mindlin, R.D. and Tiersten H.F., 1962. Effects of couple-stresses in linear elasticity, *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 11(1),415-48.
- Mindlin, R.D., 1963. Influence of couple-stresses on stress concentrations, *Experimental mechanics*, 3(1),1-7.
- Park, S.K. and Gao, X.L., 2006. Bernoulli-Euler beam model based on a modified couple stress theory, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 16(11),2355-2359.
- Peng, X.-L., Li, X.-F., Tang, G.-J., Shen, Z.-B., 2015. Effect of scale parameter on the deflection of a nonlocal beam and application to energy release rate of a crack, *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 95,1428-1438.
- Radić, N. (2018). On buckling of porous double-layered FG nanoplates in the Pasternak elastic foundation based on nonlocal strain gradient elasticity. *Composites Part B: Engineering*, 153, 465-479.
- Reddy, J.N., 2010. Nonlocal nonlinear formulations for bending of classical and shear deformation theories of beams and plates, *International Journal of Engineering Science*, 48(11), 1507-1518.
- Reddy, J.N., 2011. Microstructure-dependent couple stress theories of functionally graded beams, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 59(11), 2382-2399.
- Roostai, H. and Haghpanahi, M., 2014. Vibration of nanobeams of different boundary conditions with

- multiple cracks based on nonlocal elasticity theory, *Applied Mathematical Modelling*, 38,1159–1169.
- Sahmani, S., & Aghdam, M. M. (2018). Nonlinear primary resonance of micro/nano-beams made of nanoporous biomaterials incorporating nonlocality and strain gradient size dependency. *Results in physics*, 8, 879-892.
- Sahmani, S., Aghdam, M. M., & Rabczuk, T. (2018). Nonlinear bending of functionally graded porous micro/nano-beams reinforced with graphene platelets based upon nonlocal strain gradient theory. *Composite Structures*, 186, 68-78.
- Sedighi, H.M. 2014, The influence of small scale on the pull-in behavior of nonlocal nanobridges considering surface effect, Casimir and Van der Waals attractions, *International Journal of Applied Mechanics*, 6(03),1450030.
- Shafiei, N., & Kazemi, M. (2017). Buckling analysis on the bi-dimensional functionally graded porous tapered nano-/micro-scale beams. *Aerospace Science and Technology*, 66, 1-11.
- Şimşek, M., 2016, Axial Vibration Analysis of a Nanorod Embedded in Elastic Medium Using Nonlocal Strain Gradient Theory, *Journal of Cukurova University Faculty of Engineering*, 31(1), 213-222.
- Toupin, R.A., 1962. Elastic materials with couple stresses. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 11(1),385–414.
- Wang, C.M., Xiang, Y., Yang, J. and Kitipornchai, S. 2012. Buckling of nano-rings/arches based on nonlocal elasticity. *International Journal of Applied Mechanics*, 4(03),1250025.
- Yang, F., Chong, A., Lam, D. and Tong, P., 2002. Couple stress based strain gradient theory for elasticity, *International Journal of Solids and Structures*. 39(10),2731-2743.
- Yaylı, M.Ö., 2014. On the axial vibration of carbon nanotubes with different boundary conditions, *Micro & Nano Letters*, 9(11), 807-811.
- Yaylı, M.Ö., Yanik, F. and Kandemir, S.Y., 2015. Longitudinal vibration of nanorods embedded in an elastic medium with elastic restraints at both ends, *Micro & Nano Letters*, 10(11), 641-644.
- Yaylı, M.Ö. (2018), Free vibration analysis of a rotationally restrained carbon nanotube via nonlocal Timoshenko beam theory, *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 20(2), 8-21.
- Zerin, Z. (2012), The Stability Of The Non-Homogenous Cylindrical Shell In The Elastic Medium Subjected To Uniform Hydrostatic Pressure. *Journal of Engineering Science and Design*, 2(1), 37-41.



FOTONİK KRİSTALLERDE TÜMYÖNLÜ BANT ARALIĞININ İNCELENMESİ

Onur ERKAN*, Serkan ŞİMŞEK

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Periyodik Yapılar, Fotonik Kristaller, Tümyönlü Yansıtıcılar, AFGSM Yöntemi.</i>	Kablolu ve kablosuz ağ teknolojilerinde veri kullanım oranının artması taşıyıcı ortamdaki bant genişliklerinin daha etkin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Gelişen malzeme teknolojisi sayesinde nanometre boyutlarında düşük güçle çalışan ve optik spektrumun verimli kullanılmasını sağlayan bileşenlerin tasarlanması mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada optik frekans bölgesindeki uygulamalarda kullanılan geliş açısı ve kutuplanmadan bağımsız tümyönlü yansıtıcı bileşeninin analiz ve tasarımı yapılmıştır. Tümyönlü yansıtıcının bant kenar frekanslarının belirlenmesinde, bilinen sayısal yöntemlere alternatif olarak daha hızlı ve yüksek doğrulukta sonuç veren genelleştirilmiş saçılma matrisi yardımcı fonksiyonları (AFGSM) yöntemi kullanılmıştır. Önerilen alternatif yöntem ile periyodiklik koşulu altında istenen tümyönlü yansıtıcı parametrelerini sağlayan fotonik kristalli dielektrik malzemeler uygun şekilde seçilmiş (Te, Ta ₂ O ₅ , TiO ₂) ve elde edilen sonuçlar bilgisayar benzetimleri ile doğrulanmıştır. Tasarımı yapılan yansıtıcı, optik dalgaboyu bölgesinde %56.63'lük tümyönlü bağıl bant genişliği (ORB) değerine sahip, 924 nm – 1654 nm aralığında tümyönlü fotonik durdurma bandı (OBG) sağlamaktadır.

INVESTIGATION OF OMNIDIRECTIONAL BANDGAPS IN PHOTONIC CRYSTALS

Keywords	Abstract
<i>Periodic Structures, Photonic Crystals, Omnidirectional Reflectors, AFGSM Method.</i>	Rapidly increasing data usage rates in fixed and wireless technologies encouraged the researches to find alternative ways of using limited bandwidth in carrier medium more efficiently. Recent developments in material science, particularly in nanometer scale, allowed engineers to design low power components that can ensure efficient use of optical spectrum. In this study, we designed an omnidirectional reflector that can be used as an optical component without any dependency on polarization or angle of incidence. Band edge frequencies of omnidirectional reflector are determined by employing auxiliary functions of generalized scattering matrix (AFGSM) method which provides faster and accurate estimates in comparison to conventional methods existing in the literature. Using the proposed method proper photonic crystal structures (Te, Ta ₂ O ₅ , TiO ₂) are selected according to given design objective while satisfying the periodicity condition. Computer simulation results are given for verification. The designed reflector provides an omnidirectional relative bandwidth (ORB) value of 56.63% with an omnidirectional photonic bandgap (OBG) in the range of 924 nm to 1654 nm in optical wavelength region.

Alıntı / Cite

Erkan, O., Şimşek, S., (2019). Fotonik Kristallerde Tümyönlü Bant Aralığının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 744-750.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Erkan, 0000-0002-2930-1486
S. Şimşek, 0000-0003-0964-2176

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.01.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: erkanonu@itu.edu.tr, +90-212-285-3624

1. Giriş

Elektromanyetik dalgaların dielektrik sabiti periyodik olarak değişen yapılarda propagasyonu, belirli frekans aralığında ve belirli doğrultuda kontrol edilebilmektedir. Bu teori ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında Rayleigh ve Brillouin tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Bu çalışmalarda periyodik yapıların ışığın geliş açısına bağlı olarak değişen bir band aralığına sahip olduğu ortaya konulmuştur. 1987 yılında Eli Yablonovitch fotonik kristaller kullanarak durdurma bantlarını incelediği deneysel araştırmalarını yayınlamıştır. Fotonik kristallerin güçlü yansıma gösterdiği, elektromanyetik dalgaların iletiminin engellendiği frekans aralığı "fotonik bant aralığı" (PBG: photonic bandgap) olarak adlandırılmaktadır (Joannopoulos vd., 2008). Bu fenomen kullanılarak fotonik kristaller ve uygulamaları son yıllarda birçok bilimsel çalışma ve mühendislik uygulama alanına konu olmuştur. Bu uygulamalar arasında yer alan bileşenlerden bazıları dalga kılavuzları, ayırıcılar (splitters), dağılmış geri-beslemeli lazerler, dielektrik fabry-perot filtreler, ayarlanabilir polarizörler, optik fiber yapılar, dielektrik yansıtıcılar, demet bölücüler ve optik filtrelerdir.

Fotonik kristallerin propagasyon karakteristiği, yapının iletim-durdurma bant diyagramının çıkarılması ile elde edilebilmektedir. Fiziksel ve elektriksel özellikleri seçilmiş (veya belirlenmiş) bir fotonik kristalin fotonik durdurma bandı sadece belli bir frekans, geliş açısı ve kutuplanma için geçerlidir. Çalışma frekansı, geliş açısı ve kutuplanma değiştirildiğinde fotonik durdurma bandı farklı spektral bölgelerde oluşabilir veya durdurma bandı oluşmayabilir. Fotonik kristallerde malzeme dielektrik özellikleri ve katman kalınlıklarının uygun olarak seçilmesi sonucu istenen frekans bölgesinde, kutuplanma ve geliş açısından bağımsız tümyönlü durdurma bant aralığı (OBG: omnidirectional bandgap) elde edilebilmektedir. Fink vd., (1998) yılında yapmış olduğu çalışmada çeyrek dalga uzunluğunda katmanlar (quarter-wave stack) ile elde edilen tümyönlü yansıtıcının durdurma bantlarını incelemiştir.

Tümyönlü yansıtıcılar veya diğer optik bileşenler tasarlanırken fabrikasyon sürecine geçmeden önce periyodik yapının ideale yakın dizayn edilebilmesi için birden fazla sayısal modelleme yapılması gerekmektedir. Bu sebeple hızlı ve doğru sayısal benzetim ile fotonik kristal tasarımı çok büyük önem teşkil etmektedir. Fotonik bant aralıklarının hesaplanmasında düzlem dalga açılım yöntemi (PWE) başta olmak üzere, zamanda sonlu farklar yöntemi (FDTD), transfer matrisi metodu (TMM), sonlu elemanlar metodu (FEM) sıklıkla kullanılan yöntemlerden başlıcalarıdır. Birçok elektromanyetik problemin çözümünde kullanılan bu yöntemler ile analiz yapmak mümkün olmasına rağmen problemin

özdeğer denkleminin indirgenmesi ve istenen frekans aralığında özdeğer denkleminin çözümünün aranması hesap uzayını genişletmektedir. Bu noktada periyodik yapının özdeğer denkleminin çözümüne gerek kalmadan bant kenar frekanslarının hesaplanabilmesinin problemin çözümüne büyük kolaylık getireceği aşikardır.

Literatürde kayıpsız periyodik yapılardaki birim hücrenin genelleştirilmiş saçılma matrisi için ortaya konan sakınım ilişkisi vasıtasıyla, özdeğer denkleminin çözülmesine gerek kalmadan iletim-durdurma bant geçiş frekanslarının tespit edilebildiği ispatlanmıştır (Şimşek ve Topuz, 2007). Devam eden çalışmalarda, genelleştirilmiş saçılma matrisi yardımcı fonksiyonları yöntemi (AFGSM) kullanılarak periyodik yapıların bant geçiş frekansları analitik yardımcı fonksiyonlar ile sayısal olarak doğru ve verimli bir şekilde tespit edilmiştir (Erkan vd., 2018; Ertay ve Şimşek, 2018). Aynı zamanda bu çalışmada, yöntemin tümyönlü bant aralıklarının belirlenmesinde ve yansıtıcı tasarımında etkin bir şekilde kullanılabildiği belirtilmiştir. Bu yönüyle, mikrodalga uygulamalarında sıklıkla kullanılan saçılma parametrelerinin hesaplamasına dayanan yaklaşımın optik bölgede uygulanmasının mümkün olduğu gösterilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Günümüzde mobil ve sabit haberleşme şebekelerinin altyapısını oluşturan fiber optik haberleşme sistemleriyle uzak mesafelere yüksek kapasiteli veri aktarımı optik spektrumunda bant genişliklerinin etkin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Gelişen malzeme teknolojisi ile düşük güçle çalışan, nanometre boyutlarında entegre elemanlar ile optik seviyede anahtarlama sağlanabilmektedir. Optik anahtarlama modüllerinin yanı sıra hareketli mikro aynaların kullanıldığı MEM (mikro-elektro mekanik) teknolojisinin uygulandığı optiksel çapraz bağlayıcılar (OCX) (Notomi 2005), yoğun dalgaboyu bölmeli sayısal çoklayıcılar (DWDM) (Wosinski vd., 2009) gibi temelde optik filtre yapısında çalışan telekomünikasyon elemanları fotonik kristaller ile gerçekleştirilebilmektedir. Kablosuz ağ teknolojilerinde kullanılan anten uygulama örneklerinde fotonik kristallerin kullanılması sonucu yüzey dalgaları sönmülmendiği için anten kazancını ve anten yönlülüğünü artırdığı gösterilmiştir (Sharma vd., 2008; Liang vd., 2009). Kablolulu haberleşme sistemlerinde ise dar bandgenişliğine sahip kanallar kullanılarak frekans spektrumunu etkin bir şekilde kullanabilmek hedeflenmektedir. Bunu sağlayabilmek için keskin geçişlere sahip filtre yapısı tasarlanarak yan kanallara girişimin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Fotonik kristaller optik entegre teknolojilerinde istenen bu özelliklerde tasarlanarak ideale yakın optik filtreler elde

edilebilmektedir (Banaei vd., 2014; Prather vd., 2009).

Optik bileşenlerin modellenmesinde belli bir frekans bandında bütün geliş açıları ve kutuplanmalar için geçerli olan bir durdurma bandının tasarlanması hedeflenmektedir. Bu durumda oluşan fotonik durdurma bandı tümyönlü fotonik durdurma bandı olarak adlandırılmaktadır. Kim vd. (2002)'de çeyrek-dalga uzunluğunda (QWS) dielektrik tabakalardan oluşan geniş bir tümyönlü yansıtıcı tasarımı için yüksek kırılma indisinin 2.26'dan büyük, düşük kırılma indisinin ise yaklaşık olarak 1.5 seçilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Southwell'in (1999)'da yaptığı çalışmada ise düşük kırılma indisli malzemenin kırılma indisinin 1.45 civarında seçilmesinin, yüksek kırılma indisinin seçiminden bağımsız olarak geniş tümyönlü yansıtıcı elde etmek için yeterli olduğu ifade edilmiştir. Srivastava vd., (2007)'de fuleren film tabakalar kullanarak bir boyutlu fotonik kristallerde tümyönlü yansıtma bandı tasarımı yapmıştır. Chigrin (1998)'de tümyönlü yansıtıcı özellikleri elde edebilmek için bir boyutlu fotonik kristallerin kullanımının yeterli olduğunu gösteren çalışmayı yayınlamıştır. Haas (2006) ve Hwang'ın (2007)'de yaptığı çalışmalarda ise iki boyutlu tümyönlü durdurma bölgelerinin elde edilmesi incelenmiştir. Chen (2011)'de yaptığı çalışmalarında iki boyutlu fotonik kristal tümyönlü yansıtıcılar ile dalga klavuzlarının tasarımına ilişkin örnekler sunmuştur.

Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda analizler için düzlem dalga açılım yöntemi (Sözüer 1991, Sakoda 2001) veya transfer matrisi yöntemi (Pendry ve MacKinnon 1992) kullanılmıştır. Düzlem dalga açılım yöntemi özdeğer denkleminin çözümüne dayalı olduğundan problem geometrisi karmaşıklıkça hesaplama yükü artmaktadır. FDTD yöntemi ile yapılan analizlerde ise, benzetim alanı (simulation domain) ağ örgüsünün (mesh) yoğunluğuna bağlı olarak daha doğru sonuç vermekte fakat hesap uzayını doğrusal olarak büyütmektedir (Kuang ve Kim, 2007). Bu yöntemlerin yanısıra transfer matrisi metodu (TMM), sonlu elemanlar metodu (FEM) (Qiu 2001) fotonik kristalin bant yapılarını hesaplamak için kullanılan metodlardan bazılarıdır. TMM sıklıkla tercih edilen bir yöntem olmasına rağmen tanımı gereği barındırdığı üstel fonksiyonların pozitif ve negatif argümanları sebebiyle kararsız sonuçlar üretebilmektedir. Öte yandan genelleştirilmiş saçılma matrisi (GSM) yöntemi sadece negatif argümanlı üstel fonksiyonlar içerdiğinden TMM yöntemine göre sayısal olarak karardır. Geleneksel olarak özdeğer denkleminin çok sayıda parametre takımı için çözümünde genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi salt sayısal yöntemler de kullanılabilir.

Alternatif olarak (Şimşek ve Topuz, 2007) yayınında ispatlandığı üzere kayıpsız birim hücrenin tek Floquet modlu bölge içerisinde yer alan iletim/durdurma bant geçiş frekansları saçılma parametreleri cinsinden elde edilen alternatif fonksiyonlar yardımıyla tespit edilebilmektedir. Bu yöntem AFGSM metodu olarak tasarım çalışmaları ile literatürde yer almaktadır (Erkan vd., 2018).

3. Materyal ve Yöntem

Problem tanımında periyodiklik ilişkisi kullanılarak bir boyutlu periyodik fotonik kristal yapıların dispersiyon (dağılma) denklemi dik geliş ve eğik geliş durumları için türetilerek matematiksel model ifade edilebilmektedir (Yariv, 2006). Geleneksel olarak durdurma bant aralıklarının tespiti özdeğer denkleminin çözülmesi ile sağlanmaktadır.

Literatürde belirtildiği üzere özdeğer (dispersiyon) denklemi

$$\begin{aligned} \text{Cos}(Kp) = & \text{Cos}(k_1^z p_1) \text{Cos}(k_2^z p_2) \\ & - M \text{Sin}(k_1^z p_1) \text{Sin}(k_2^z p_2) \end{aligned} \quad (1)$$

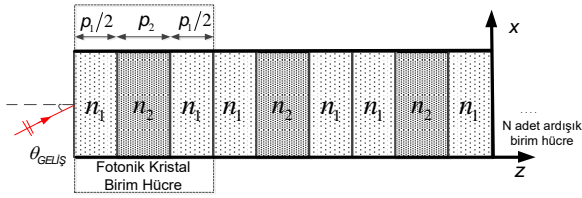
şeklinde ifade edilmektedir (Şimşek 2013) . Burada

$$M = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{k_2^z}{k_1^z} + \frac{k_1^z}{k_2^z} \right) & TE \\ \frac{1}{2} \left(\frac{n_1^2 k_2^z}{n_2^2 k_1^z} + \frac{n_2^2 k_1^z}{n_1^2 k_2^z} \right) & TM \end{cases} \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'de k_1^z ve k_2^z sırasıyla birinci ve ikinci ortamda dalga vektörünü, p_1 ve p_2 sırasıyla birinci ve ikinci dielektrik katmanın tabaka uzunluklarını, p bir periyotluk tabaka uzunluğunu, n_1 ve n_2 periyodik yapı kırılma indislerini temsil etmektedir. Dielektrik tabaka dalga vektörleri açılma frekans ω , geliş açısı θ_i ve kırılma indisi n_i cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$k_i^z = \frac{\omega n_i}{c} \cos \theta, \quad k_x = \frac{\omega n_i}{c} \sin \theta, \quad i=1,2 \quad (3)$$

Dik geliş durumunda geliş açısı $\theta = 0^\circ$ ve $\cos \theta = 1$, $\sin \theta = 0$ şeklindedir. Burada dalga vektörü bileşenleri x -yönünde sıfırdır. Eğik geliş durumunda ise geliş açısı $\theta \neq 0^\circ$ ve $\cos \theta \neq 1$, $\sin \theta \neq 0$ şeklindedir. Burada dalga vektörünün x -yönündeki bileşeni sıfırdan farklıdır ve sisteme katkısı bulunmaktadır. (1) no'lu dispersiyon denkleminde de bulunan K terimi Bloch dalga vektörünü temsil etmektedir.



Şekil 1. Bir boyutlu fotonik kristal birim hücre geometrisi

Şekil 1'de verilen bir boyutlu simetrik periyodik yapının iki kapılı devre modeline göre s-parametreleri eşitlik (4)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Denklem (4)'de b_i ve a_i birim hücreye gelen ve yansıyan dalgaları göstermektedir.

Floquet periyodikli koşulu ve sınır koşulları uygulanarak birim hücre özdeğer denklemi (5) elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} I & -S_{11} \\ 0 & -S_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b^{(i)} \\ a^{(i)} \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} -S_{12} & 0 \\ -S_{22} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b^{(i)} \\ a^{(i)} \end{bmatrix} = 0 \quad (5)$$

Özdeğer denklemini kökleri eşitlik (4)'de verildiği gibi alternatif olarak yazılabilmektedir.

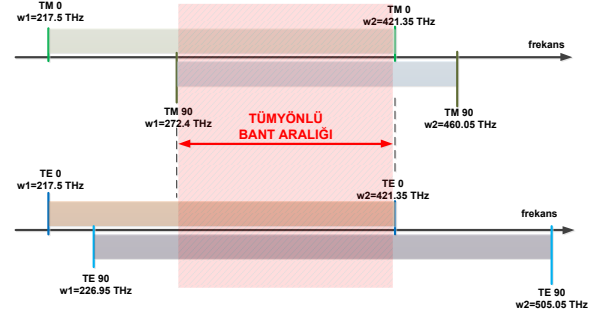
$$\cos(\theta) = \frac{1 - S_{11}^2 + S_{21}^2}{2 S_{21}}, \quad \theta = Kp \quad (6)$$

Simetrik birim hücre için bir Floquet modunun reaktif gücü birim hücrenin saçılma parametreleri cinsinden

$$X_{\pm} = \text{Im} \{ S_{11} \pm S_{21} \} \quad (7)$$

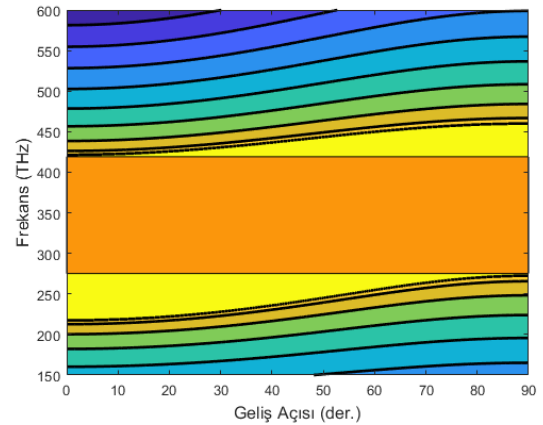
olarak ifade edilebilir. Böylece AFGSM yönteminde band kenar frekansları tanımlanan X_+ ve X_- fonksiyonlarının sıfır geçişleri ile elde edilirler.

Fotonik Kristalin fotonik durdurma bandı çalışma frekansına, geliş açısına ve kutuplanmaya bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple problemin çözümünde TE (enine elektrik) ve TM (enine manyetik) modlar oluşmaktadır. Belli bir frekans bandında tüm geliş açıları ve her iki kutuplanma (TE veya TM) için oluşan fotonik durdurma bandı tümyönlü fotonik durdurma bandını (OBG) oluşturmaktadır. Örnek olarak kırılma indisi $n_1 = 4.6$, $n_2 = 1.6$ ve tabaka kalınlıkları $p_1=48$ nm, $p_2=155$ nm seçilerek elde edilen yapının (bkz. Şekil 1) farklı geliş açıları ve TE (enine elektrik), TM (enine manyetik) kutuplanmalar için verdiği durdurma bant aralıkları Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Tümyönlü yansıtıcı bant aralığının frekans spektrumunda TE ve TM kutuplanma için gösterimi

Şekil 2'de TM kutuplanmasında elde edilen durdurma bant aralığının TE kutuplanmasında elde edilen sonuçlara göre daha dar bant vermesi sebebiyle tümyönlü durdurma bant bölgesi için TM 0^0 ve TM 90^0 koşullarının kontrol edilmesinin yeterli olduğu gösterilmektedir. Şekil 3'te aynı yapının TM kutuplanmasında tüm geliş açıları için elde edilen bant aralıkları verilmiştir. Boyalı dikdörtgen alan 270 THz – 420 THz bölgesinde tümyönlü durdurma bandını göstermektedir.

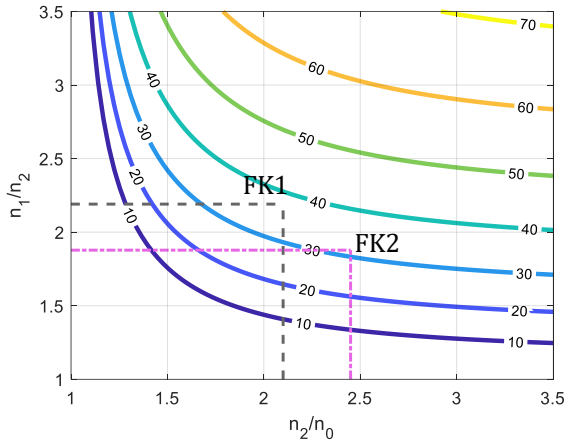


Şekil 3. Geliş açısının bir fonksiyonu olarak durdurma bant aralıkları (TM kutuplanma)

Literatürde tümyönlü yansıtıcı elde etmek için genellikle çeyrek-dalga tabaka (QWS) kalınlığı referans alınmaktadır. 4.bölümde tabaka kalınlıkları QWS uzunluğunda seçilmeden elde edilebilen geniş tümyönlü yansıtıcı tasarımı verilmiştir.

4. Araştırma Bulguları

Bir boyutlu fotonik kristal malzemeler periyodik veya yarı-periyodik olarak kaskad bağlanarak geniş durdurma bandı tasarımları yapılabilmektedir. Bu tasarım tek tip birim hücreden en geniş omnidireksiyonel bandın elde edilmesi veya farklı tipte malzeme kullanılarak elde edilen farklı birim hücrelerin kaskad bağlanarak tümyönlü band elde edilmesi şeklinde özetlenebilir.



Şekil 4. Tümyönlü yansıtma bağıl bant genişliğinin merkez frekansa oranı kontür diyagramı

Tümyönlü yansıtıcının bant genişliğinin seçilen dielektrik malzemelerin kırılma indisleri ile olan ilişkisi Şekil 4’de verilmiştir (Winn 1998). Tümyönlü yansıtıcı durdurma bant genişliğinin merkez frekansına oranı tümyönlü bağıl bant genişliği (ORB: omnidirectional relative bandwidth) olarak adlandırılmaktadır. Işığın geliş ortamının kırılma indisi n_0 , birinci ve ikinci tabakaların kırılma indisleri ise sırasıyla n_1 ve n_2 ile gösterilmektedir. Şekil 4’de eğrilerin üzerinde ORB oranları yüzdesel olarak verilmektedir. Örnek olarak iki farklı fotonik kristal için kırılma indisi çiftleri grafikten seçilmiştir.

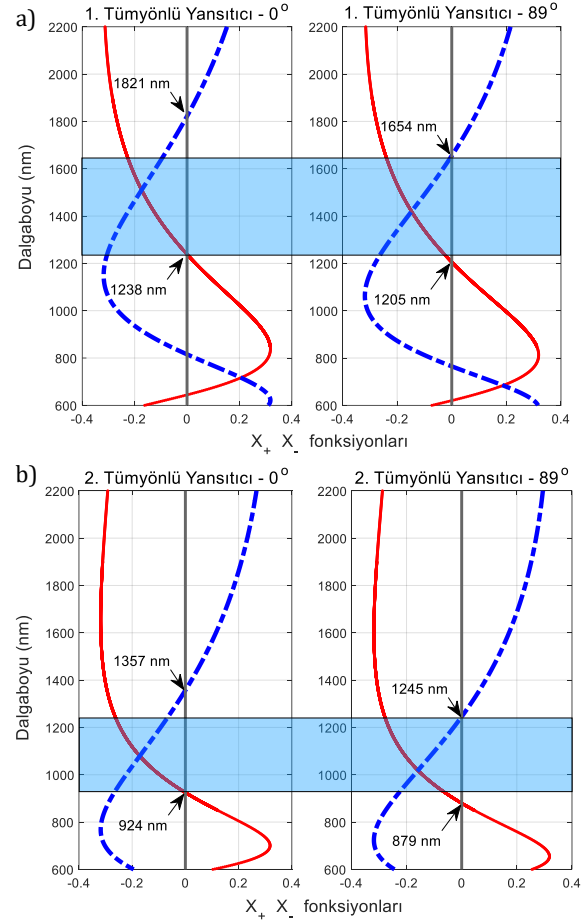
Şekil 4’de kesikli çizgiler ($n_1=4.6$ Tellurium, $n_2=2.1$ Ta₂O₅) birinci fotonik kristal (FK1) için seçilen kırılma indislerini, kesik-nokta çizgi ise ($n_1=4.6$ Tellurium, $n_2=2.45$ TiO₂) ikinci fotonik kristal (FK2) için seçilen kırılma indislerini göstermektedir. Her iki malzeme için de geliş ortamı hava ($n_0=1$) kabul edilmiştir. AFGSM yöntemi kullanılarak tümyönlü yansıtıcıların TM 0° ve TM 89° için bant kenarları dalgaboyu cinsinden verilmektedir (Şekil 5). Kesikli çizgiler X_+ fonksiyonunun, düz çizgiler ise X_- fonksiyonunun sıfır geçişlerini temsil etmektedir. AFGSM fonksiyonları ile elde edilen bant kenar değerleri ve tümyönlü bağıl bant genişliği (ORB) değerleri Tablo 1’de özet olarak verilmiştir. Birinci malzeme çifti (Tellurium ve Ta₂O₅) kullanılarak 416 nm’lik tümyönlü durdurma bandı; ikinci malzeme çifti (Tellurium ve TiO₂) kullanarak ise 321 nm’lik durdurma bandı elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla % 28.76 ve % 29.58’lik tümyönlü bağıl bant genişliği değerlerine karşılık gelmektedir.

Tablo 1. Seçilen fotonik kristal malzeme çiftleri kırılma indisi ve durdurma bant aralıkları

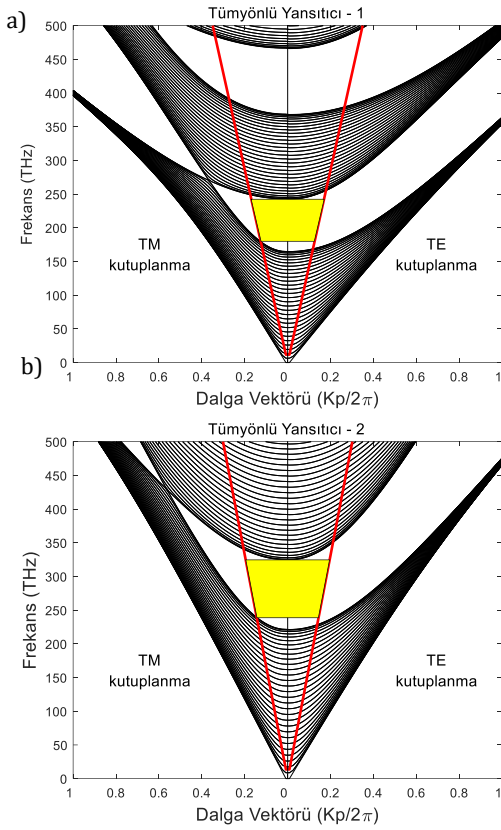
	p1 (nm)	p2 (nm)	TM 0° (nm)	TM 89° (nm)	OBG (nm)	ORB (%)
FK1	112.8	96.8	1238.2 - 1821	1205.2 - 1654.9	416	28.76
FK2	48.8	132	924.6 - 1357	879.6 - 1245.6	321	29.58

Tasarlanan tümyönlü yansıtıcıların durdurma bant aralıkları PWE yöntemi ile hesaplanarak frekans ekseninde çizdirilmiştir (Şekil 6). Şekilde bulunan kırmızı çizgiler ışık çizgisini, sarı boyalı alan ise tümyönlü yansıtıcılık bölgesini göstermektedir.

Ortakdaki eksen grafiği ikiye ayırarak sol taraf için TM kutuplanma sağ taraf için ise TE kutuplanma bant eğrilerini temsil etmektedir.

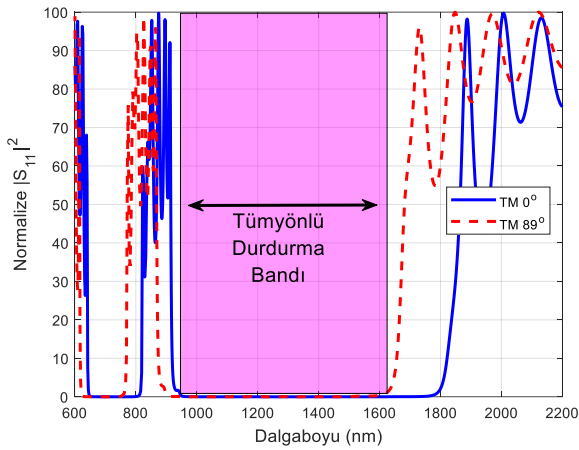


Şekil 5. AFGSM yöntemi kullanılarak birinci ve ikinci tümyönlü yansıtıcı için bant kenar frekanslarının kestirilmesi a) FK1 b) FK2



Şekil 6. PWE yöntem ile elde edilen tüm yönlü yansıtıcı bant eğrileri a) FK1 b) FK2

Birinci tümyönlü yansıtıcı için boyalı alanın üst sınırı 242.4 THz (1238 nm), alt sınırı ise 181.2 THz (1655 nm) band kenar değerlerini;



Şekil 7. FK1 ve FK2 yapılarının kuple edilmesi ile elde edilen geniş bantlı tümyönlü yansıtıcının durdurma bant bölgesi

ikinci tümyönlü yansıtıcı için boyalı alanın üst sınırı 324.6 THz (924 nm), alt sınırı ise 238.7 THz (1256 nm) band kenar değerlerini vererek AFGSM yöntemi ile PWE arasındaki doğruluğu oraya koymaktadır. Çalışmanın devamında FK1 ve FK2 yapıları birbirine kuple edilerek geniş bantlı tümyönlü yansıtıcı tasarlanmıştır. Elde edilen tümyönlü yansıtıcının durdurma bant genişliği böylece 737 nm'ye ORB değeri ise % 56.63'e yükselmiştir (Şekil 7).

5. Sonuç ve Tartışma

Yapılan çalışmada, iki farklı fotonik kristal yapı kuple edilerek geniş bantlı tümyönlü yansıtıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Nanometre boyutlarında tasarlanan bu bileşenlerin optik frekans spektrumunda filtre, mikrokavite, hareketli mikro aynaların kullanıldığı optiksel çapraz bağlayıcılar ve optik fiberler gibi çeşitli uygulama alanı bulunmaktadır. Özellikle telekomünikasyon haberleşme sistemlerinde elektronik - optik dönüşümü yapmaya gerek kalmadan sinyalin optik olarak taşınması ve anahtarlama işleminin entegre optik anahtarlama modülleri ile yapılabilmesi yüksek band genişliklerinde veri iletimini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada uygulanan yöntem ile fotonik kristallerin tümyönlü yansıtıcı uygulamalarında istenen frekans bandında amaca uygun olarak tasarlanabileceği gösterilmiştir.

Elde edilen tümyönlü yansıtıcının durdurma bant aralığı 924 nm – 1654 nm olup literatürde Kim'in (2002) çalışmasında yer alan sonuçlara (342.4 nm, 1286.8 nm ile 1629.1 nm arasında) göre %115 daha geniş band aralığı elde edilmiştir. Bilinen diğer yöntemlere kıyasla AFGSM bant kenarlarını hesaplamak için hızlı bir alternatif yaklaşım olduğundan tabaka kalınlıklarını yüksek hassasiyet ile tarayarak tasarım yapmak mümkündür. AFGSM yönteminin süre avantajını vurgulamak adına yapılan ön çalışmalarda 20 hücreli bir boyutlu fotonik kristalin PWE ile TE kutuplanmasında analizi 53.6 sn, TM kutuplanmasında analizi 111.7 sn de tamamlanırken AFGSM ile analizi 0.04 sn sürmüştür. Aynı problem için sonlu elemanlar metodu (FEM) yöntemi ile çalışan ticari yazılım CST'ye göre 103 kat daha hızlı sonuç vermiştir.

Tasarım aşamasında kullanılacak olan ters problem çözümü için yapılan ön incelemede yine FEM yöntemi kullanan ticari yazılım HFSS ile aynı fotonik kristalli problemin analizi sadece bir polarizasyon için yaklaşık 13 dk. sürerken AFGSM yöntemi ile bu analiz 0,05 sn. sürmüştür (ters problem için amaç fonksiyonunda istenen frekans aralığında, dielektrik tabakaların kırılma indisinin bilindiği, tabakalardan birinin kalınlığı bilinirken diğerinin bilinmediği ve 5 adımda belirli bir aralıkta süpürülerek hesaplama yapıldığı göz önüne alınmıştır). Fotonik kristalin üretim aşamasında yüksek hassasiyette olası tüm parametrelerdeki değişim aralıkları göz önüne alınması gerekmektedir. Bu durumda 0,01 hassasiyet ile her iki katman için uzunlukların süpürülmesi ($\times 10^4$), her iki kutupluluk tipinin incelenmesi ($\times 2$) ve geliş açısının 50 parçada taranması ($\times 50$) kat işlem yükü olup toplamda 10^6 işlem yükü oluşturacaktır. Bu durumda tasarım aşamasında 10^6 işlem yükü barındıran bir problem için tasarım süresi HFSS ile 1800 gün, önerilen özgün yöntem ile 0,6 gün sürecektir. Bu açıdan çalışmada kullanılan AFGSM yönteminin fotonik kristalli optik

bileşenlerin tasarım aşamasındaki yüksek hassasiyetli modellemelerde önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Banaei, H. A., & Rostami, A. (2008). A novel proposal for passive all-optical demultiplexer for DWDM systems using 2-D photonic crystals. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 22(4), 471-482.
- Erkan, O., Akıncı, M. N., & Şimşek, S. (2018). A fast hybrid method for the bandgap analysis of 2D photonic crystals based on EMT and AFGSM methods. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 87, 107-112.
- Joannopoulos, J. D., Johnson, S. G., Winn, J. N., & Meade, R. D. (2011). *Photonic crystals: molding the flow of light*. Princeton university press.
- Kim, S. H., & Hwangbo, C. K. (2002). Design of omnidirectional high reflectors with quarter-wave dielectric stacks for optical telecommunication bands. *Applied Optics*, 41(16), 3187-3192.
- Kuang, W., Kim, W. J., & O'Brien, J. D. (2007). Finite-difference time domain method for nonorthogonal unit-cell two-dimensional photonic crystals. *Journal of Lightwave Technology*, 25(9), 2612-2617.
- Liang, J., & Yang, H. D. (2009). Microstrip patch antennas on tunable electromagnetic band-gap substrates. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 57(6), 1612-1617.
- Notomi, M., Shinya, A., Mitsugi, S., Kira, G., Kuramochi, E., & Tanabe, T. (2005). Optical bistable switching action of Si high-Q photonic-crystal nanocavities. *Optics Express*, 13(7), 2678-2687.
- Pendry, J. B., & MacKinnon, A. (1992). Calculation of photon dispersion relations. *Physical Review Letters*, 69(19), 2772.
- Prather, D. W., Shi, S., Sharkawy, A., Murakowski, J., & Schneider, G. J. (2009). *Photonic crystals. Theory, Applications and Fabrication*.
- Qiu, M. (2001). Analysis of guided modes in photonic crystal fibers using the finite-difference time-domain method. *Microwave and Optical Technology Letters*, 30(5), 327-330.
- Sakoda, K., & Ochiai, T. (2001). Dispersion relation and optical transmittance of a hexagonal photonic crystal slab. *Physical review B*, 63(12), 125107.
- Sharma, A., Dwivedi, V. K., & Singh, G. (2008, July). THz rectangular patch microstrip antenna design using photonic crystal as substrate. In *Progress in Electromagnetic Research Symposium*, Cambridge, USA (pp. 161-165).
- Simsek, S., & Topuz, E. (2007). Some properties of generalized scattering matrix representations for metallic waveguides with periodic dielectric loading. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 55(11), 2336.
- Sözüer, H. S., Haus, J. W., & Inguva, R. (1992). Photonic bands: Convergence problems with the plane-wave method. *Physical Review B*, 45(24), 13962.
- Şimşek, S. (2013). A novel method for designing one dimensional photonic crystals with given bandgap characteristics. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 67(10), 827-832.
- Wosinski, L., Liu, L., Zhu, N., & Thylen, L. (2009). Technology challenges for monolithically integrated waveguide demultiplexers. *Chinese Optics Letters*, 7(4), 315-318.



BURSA-ACEMLER BÖLGESİ DES VE DP VERİLERİ İLE ISIL UÇLAŞMA MODELLEMESİ

Petek SINDIRGI*

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Doğal Potansiyel,
Sıcaklık,
Uçlaşma.*

Öz

Doğada, basınç, sıcaklık ve derişim farklılığı nedeniyle uçlaşma akımları meydana gelir. Doğal potansiyel (DP) yöntemi, yorumlama çalışmalarında geleneksel olarak kullanılagelen popüler jeofizik araç olup, bu yöntem uçlaşma akımlarının yarattığı doğal potansiyel farklarının ölçülmesine dayanır. Bu çalışmada, ısıl uçlaşma problemi kümelenmiş elemanlar ağı modeli ile çözülerek bir jeotermal alana uygulanmıştır. Bu yöntemin diğer geleneksel jeofizik yöntemlere kıyasla temel üstünlüğü, incelenen sistemin karmaşık doğası hakkında daha detaylı bilgi verebilmesidir. Bursa ili Çekirge Mahallesi'nin kuzeybatısında yer alan Acemler Mevkiinden toplanan düşey elektrik sondaj (DES) ve DP verileri öncelikle geleneksel yöntemlerle (ters çözüm) değerlendirilmiş, elde edilen parametreler kullanılarak alanın ısıl uçlaşma modeli kurulmuştur. Böylece jeotermal alan için en uygun termal ve jeofizik parametre değerleri, kaynak yerleri ve sayıları ile jeolojik birimlerin geometrik yapıları saptanmıştır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, ısıl uçlaşma yönteminin DP verilerinin yorumlanmasında güçlü bir araç oluşturduğunu ve jeotermal sistemlerin çeşitli özelliklerinin belirlenmesinde etkin şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

THERMAL COUPLING MODELLING WITH THE VES AND SP DATA OF BURSA-ACEMLER REGION

Keywords

*Self Potential,
Temperature,
Coupling.*

Abstract

In nature, due to differences in pressure, temperature and concentration, coupling flows occur. The self potential (SP) method is the popular geophysical instrument traditionally used in interpretation studies, which is based on the measurement of the natural potential differences created by the coupling flows. In this study, the thermal coupling problem was solved by a lumped elements network model and applied to a geothermal field. The basic advantage of this method over the other traditional geophysical methods that it can provide more detailed information about the complex nature of the system under consideration. The vertical electric sounding (VES) and SP data collected from the Acemler Location in west of the Çekirge District of Bursa province were firstly evaluated by traditional methods (inverse solution), and the thermal coupling model was established by using the obtained parameters. Thus, the most appropriate thermal and geophysical parameter values for geothermal fields, the location of the sources and their numbers and the geometrical structures of the geological formations were determined. The results obtained from this study showed that the thermal coupling method is a powerful tool in the interpretation of SP data and it can be used effectively to determine the various properties of geothermal systems.

Alıntı / Cite

Sındırgı, P., (2019). Bursa-Acemler Bölgesi DES ve DP Verileri ile Isıl Uçlaşma Modellemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 751-760.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

P. Sındırgı, 0000-0002-1328-9988

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.12.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: petek.sindirgi@deu.edu.tr, +90-232-301-7270

1. Giriş

Elektrokimyasal, elektrokinetik ve termoelektrik kaynakların ürettiği potansiyel farklılığının ölçümüne dayanan doğal potansiyel yönteminde doğal gerilim belirtileri genel olarak, yer kabuğundaki basınç, sıcaklık, iyon ve akışkan hareketlerinden türer. Yer altındaki akışkan akımı, konveksiyon akımlarında artışa neden olurken, bu akımların elektriksel yapı ile etkileşimi de elektrik potansiyelini artırır. Ayrıca, ortamların öz direnç farklılığı, sıcaklık, gözeneklilik gibi özellikleri de doğal gerilim belirtilerinin oluşumundaki ana etkilendir (Corwin ve Hoover, 1979).

Geleneksel doğal potansiyel modelleme yöntemleri, uçlaşmış küre (de Witte, 1948; Yungul, 1950) veya çubuk dipol (Meiser, 1962; Paul, 1965) gibi akım kaynakları esasına dayanır. Ancak bu yöntemler ana kaynağın doğasına yönelik çok az bilgi verebilmektedirler. Bu nedenle, özellikle sıvı akımı olan ve ısı özellik gösteren bölgeler için, kaynağın bu tür özelliklerini de içeren çözümler yapılmaya çalışılmıştır (Marshall ve Madden, 1959; Nourbehecht, 1963; Sill ve Johng, 1979). Bu çalışmalarda kaynak mekanizması ayrıntılı bir biçimde tartışılmış, sıcaklık ve basınç gibi birincil potansiyeller ile doğal potansiyel çözümlerini birleştiren teknikler geliştirmiştir. Bu yöntemde, genel uçlaşmış akım eşitliğinden (Onsager, 1931; Marshall ve Madden, 1959; Nourbehecht, 1963) yararlanarak, önce birincil potansiyel problemi çözülmüş, daha sonra bu potansiyeller uçlaşma katsayıları dağılımı ile birleştirilerek elektrik kaynak terimleri hesaplanmıştır. Sayısal yöntemler yardımıyla da elektrik potansiyel dağılımı hesaplanmıştır. Yöntem, baraj sızdırması (Wilt ve Butler, 1990) ve jeotermal alan modellemelerinde (Corwin, 1990; Schima vd., 1996; Drahor ve Berge, 2006) uygulanmıştır. Yasukawa (1993) ise bu yöntemi, Bodvarsson (1982)'un akışkan ve ısı akımı modellemesi yapan PT adlı programı ile birleştirerek yeni bir bilgisayar programı haline getirmiş ve çeşitli alanlara uygulamıştır (Yasukawa vd., 2003; Yasukawa vd., 2005). Konu ile ilgili deneysel çalışmalar da bulunmaktadır (Ishido vd., 1983; Sheffer, 2007; Giampaolo vd., 2016).

Yöntem, yukarıda açıklanan literatürde uçlaşmış akım kaynaklarına dayalı bir yöntem olarak tanımlanarak tam bir isim verilmemiştir. Türkçe literatürde ise konu ile ilgili tek bir çalışma vardır ve bu çalışmada Sındırgı (2005); jeotermal alanlar için birincil akım ısı olarak kabul edildiği için yöntemi *ısı uçlaşma yöntemi* olarak nitelemiştir.

Bu çalışmada, düşey elektrik sondaj (DES) verileri ve DP yönteminin yığınsal veri kümeleri geleneksel ters çözüm teknikleri ile değerlendirilerek elde edilen tabaka öz direnç ve kalınlıkları ile uçlaşma açısı gibi

parametrelerle, jeotermal ortamı karakterize edecek bazı ısı parametreleri birlikte dikkate alınarak jeolojik ortamın ısı uçlaşma modeli ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çalışma içeriğinde, ısı uçlaşma yönteminin kuramsal gelişimi ve iki örnek teorik model verildikten sonra, Bursa ilindeki bir jeotermal alandan toplanan DES ve DP verileri ile gerçek bir alan problemine uygulaması sunulacaktır.

Uygulanan Tam Schlumberger düşey elektrik sondaj (DES) yönteminde, görünür öz direnç değerleri (ρ_a) bir log-log grafiğindeki yarı akım elektrot aralığına ($AB / 2$) göre çizdirilir. İki ve üç tabakalı durumlar için, tabakaların öz direnç değişimlerine bağlı olarak eğriler, K, H, Q ve A tipi olarak sınıflandırılır (Başokur, 2004). Daha sonra, sondaj eğrileri, yeraltı katmanlarının gerçek dirençlerini ve kalınlıklarını belirlemek üzere çeşitli tekniklerle (abak çıkartma, ters çözüm gibi) yorumlanır.

Çalışmanın uygulama alanı olarak seçilen Bursa ilinde, jeoloji (Erişen ve Öngür, 1976), hidrojeoloji ve termal sulara ait jeokimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır (Özgüler ve Ünay, 1978; Haklıdır, 2013). Bu çalışmalarda bölgeye, alüvyon, mermer, kireçtaşı, kumtaşı ve traverten birimlerinin hâkim olduğu ve düşük basınç ve sıcaklığa sahip akiferlerin neojen kumtaşı, kireçtaşı, marn ve alüvyon birimleri içinde yer alabileceği saptanmıştır. Özgüler ve Ünay (1978), ısıtıcı kaynağın derin kaynaklı olduğunu, ayrıca kırık ve çatlakların akifer rolü oynadığını belirtmiştir. Son yıllarda ise, bölgenin sismik aktivitesinin (Gök ve Polat, 2012) ve yeraltı suyu kimyasının incelendiği (Haklıdır, 2013) çalışmalar mevcuttur.

2. Materyal ve Yöntem

Bir ortamda zorlayıcı bir kuvvet veya potansiyel farklılığına yol açan sıvı, ısı, elektrik ve kütle akımlarına genel olarak *uçlaşma nedeniyle oluşan akımlar* denir. Uçlaşma nedeniyle oluşan akımlar matris formunda,

$$\begin{pmatrix} \vec{J}_f \\ \vec{J}_h \\ \vec{J}_e \\ \vec{J}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} & L_{24} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & L_{34} \\ L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vec{\nabla}P \\ \vec{\nabla}T \\ \vec{\nabla}V \\ \vec{\nabla}C \end{pmatrix} \quad (1)$$

yazılabilir. Burada, \vec{J}_f ; $\vec{\nabla}P$ basınç gradyentine bağlı akışkan akımı, \vec{J}_h ; $\vec{\nabla}T$ sıcaklık gradyentine bağlı ısı akımı, \vec{J}_e ; $\vec{\nabla}V$ elektrik potansiyeli gradyentine bağlı elektrik akımı ve \vec{J}_m ise $\vec{\nabla}C$ derişim gradyentine bağlı oluşan iyonik akımı göstermektedir. Genel olarak,

kararlı hal için akım eşitliği (Onsager,1931; Marshall ve Madden, 1959; Nourbehecht, 1963; Sill, 1983);

$$\vec{J}_i = \sum_j L_{ij} \vec{X}_j \quad (2)$$

olarak verilir. Bazı diğer birincil akımlardan oluşan ikincil akımların birincil akımların üzerine etkisi küçüktür. Bu durumda birincil ve ikincil akımlar genel olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$\vec{J}_1 = L_{11} - \vec{\nabla} \zeta \quad (3)$$

$$\vec{J}_{Top} = \vec{J}_2 = -L_{21} \vec{\nabla} \zeta - \sigma \vec{\nabla} V \quad (4)$$

Burada, \vec{J}_1 ; birincil akımı (ısı, çözelti, elektrik vb.), L_{11} ; iletkenliği (termal iletkenlik, geçirgenlik vb.), ζ ; birincil potansiyeli (sıcaklık, basınç vb.), \vec{J}_{Top} ; toplam elektrik akımını, \vec{J}_2 ; ikincil akımı, L_{21} ; uçlaşma iletkenliği, σ ; elektriksel iletkenliği ve V ise elektrik potansiyelini göstermektedir. Eşitlik 4'ün sağ tarafının ilk kısmı, birincil akım nedeniyle oluşan dolaşım (konveksiyon) akımı, ikinci kısmı ise elektrik potansiyeli gradyenti nedeniyle oluşan iletim (kondüksiyon) akımıdır. Bu durumda Eşitlik 4;

$$\vec{J}_{Top} = \vec{J}_{konv} + \vec{J}_{kond} \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Doğal potansiyel ölçümlerinde dış akım kaynağı bulunmadığı için doğru akım koşulları geçerlidir ve toplam akım diverjansı sıfırdır ($\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_{Top} = 0$). Bu durumda;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_{kond} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_{konv} = \vec{\nabla} (L_{21} \vec{\nabla} \zeta) \quad (6)$$

ve

$$\vec{\nabla} \cdot (L_{21} \vec{\nabla} \zeta) = \vec{\nabla} L_{21} \cdot \vec{\nabla} \zeta + L_{21} \vec{\nabla}^2 \zeta = -\vec{\nabla} \cdot (\sigma \vec{\nabla} V) \quad (7)$$

olur. Burada Eşitlik 7'nin sol tarafı sıcaklık ya da basınç nedeniyle olan değişimi ifade eder. Sağ tarafı ise bilinen doğru akım iletim denklemdir. Bu eşitliklerden yararlanarak, ısı akısı, geçirgenlik veya ısıl iletkenlik katsayıları, ısıl elektrik potansiyeli katsayıları ve elektriksel özdirenç dağılımı bilinen ortamların iki boyutlu sıcaklık veya basınç dağılımları; ayrıca doğal potansiyelleri elde edilebilir.

"S" kaynağı sembolize etmek üzere, birincil akım ile kaynağın ilişkisi;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_1 = S \quad (8)$$

şeklinde verilir (Madden,1971). Verilen eşitlikler sayısal olarak çözülürken, Eşitlik 3'teki L_{11} iletkenliğinin y -yönünden bağımsız olduğu, ortamın y -yönünde, $[-\infty, \infty]$ aralığında, tekdüze ve izotrop olduğu varsayılır. \vec{J}_1 birincil akımı ve bunu doğuran ζ

birincil potansiyelleri ise üç boyutludur ve y -yönünde tekdüze, izotrop bir ortamda çift fonksiyon özelliği gösterirler. y -yönündeki etkileri sabit hale getirmek amacıyla, Eşitlik 3 ve Eşitlik 8'in y -yönündeki Fourier kosinüs dönüşümleri alınarak dalgasayısı (λ) ortamında çözüm yapılır. Buna göre, Eşitlik 3'ün y -yönünde Fourier kosinüs dönüşümü alınarak;

$$J_x(x, \lambda, z) = -L_{11} \frac{\partial \zeta(x, \lambda, z)}{\partial x} \quad (9)$$

$$J_z(x, \lambda, z) = -L_{11} \frac{\partial \zeta(x, \lambda, z)}{\partial z} \quad (10)$$

ve

$$S(x, \lambda, z) = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_z}{\partial z} + \lambda^2 L_{11} \zeta \quad (11)$$

elde edilir. Bu eşitlikler yer altı modelinin her bir noktası için kümelenmiş elemanlar ağı (Lumped-element rectangular network) oluşturularak çözülebilir (Sill, 1983; Yasukawa, 2003; Oliveti ve Cardarelli, 2017.) Bunun için;

$$Y_x = L_{11} \Delta x / \Delta x \quad (12)$$

$$Y_z = L_{11} \Delta x / \Delta z \quad (13)$$

$$Y = \lambda^2 \Delta x \Delta z \quad (14)$$

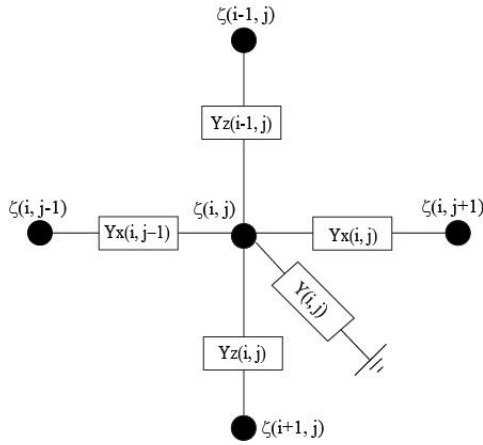
tanımlamaları kullanılarak (n, m) boyutlu bir ağda herhangi bir (i, j) noktası için fark eşitliği; $i=1, 2, 3, \dots, n$ iken,

$$\begin{aligned} S(i, j) \Delta x \Delta z = & Y_x (i, j-1) [\zeta(i, j-1) - \zeta(i, j)] \\ & + Y_x (i, j) [\zeta(i, j+1) - \zeta(i, j)] + Y_z (i-1, j) \\ & [\zeta(i-1, j) - \zeta(i, j)] + Y_z (i, j) [\zeta(i+1, j) \\ & - \zeta(i, j)] + Y(i, j) \zeta(i, j) \end{aligned} \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir (Şekil 1) (Sill, 1983). Eşitlik 15 genel olarak tüm ağ için matris formunda;

$$\vec{C} \zeta = \vec{S} \quad (16)$$

olarak gösterilir. Matris çözümünden elde edilen $\zeta(\lambda)$ dalgasayısı değerleri, üç boyutlu uzay ortamına, y -yönünde Ters Fourier Dönüşümü alınarak geçirilir. Artık potansiyel değerleri (sıcaklık veya basınç) hesaplandığından, Eşitlik 7'de yerine yazılabilir. Bu denklemden elektriksel kaynak terimleri her nokta için hesaplanır. Aynı eşitliğin sağ tarafındaki ($\sigma=1/\rho$) terimi bilindiğinden, elektrik potansiyeller de bulunabilir.



Şekil 1. Kaynak fonksiyonunun sayısal çözümü için oluşturulan kümelmiş elemanlar ağı (Sill, 1983)

Jeotermal alanlardaki doğal gerilim belirtilerinin sıcaklık ya da basınca bağlı olarak oluştuğu bilinmektedir. Doğal gerilime neden olan birincil potansiyelin sıcaklık (T), bundan doğan birincil akımın ısı akımı (\vec{J}_h), ikincil akımın ise elektrik akımı (\vec{J}_e) olduğu düşünüldüğünde, uçlaşma bağıntıları,

$$\vec{J}_h = -K \cdot \vec{\nabla} T \quad (17)$$

$$\vec{J}_e = -C \vec{\nabla} T - \sigma \vec{\nabla} V \quad (18)$$

şeklini alır (Sill ve Johng, 1979). Burada; K; ortamın ısı iletkenliği, C; ısı elektrik potansiyel katsayısı olup, uçlaşma iletkenliğinin elektrik iletkenliğe oranıdır ($C = L_{21}/\sigma$). Çeşitli kayaç birimleri için ısı iletkenlik ve ısı elektrik potansiyel katsayıları değişim aralıkları Tablo 1 'de verilmiştir.

Eşitlik 17, Fourier ısı iletim bağıntısıdır ve sıcaklık dağılımı bu eşitlikten elde edilebilir. Sıcaklık değerleri ile birlikte ısı elektrik potansiyel katsayıları bir arada kullanılarak elektrik kaynak terimleri de bulunur. Elektrik kaynak terimleri bilindiğinde ise, sayısal yöntemlerle (sonlu farklar vb.) elektrik potansiyel hesaplanır. Özdirenç, ısı iletkenlik ve ısı elektrik potansiyel katsayıları gibi ortam parametreleri, oluşan elektrik potansiyeli etkilemektedir. Özellikle kaynağın gücü, ısı iletkenlik ve ısı elektrik potansiyel katsayıları doğal potansiyel belirtilerinin genlik ve biçimlerini önemli derecede etkilemektedir. Literatürde, değişik ortam parametreleri için pek çok kuramsal model üretilmiştir (Sill, 1983; Sındırgı, 2005). Bu çalışmada ise, tekdüze homojen ortam ve dayk modelleri için çeşitli örnek modeller oluşturulmuştur. Arazi uygulamasında ise, Bursa ili Çekirge mahallesi kuzeybatısındaki Acemler mevkiinde toplanmış DES ve DP verileri kullanılarak sıcaklık uçlaşması modeli oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çeşitli Jeolojik Yapılar için Fiziksel Parametrelerin Değer Aralıkları (Wilt,&Butler, 1990)

KAYAÇ TİPİ		Özdirenç (ohm.m)	Isıl İletkenlik (W/m°C)	Isıl Elektrik Potansiyel Kats. (mV/°C)
TORTUL	Kumtaşı	5 - 100	0.1 - 1.5	0.04 - 0.1
	Şeyl	2 - 50	0.2 - 2	0.05 - 0.5
	Kireçtaşı	20 - 500	0.15 - 1.5	0.05 - 0.5
VOLKANİK VE BAŞKALAŞIM	Granitik	50 - 1000	0.5 - 10	0.1 - 2
	Volkanik	20 - 500	1 - 15	0.1 - 2
	Başkalaş.	50 - 1000	0.5 - 10	0.1 - 2
	Kırıklı	10 - 100	0.05 - 0.5	0.1 - 2

2.1. Kuramsal Modeller

Tekdüze homojen ortam ve dayk modelleri için oluşturulan kuramsal modellerde bazı parametreler sabit tutulurken diğer parametreler değiştirilmiş ve bu değişiminin DP anomalilerine etkileri incelenmiştir (Tablo 2).

2.1.1. Tekdüze homojen ortam modeli

Tekdüze homojen ortam modelinde üç değişik durum incelenmiştir. Her üç durumda da noktasal sıcaklık kaynağı modelin tam ortasında yer almaktadır. Durumlardan ilkinde, sabit özdirenç ($\rho=200 \Omega m$), ısı elektrik potansiyel katsayısı ($C=0.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$) ve ısı iletkenliğe ($K=15 \text{ W}/m^\circ\text{C}$) sahip tekdüze, homojen ortam için değişken kaynak güçleri incelenmiştir. 0.01MW ve 0.04 MW güçlerindeki kaynaklar için hesaplanan doğal gerilim değişimleri, ilgili model ve parametreleri Şekil 2.a'da verilmiştir.

İkinci durumda, gücü 0.1 MW, özdirenç 200 Ωm ve ısı elektrik potansiyel katsayısı $C=0.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ olan ortamın, ısı iletkenliği 1, 5 ve 6 $\text{W}/m^\circ\text{C}$ olarak değiştirilmiştir. Bu duruma ait model, parametreleri ve ısı iletkenliklerin değişimine bağlı olarak hesaplanan doğal gerilim grafikleri Şekil 2.b'de verilmiştir.

Tablo 2. Kuramsal modellerde kullanılan parametre değerleri

Model	Sabit Parametreler	Değişken Parametreler
Tekdüze Hom. Ortam	I.DURUM: $\rho=200 \Omega m$ $C=0.1 mV/^{\circ}C$ $K=15 W/m^{\circ}C$	Kaynak gücü ($S=0.01MW$ ve $0.04 MW$)
	II.DURUM: $S=0.1 MW$ $\rho=200 \Omega m$ $C=0.1 mV/^{\circ}C$	Isıl iletkenlik (1, 5 ve $6 W/m^{\circ}C$)
	III.DURUM: $S=0.1 MW$ $\rho=200 \Omega m$ $K=15 W/m^{\circ}C$	Isıl el. pot. kats. (0.1, 2 ve $5 mV/^{\circ}C$)
Dayk	I.DURUM: Her üç bölgede, $K=8 W/m^{\circ}C$ ve $C=1 mV/^{\circ}C$ aynı	$\rho_1=\rho_3>\rho_2$ $\rho_1=\rho_3<\rho_2$
	II.DURUM: Her üç bölgede, $\rho=1 \Omega m$ ve $C=1 mV/^{\circ}C$ aynı	$K_1=K_3=8 W/m^{\circ}C$, $K_2=0.5 W/m^{\circ}C$ $K_1=K_3=0.5 W/m^{\circ}C$, $K_2=8 W/m^{\circ}C$
	III.DURUM: Her üç bölgede, $\rho=1 \Omega m$ ve $K=8 W/m^{\circ}C$ aynı	$C_1=C_3=0.1 mV/^{\circ}C$, $C_2=1 mV/^{\circ}C$ $C_1=C_3=1 mV/^{\circ}C$, $C_2=0.1 mV/^{\circ}C$ $C_1=0.1 mV/^{\circ}C$, $C_2=1 mV/^{\circ}C$, $C_3=2 mV/^{\circ}C$

Tekdüze homojen ortam modeli için oluşturulan son durumda, kaynak gücü ve özdirenci ikinci durumla aynı olan modelin ısıl iletkenliği $15 W/m^{\circ}C$ olarak seçilmiştir. Isıl elektrik potansiyel katsayısı ise 0.1, 2 ve $5 mV/^{\circ}C$ olarak değiştirilmiştir. Oluşturulan model,

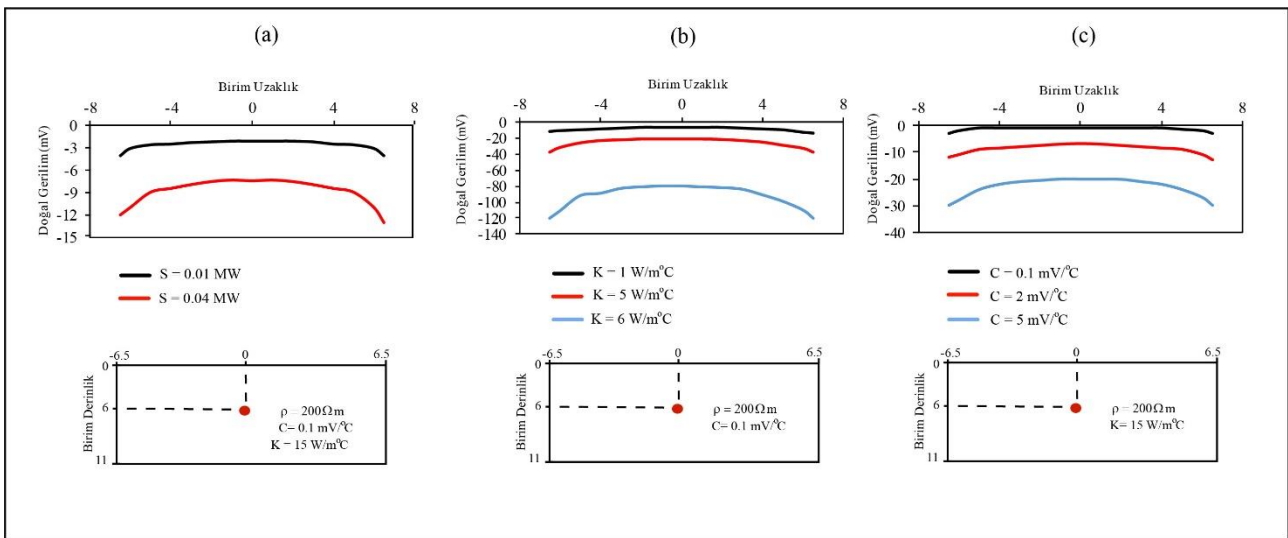
parametreleri ve ısıl elektrik potansiyel katsayısının değişimine bağlı olarak hesaplanan doğal gerilim grafikleri Şekil 2.c'de verilmiştir.

2.1.2. Dayk modeli

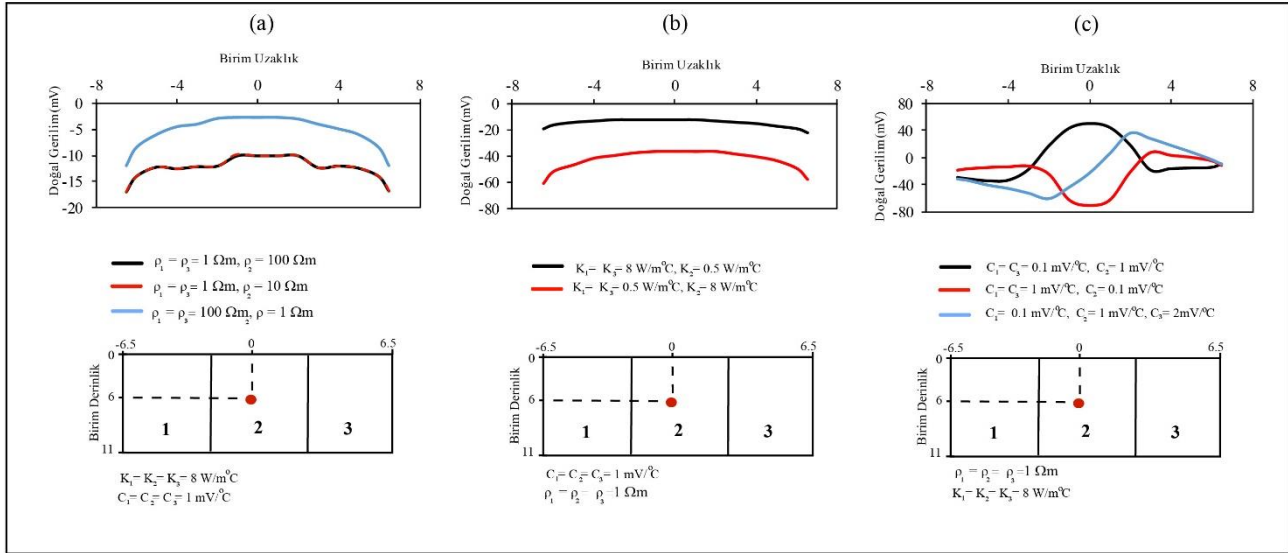
Dayk modeli üç kısımdan oluşmuştur. Modelin solu 1, ortası 2 ve sağ 3 numaralı ortam olarak adlandırılmıştır. Gücü $0.4 MW$ olan noktasal sıcaklık kaynağı, modelin tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu modelde de üç farklı durum incelenmiştir. İlk durumda, her üç bölgenin ısıl iletkenliği ($K=8 W/m^{\circ}C$) ve ısıl elektrik potansiyel katsayısı ($C=1 mV/^{\circ}C$) aynıdır. Özdirençleri ise, 1 ve 3. Bölgelerin aynı olacak şekilde 2. Bölgeden daha büyük ve küçük olması durumları incelenmiştir. Bu duruma ait model, parametreleri ve bunlara bağlı olarak hesaplanan doğal gerilim anomalisi Şekil 3.a'da verilmiştir.

İkinci durumda, daykı temsil eden 2 numaralı bölgenin ısıl iletkenliği değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmuştur. Tüm ortamların özdirenci $1 \Omega m$, ısıl elektrik potansiyel katsayısı $1 mV/^{\circ}C$ 'dir. İkinci duruma ait model, parametreleri ve bunlara bağlı olarak hesaplanan doğal gerilim anomalisi Şekil 3.b'de verilmiştir.

Dayk modeli için son durumda ise, bu kez daykı temsil eden 2 numaralı bölgenin ısıl elektrik potansiyel katsayısı değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmuştur. Tüm ortamların özdirenci $1 \Omega m$, ısıl iletkenliği $8 W/m^{\circ}C$ 'dir. Isıl elektrik potansiyel katsayısının her üç ortam için farklı olması hali de oluşturulmuştur. Üçüncü duruma ait model, parametreleri ve bunlara bağlı olarak hesaplanan doğal gerilim grafiği Şekil 3.c'de verilmiştir.



Şekil 2. Tekdüze homojen ortam modeli. (a) ısıl elektrik potansiyel katsayısı değişiminin DP'ye etkisi, (b) ısıl iletkenliğin değişiminin DP'ye etkisi, (c) kaynak güçlerinin değişiminin DP'ye etkisi



Şekil 3. Dayk modeli. (a)Özdirenç değişiminin DP'ye etkisi, (b)ısı iletkenliğin değişiminin DP'ye etkisi,(c) ısı iletkenliği ve elektrik potansiyel katsayısı değişiminin DP'ye etkisi

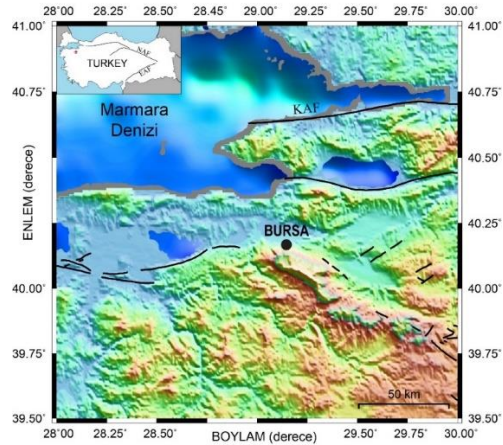
3. Arazi Uygulamaları

3.1. Bursa ilinin jeolojisi ve hidrojeolojisi

Bursa ovasını Uludağ masifinin çekirdeğini oluşturan granitler ve bunu kuşatan Uludağ metamorfik şistleri ve mermerleri, Karakaya formasyonu, Kalabakkaya formasyonu, neojen birimler, kuvaterner travertenler ve alüvyonlar oluşturur (Şekil 5). Bölgede genelde eğim atımlı normal faylar bulunmaktadır. Güneydođudaki Demirkapı mahallesinden Kaynarca sıcak su kaynaklarına kadar uzanan bu faylar, birbirlerine paralel ve diyagonal kesecek şekilde uzanırlar. Güneyde Çekirge bölgesinde ve İnkaya Köyü civarında da bu tip faylar yer almaktadır. Bölgede ayrıca, Uludağ metamorfikleri Karakaya formasyonuna bindirme yapmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976). Bölgedeki sıcak su kaynakları iki gruba ayrılabilir. Bunlardan Çekirge grubu sıcak su kaynakları, ortalama sıcaklıkları 28-50 °C arasında olan on adet kaynaktan oluşur. Kaynarca grubu sıcak su kaynakları ise sıcaklıkları ortalama 35-82 °C arasında olan sekiz adet sıcak su kaynağından oluşur (Erişen vd., 1996).

3.2. Bölgede Yapılan Özdirenç (DES) ve Doğal Potansiyel (DP) Uygulamaları

Doğal potansiyel (DP) ve düşey elektrik sondaj (DES) yöntemleri Bursa ili, Çekirge Mahallesinin yaklaşık 1km kuzeybatısında yer alan bir bölgede yapılmıştır. (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Çalışma alanının yer bulduru haritası

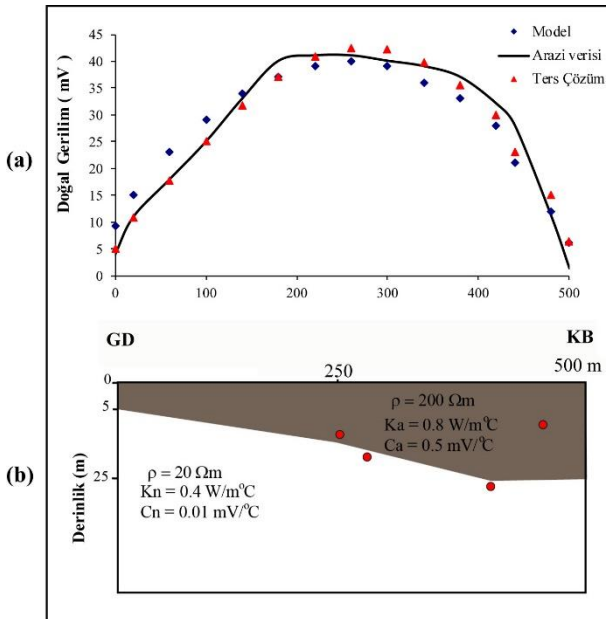
Bölgede, açılım uzaklığı 240 m. araştırma derinliği yaklaşık 60 m. olan, 40 m. aralıklı A1, A2, A3, A4 ve B1, B2, B3, B4 noktalarında Tam Schlumberger düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri yapılmıştır. Bu noktalardan oluşan A ve B profillerinin arasındaki uzaklık 80 metredir. Toplanan verilerinin, IPI2WIN v.2.1 (Bobachev vd., 2002) programı ile ters çözümleri yapılarak, DES noktaları altındaki elektrik tabakalanma modelini açıklayan ve her tabakaya ait olan derinlik ve gerçek özdirenç parametreleri hesaplanmıştır. Ters çözümleri yapılmış DES noktalarına ait eğriler Şekil 6-7(a)'da, bu noktaların hesaplanmış özdirenç ve derinlikleri Tablo 3'te, oluşturulan görünür özdirenç kesitleri Şekil 6-7(b)'de, gerçek özdirenç kesitleri Şekil 6-7(c)'de, jeolojik yapı kesitleri ise Şekil 6-7(d)'de verilmiştir.

Tablo 3. A ve B profillerindeki DES noktalarının ters çözüm sonucu ulaşılan parametreleri

Nokta No	Özdirenç ($\rho, \Omega m$)	Tabaka kalınlığı (h, m)
A1	21	5
	201	10
	13	
A2	21	5
	397	5.5
	11	
A3	29	6.6
	146	16
	13	
A4	20	4
	184	17
	12	
B1	22	6
	407	6
	21	
B2	20	5
	402	5.5
	22	
B3	16	2.5
	157	9
	12	
B4	22	5
	167	17
	16	

3.3 Isıl Uçlaşma Yöntemi Uygulamaları

Elde edilen özdirenç ve doğal gerilim bilgileri birleştirilerek, Eşitlik 17 ve 18 ile verilen uçlaşmadan dolayı oluşan akımlar denklemlerinin düz çözümlerinden olası model ve parametrelerine ulaşmak amaçlanmıştır.



Şekil 8. (a) Bursa- Acemler bölgesinde C profilinde ölçülen, ters çözüm ve ısıl modele göre hesaplanan DP anomalileri, (b) ısıl uçlaşma yöntemiyle oluşturulan model

Yöntem yeraltına uygulanırken, jeolojik yapı ile doğal potansiyel dağılımının hesaplanması için kullanılan ortam parametreleri (ortamın özdirenç, ısıl iletkenliği, ısıl elektrik potansiyeli katsayıları) uyumlu olmalıdır. Bu nedenle oluşturulacak model için DES yönteminden elde edilen derinlik ve özdirenç bilgileri kullanılmıştır. Özdirenç değerleri, alüvyon için 200 Ω m, neojen birimler için ise 20 Ω m. olarak seçilmiştir. Bölgede ısıl iletkenlik ölçümü verileri bulunmadığından Tablo 1'deki uygun kayaç tipine göre ısıl iletkenlik değeri ataması yapılmıştır. Ayrıca, modeldeki alüvyon ve neojen birimler arasındaki sınırın geometrisi, özdirenç yönteminden elde edilen kesitler ve DP yönteminin ters çözümünden elde edilen polarlanma açısı (20°) göz önünde tutularak belirlenmiştir. Özdirenç değerleri dışındaki model parametreleri, ortamdaki birimlere göre değiştirilerek en uygun model eğrisi elde edilene kadar sürdürülmüştür. Buna göre, neojen birimlerin ısıl iletkenliği (K_n) 0.4 W/ m $^{\circ}$ C, ısıl elektrik potansiyel katsayısı (C_n) 0.01 mV/ $^{\circ}$ C ve alüvyonun ısıl iletkenliği (K_a) 0.8 W/ m $^{\circ}$ C, ısıl elektrik potansiyel katsayısı (C_a) ise 0.5 mV/ $^{\circ}$ C olarak seçilmiştir. Alüvyon ve onun altındaki neojen birimler arasındaki sınırlara yakın olarak dört adet termal kaynak modele yerleştirilmiştir (Şekil 8(b)). Modeldeki kaynakların güçleri 0.5 MW olarak alınmıştır. Ölçülen, ters çözümü yapılan ve bu modele göre hesaplanan doğal potansiyel değerleri Şekil 8(a)'da gösterilmiştir. Eğriler arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu söylenebilir (Isıl uçlaşma modeli ve ters çözüm için Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) sırasıyla; 3.77mV ve 2.42 mV'dur).

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, jeotermal bir alana ait ısıl ve jeofizik parametrelerinin birlikte kullanılmasıyla sistemin modellenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, kuramsal modeller üretilmiş ve gerçek bir alana yöntem uygulanmıştır.

Tekdüze, homojen ortam ve dayk kuramsal modelleri oluşturulurken, noktasal sıcaklık kaynaklarının yarattığı doğal gerilim belirtileri üzerinde ortamların özdirenç, ısıl iletkenlik, ısıl elektrik potansiyel katsayıları ve kaynak gücünün değişiminin etkileri incelenmiştir. Tekdüze, homojen ortamda ısıl iletkenliğin, ısıl elektrik potansiyel katsayılarının ve kaynak gücünün değişiminin doğal gerilim belirtilerinin şeklini az, genliğini ise önemli oranda etkilediği görülmüştür.

Dayk modelinde ise, daykın çevresiyle olan özdirenç ve ısıl iletkenlik farklılığının, belirtinin genliğini değiştirdiği görülmüştür. Hatta özdirenç değişiminin anomalide bir miktar şekil değişikliğine de yol açtığı söylenebilir. Dayk ve çevresinin ısıl elektrik potansiyel katsayıları birbirinden farklı olduğu durumda, belirtilerin şekilleri birbirinden oldukça

farklıdır. Doğal potansiyel belirtilerini en çok ısı elektrik potansiyel katsayılarının etkilediği görülmüştür.

Alan çalışmasının yapıldığı Bursa Acemler bölgesinde doğal gerilim ve düşey elektrik sondaj yöntemleri uygulanmıştır. Isıl uçuşma yöntemini uygulamak amacıyla, ölçülen öz dirençlere ve bölgenin jeolojisine uygun bir model oluşturulmuştur. Model oluşturulurken, DP ve DES yöntemleri ile saptanan parametreler kullanılmıştır. Model parametreleri ve kaynak yerleri değiştirilerek ölçülen doğal potansiyel belirtilerine en uygun model eğrisi üretilmiştir. Buna göre, yüzeydeki alüvyon birimin; öz direncinin 200 Ωm ., ısı elektrik potansiyel katsayısının 0.5 mV/ $^{\circ}\text{C}$, ısı iletkenliğinin 0.8 W/ m $^{\circ}\text{C}$ ve altındaki neojen birimin, öz direncinin 20 Ωm ., ısı elektrik potansiyel katsayısının 0.01 mV/ $^{\circ}\text{C}$, ısı iletkenliğinin 0.4 W/ m $^{\circ}\text{C}$ olabileceği belirlenmiştir. Elde edilen DES modellerinde kuzeybatıya doğru alüvyon kalınlığının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bu yönde Çekirge termal alanından da uzaklaşmaktadır. Isıl uçuşma modelinin geometrisine bu durum yansıtılmıştır. Modeldeki her iki birimin ısı iletkenliklerinin çok büyük olmaması ve sıcaklık kaynağı sayısının az olması bu durumu açıklamaktadır.

Isıl uçuşma yönteminde, ısı iletkenliğinin ölçülerek modellemede kullanılması uygundur. Ancak, çalışma alanına ait ölçülmüş ısı iletkenlik verilerinin bulunmaması nedeniyle, bu parametreler deneme yanılma yöntemi ile modeldeki birimlere atanmıştır. Bu işlem yapılırken rasgele değil, Wilt ve Butler(1990)'ın belirlediği birimlere ait parametre aralıklarına uygun değerler verilmiştir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, ısı uçuşma yönteminin, yukarıda bahsedilen bazı kabullerin yapılması şartıyla, DES ve DP verilerinin birlikte yorumlanmasında güçlü bir araç oluşturduğunu ve jeotermal sistemlerin çeşitli özelliklerinin belirlenmesinde etkin şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, "Sıcak Alanlarda Jeofizik Modellemeler ve Uygulamaları, (2005)" adlı doktora tezinden üretilmiştir. Ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından 02.KB.FEN.013 nolu bilimsel araştırmaya projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazar Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü'ne teşekkür eder.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar

- Başokur, A. T., 2004. Düşey Elektrik Sondaj Verilerinin Yorumu. Ankara: A. Ü. , Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü.
- Bobachev, A.A., Modin, I.N., Shevnin, V.A., 2002. IPI2WIN v2.1, Moscow State University, Geological Faculty, Department of Geophysics (yayınlanmamıştır).
- Bodvarsson, G.S., 1982. Mathematical Modeling of the Behavior of Geothermal Systems under Exploitation, D o k t o r a Tezi. California Berkeley Üniversitesi, USA.
- Corwin, R.F., 1990. The Self-Potential Method for Environmental and Engineering Applications. S.H. Ward (Edt.), Geotechnical and Environmental Geophysics içinde, (s. 127-145), Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- Corwin, R.F., Hoover, D.B.,1979. The Self-potential Method in geothermal exploration. Geophysics, 44, 226-245.
- de Witte, L., 1948. A New Method of Interpretation of Self-Potential Data. Geophysics, 13, 600-608.
- Drahor M.G., Berge M.A., 2006. Geophysical Investigations of the Seferihisar Geothermal Area, Western Anatolia, Turkey. Geothermics, 35, 302-320.
- Erişen B., Öngür T., 1976. Bursa City Thermal Water Study. Report No: 5659. Mineral Research and Exploration Institute (MTA), Ankara, Turkey.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., Koçak, A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Giampaolo V., Calabrese, D., Rizzo, E., 2016. Transport Processes in Porous Media by Self-Potential Method. Applied and Environmental Soil Science, 2016, 1-12.
- Gök, E., Polat, O., 2012. An Assessment of the Seismicity of the Bursa Region from a Temporary Seismic Network. PAGEOPH, 169, 659-675.
- Haklıdır, F.S.T., 2013. Hydro-geochemical Evaluation of Thermal, Mineral and Cold Waters between Bursa City and Mount Uludağ in the South Marmara Region of Turkey. Geothermics, 48, 132-145.
- Ishido, T., Mizutani, H., Baba, K., 1983. Streaming Potential Observations, Using Geothermal Wells and In Situ Electrokinetic Coupling Coefficients under High Temperature. Tectonophysics, 91, 89-104.

- Madden, T.R., 1971. The Resolving Power of Geoelectric Measurements for Delineating Resistive Zones with the Crust. T.G. Haecock (Edt.), The Structure and Physical Properties of the Earth's Crust. AGU Monograph Series-14 içinde (s.95). Washington DC: American Geophysical Union.
- Marshall, D.J., Madden, T.R., 1959. Induced Polarization, a Study of Its Causes. *Geophysics*, 24, 790.
- Meiser, P., 1962. A Method for Quantitative Interpretation of Self-Potential Measurements. *Geophys. Prospect.*, 10, 203-218.
- Nourbehecht, B., 1963. Irreversible Thermodynamics Effects in Inhomogenous Media and their Application in Certain Geoelectric Problems. Doktora Tezi. M.I.T., USA.
- Oliveti, I., Cardarelli E., 2017. 2D Approach for Modelling Self-Potential Anomalies: Application to Synthetic and Real Data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 58, 415-430.
- Onsager, L., 1931. Reciprocal Relations in Irreversible Processes I. *Physical Review*, 37, 405-426.
- Özgüler, M.E., Ünay, T., 1978. Bursa Ovası Jeotermal Enerji Aramaları Rezistivite Etüd Raporu, MTA Rapor No:6255, Ankara, Türkiye.
- Paul, K., 1965. Direct interpretation of self potential anomalies caused by inclined sheet of infinite horizontal extension. *Geophysics*, 30, 418-423.
- Ram Babu, H.V., Atchuta Rao, D., 1988. A Rapid Graphical Method for the Interpretation of the Self-Potential Anomaly over a Two-Dimensional Inclined Sheet of Finite Depth Extent. *Geophysics*, 53, 1126-1128.
- Sheffer R. M., 2007. Forward Modelling and Inversion of Streaming Potential for the Interpretation of Hydraulic Conditions from Self-Potential Data. Doctorate thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Sındırgı P., 2005. Sıcak Alanlarda Jeofizik Modellemeler ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
- Sill, W.R., Johng, D.S., 1979. Self Potential Survey, Roosevelt Hot Spring, UTAH. DOE/DGE topical report. University of Utah.
- Sill, W.R., 1983. Self-Potential Modeling from Primary Flows. *Geophysics*, 48, 76-86.
- Schima, S., Wilt, M., Ross, H.U.S., 1996. Modeling Self-potential Data in the Abraham and Meadow-Hatton Geothermal Systems. Department of Energy, research summaries.
- Wilt, M., Butler, D., 1990. Numerical Modeling of SP anomalies: Documentation of Program SPPC and Application in Geotechnical Applications of the Self-potential Method. Technical Report No:4. Department of the Army Waterworks Experiments Station, Corps of Engineers, Mississippi, USA.
- Yasukawa, K., 1993. A Coupled Self Potential (SP), Fluid and Heat Flow Model for Subsurface Fluid Flow Systems. Yüksek Lisans Tezi. California Üniversitesi, USA.
- Yasukawa, K., Mogi, T., Widarto, D., Ehara, S., 2003. Numerical Modeling of a Hydrothermal System Around Waita Volcano, Kyushu, Japan, Based on Resistivity and Self-Potential Survey Results, *Geothermics*, 32(1), 21-46.
- Yasukawa, K., Ishido, T., Suzuki, I., 2005. Geothermal Reservoir Monitoring by Continuous Self-Potential Measurements, Mori Geothermal Field, Japan. *Geothermics*, 34(5), 551-567.
- Yungul, S.H. 1950. Interpretation of Spontaneous Polarization Anomalies Caused by Spheroidal Orebodies. *Geophysics*, 15, 237-246.



INVESTIGATION OF INFLUENCE OF BERM HEIGHTS, GRADIENT OF SLOPE EXCAVATION AND GROUNDWATER DEPTHS ON SAFETY OF WEAK ROCK SLOPE

Murat KİLİT^{1*}, Uğur Şafak ÇAVUŞ²

¹ Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Afyonkarahisar, Turkey

² Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Isparta, Turkey

Keywords

*Excavation Slope,
Slope Stability,
Berm Height,
Rock,
Ground Water.*

Abstract

In this study, effects of berm heights, excavation slope gradients and groundwater depths on the stability of designed excavations as well as variations on the safety factors of the excavation slopes are investigated. In the study, 3 different berm heights (5m, 10m and 15m) and 2 berms usually preferred and faced at the slope excavation applications were taken into consideration. So, for instance, for a 10 m berm height, total slope height to be analyzed will be a 30m high due to for 2 berms. In addition, depending on these 3 different berm heights (5m, 10m and 15m), 3 different slope excavation gradients (45⁰, 55⁰ and 65⁰) were also defined in the modeling. Then, for these 9 different slope excavation designs, 3 different groundwater depths were also additionally attained in the analyses. Numerical seepage analyses were performed on totally 27 different modal types. Location of phreatic water seepage lines and pore water pressure values as well as safety factors of the excavation slope failure surfaces were analyzed depending on berm heights, excavation gradients and groundwater locations for 27 different excavation and slope scenarios. This study showed that when berm heights are increased, then safety of the slope excavations is decreased.

KAZI PALYE YÜKSEKLİĞİ, KAZI ŞEV EĞİMİ VE YERALTI SUYU DERİNLİĞİNİN DÜŞÜK MUKAVEMETLİ KAYA KAZILARININ STABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler

*Kazı Şevi,
Şev Güvenliği,
Palye Yüksekliği,
Kaya,
Yeraltı Suyu.*

Öz

Bu çalışmada, Palye tasarım yüksekliklerinin, kazı şevi eğimlerinin ve yeraltı suyu konumunun projelendirilmiş kazı şevlerinin stabilitesine olan etkisi ve kazı şevi kayma güvenliklerindeki değişim dereceleri araştırılmıştır. Uygulamada çoğunlukla alınan 5m, 10m ve 15m gibi üç farklı palye yüksekliği dikkate alınmış ve toplam yamaç kazısının yine uygulamada çoklukla karşımıza çıkan iki palye oluşturulduğunda biteceği kabul edilmiştir. Örneğin 10m palye yüksekliğinde iki palye yapıldığında modellenecek ve analiz edilecek toplam yamaç kazısı yüksekliği 30m olmaktadır. Bunun yanı sıra 3 farklı palye yüksekliğine (5m, 10m ve 15m) bağlı üç ayrı kazı şevi eğimi (45⁰, 55⁰ ve 65⁰) modellenmiş ve 9 farklı kazı tasarımı için ayrıca 3 farklı yeraltı suyu derinliği etkisi dikkate alınmıştır. Toplamda 27 farklı model üzerinde yeraltı suyu nümerik sızma analizi yapılarak freatik hatların konumu ve kayaç boşluk suyu basınçları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanmış boşluk suyu basınçları stabilite analizlerinde kullanılarak kazı şevlerinin güvenlikleri palye yüksekliklerine, kazı şev eğimlerine ve yeraltı suyu derinliklerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, palye yüksekliği arttıkça kazı şevlerinin güvenliği azaldığını göstermiştir. Ayrıca yeraltı suyu derinliği ne kadar yüksek ise kayma yüzeylerine etki eden boşluk suyu basınçları o derece yüksek oluşmakta, kazı şevlerinin güvenliği azalmaktadır.

Alıntı / Cite

Kilit, M., Çavuş, Ş.U., (2019). Investigation of Influence of Berm Heights, Gradient of Slope Excavation and Groundwater Depths On Safety of Weak Rock Slope, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 761-766.

* İlgili yazar / Corresponding author: mkilit@aku.edu.tr, +90-272-218-2375

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Kilit, 0000-0002-1912-6151	Başvuru Tarihi / Submission Date	31.07.2018
U. Ş. Çavuş, 0000-0003-4804-8735	Revizyon Tarihi / Revision Date	10.04.2019
	Kabul Tarihi / Accepted Date	11.06.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Excavations for the construction of structures such as dam structures, highways and buildings located on steep valleys and rocky rims are usually required. In such cases, slope stability has to be provided for an excavation. There are many studies on rock slope stability and excavations excavations [(Anbalagan, 1992), (Anbalagan et al, 1992), Alejano et al, 2011), (Bye and Bell, 2001),(Chen, 1995),(Coggan, 1998), (He et al, 2008), (Hoek and Bray, 1981), (Hustrulid et al, 2000), (Kanda, 2015), (Nunes et al,2004), (Stacey, 2006), (Wylie and Mah, 2004)]. Stability of the excavations and slopes are affected by various parameters and conditions such as material strength of the soil or rock, geological setting, topographical slope gradient, excavation gradient, groundwater location and excavation slope height depending on the berm levels. When the required total excavation height is sufficiently high, then the berms with some intervals and heights on the slope excavations (depending on the project type and characteristics of the slope and its material) are also usually constructed for providing safety and easiness of construction.

In many civil engineering construction projects, berm heights and widths for slope excavations are usually determined by experience depending on the project and slope characteristics such as material strength and site conditions such as existence of groundwater, gradient of the topographical slope and required total excavation height etc. However, when berm heights are chosen sufficiently high, then the safety of the excavation slopes against slides is decreased although excavation costs are minimized in this case. In addition, local site conditions such as existence of groundwater and its levels as well as soil or rock properties and gradient of the designed excavation slopes affected safety of the excavations against slide failures.

In this study, 3 different berm heights with 5m, 10m and 15m and 2 berms for each required total excavation height were taken into consideration for the analyses in the modeling to determine variations on the sliding safety of the weak rock slope excavations with homogeneous rock strength and permeability properties (Figure 1). Then, for each berm height, 3 different ground water levels and 3 different slope excavation gradients (β) such as 45° , 55° and 65° as well were considered in the analyses to determine their effects on the stability of the slope excavations. Pore water pressures depending on the groundwater levels as well as the location of the free

surface flow of the ground water are calculated numerically using finite element method by the software SLIDE. Then, those pore water pressures were applied on the calculation of factor of safety of sliding surfaces for each slope excavation scenarios in the software SLIDE.

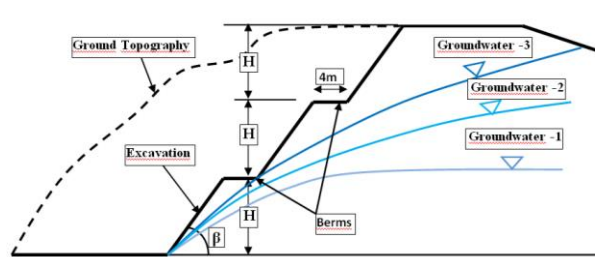


Figure 1. Schematic view of the modelled excavation

2. Material and Method

Depending on geological condition (groundwater levels), excavation slopes and berm heights, different calculation combinations were determined. Totally, 27 scenarios and modeling, finite element seepage solutions were first performed to obtaining phreatic groundwater levels and pore water pressure values acting on the sliding surfaces of the excavation slopes (Table 1) using software SLIDE (Rocscience, 2011). Table 2 explains the meanings of the abbreviations given in Table 1.

Finally, slope stability analyses of the excavations for the 27 different scenarios were also performed to find the safety factors of the failure surfaces for each excavation type and condition by SLIDE. In stability analyses, widely used Bishop limit equilibrium method was used considering failure surfaces would be almost circular as seen in most homogeneous soil and weak rock conditions such as schist. Weak rock engineering properties used in the seepage and stability calculations are given in Table 3.

In Bishop method, horizontal internal forces (E) between slices were taken into account in the stability calculations (Bishop, 1955, Bishop Morgenstern, 1960). Whereas, vertical inter slice forces (X) were omitted. Safety factors of the sliding surfaces were calculated using Equation 1. In Equation 1, Factor of safety values (FS) are seen both side of the equation (Figure2). Therefore, in the solutions, for each FS values, iteration have to be performed to reach the solution. Software SLIDE performs this iteration for both specified In seepage analyses, permeability values of the weak rock was determined according to

Van Genuchten parameters and 2-D Darcy seepage flow equation is used and Laplace solutions of the seepage domain was obtained by finite element solution method (Equation 2).

Table 1. Analyses scenarios of excavation slopes depending on berm heights, geological and excavation conditions.

Analyses of excavation slopes depending on berm heights, ground water depth and slope			
Factor of Safety Sliding Surfaces (FS)			
Analyses Combinations	Berm Heights (H)		
	5	10	15
β45Wd1	1,56	1,291	1,22
β45Wd2	1,54	1,21	1,12
β45Wd3	1,01	0,78	0,63
β55Wd1	1,33	1,13	0,95
β55Wd2	1,26	1,01	0,86
β55Wd3	1,01	0,69	0,51
β65Wd1	1,26	0,93	0,75
β65Wd2	1,21	0,83	0,75
β65Wd3	1,06	0,8	0,75

Table 2. Meanings of abbreviations given in Table 1.

Abbreviations	Meaning
H	Berm Height (5m, 10m ve 15m)
β	Slope of Excavation (45°, 55° ve 65°)
Wd	Groundwater Depth (3 different depths:Shallow, moderate and deep)

Table 3. Weak rock engineering properties

Properties	Values
Unit weight, Y	19 kN/m ³
Cohesion, c	0
Internal friction angle, Ø	37°
Permeability, k (cm/s)	1x10 ⁻⁵

$$FS = \frac{\sum \left[(c.B+W.\tan \phi) \left\{ \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cdot \tan \phi}{FS} \right\} \right]}{\sum W.\sin \alpha} \quad (1)$$

where, FS; factor of safety, c; cohesion, Ø; internal friction angel, X and E; side forces of slices, W; slide weight, α; angel of slices with horizontal line.

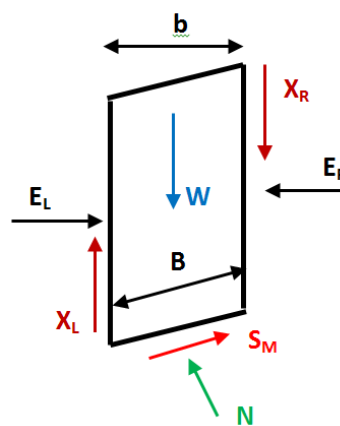


Figure 2. Bishop forces on the failure surfaces.

where, b; horizontal width of slices, S_M; shear strength at the base of slice, n; normal force at the base of slice.

$$k_{wx} \frac{\partial^2 h_w}{\partial x^2} + k_{wy} \frac{\partial^2 h_w}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

Where, kw is the coefficient of water permeability of soil, which is a function of pore water pressure (Dogan and Motz, 2005). Flow was modeled for steady state condition. For the analyses, finite element method was applied using SLIDE/Grounwater module. Number of elements were approximately 1500, and 8 noded quadrilateral elements were used in the modeling. Covegare parameter was chosen as 0.05. In order to build up the phreatic line, full of water at the level of the total berm height was assumed at the right side of the rim in the modeling, and boundary condition was chosen according to this condition.

2.1. Seepage and Slope Stability Solutions

For 27 different scenarios due to excavation slope angle, groundwater depth and berm heights, totally, 27 finite element numerical seepage modeling and solutions were first performed to locate the groundwater flow line and also obtain the pore water pressures which would be acted on the failure surfaces of the excavation to calculate safety factors of the sliding surfaces and stability of the excavated slopes as well. Shallow failure surfaces with minimum factor of safety values and also the sliding surfaces which cover only the one of two berms or one of 3 excavation slopes with same height (H) were not taken into account for the evaluations.

Instead, as more meaningful, deep failure surfaces with a minimum safety factors and also the surfaces passing through at least one berm with 2 excavated slopes were considered in the safety evaluation of the excavated slopes. Only 5 modelings out of 27 different solutions showing together with results of numerical seepage and limit equilibrium slope stability analyses are presented in Figures 3, 4, 5, 6, 7 and 8 in order not to make mass in this paper. Those figures are actually

sufficient to explain the modelings and solutions performed. Factor of safety grid with all color interval values as well as deep critical failure surfaces with minimum safety factors are seen in Figures 3, 4, 5, 6, 7 and 8.

In addition, phreatic groundwater flow line and calculated pore water pressure values are also presented in these figures with color interval bandts of the pressures obtained as a result of finite element seepage analyses. Evaluation of the results will be explained in the next section.

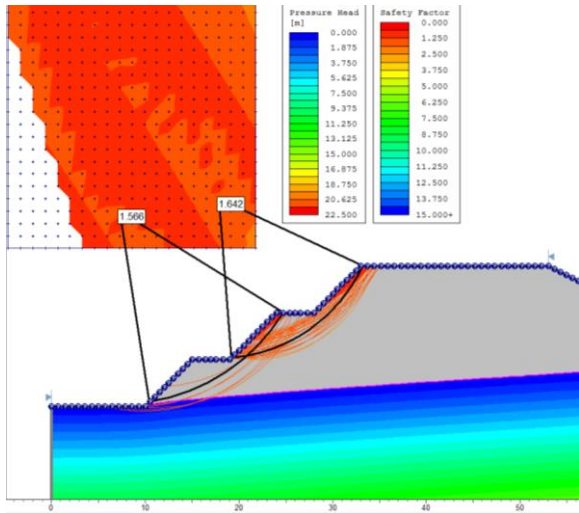


Figure 3. Numerical seepage and slope stability calculations for 5m berm heights, 45° excavation slopes and deepest groundwater level from the surface of the rim.

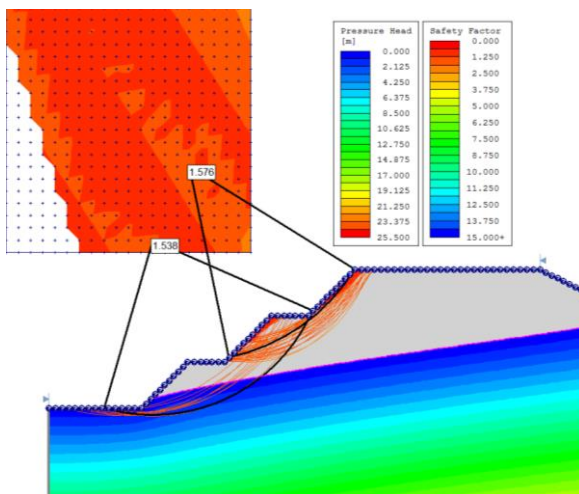


Figure 4. Numerical seepage and slope stability calculations for 5m berm heights, 45° excavation slopes and medium groundwater level from the surface of the rim.

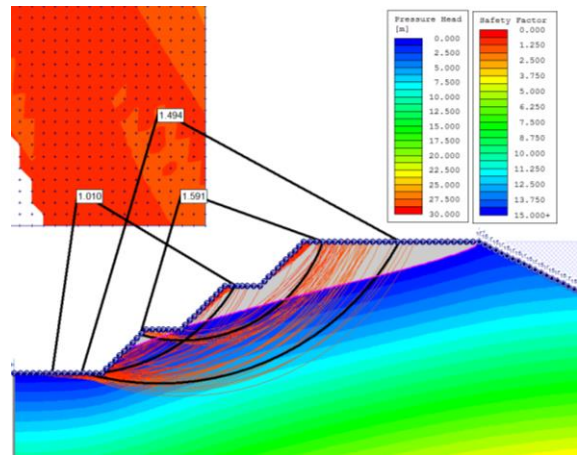


Figure 5. Numerical seepage and slope stability calculations for 5m berm heights, 45° excavation slopes and shallow groundwater level from the surface of the rim.

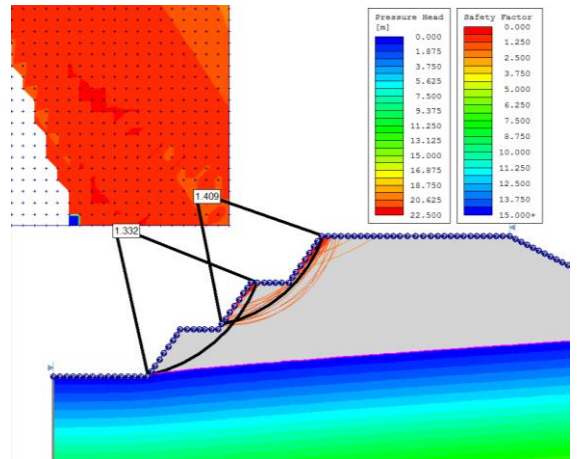


Figure 6. Numerical seepage and slope stability calculations for 10m berm heights, 45° excavation slopes and deepest groundwater level from the surface of the rim.

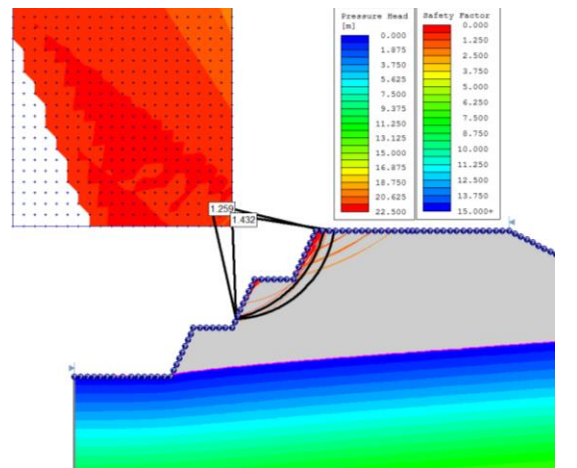


Figure 7. Numerical seepage and slope stability calculations for 15m berm heights, 45° slopes and deepest groundwater level from the surface of the rim.

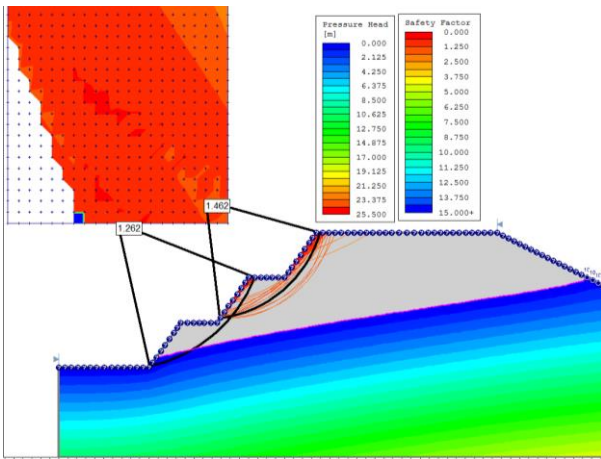


Figure 8. Numerical seepage and slope stability calculations for 5m berm heights, 55° excavation slopes and medium groundwater level from the surface of the rim.

3. Evaluation of Analyses Results

For excavated weak rock slope angle (β) of 45°, depending on different groundwater levels such as d1 (deep), d2 (medium) and d3 (shallow), variation of slope minimum safety factors for deep failure surfaces with respect to berm heights is given in Figure 9. This plot gives us that excavated slope safety factors are decreased around 36% for each ground water depth when berm heights increased from 5m to 15m. In addition, when groundwater levels become shallower to the ground surface for same berm heights, then, excavated slope safety factors are also decreased approximately 57% in average. Plots given in Figures 10 and 11 are for excavation slope angle of 55° and 65° respectively, and indicate that slope safety factors are also decreased for each ground water depth when berm heights increased from 5m to 15m. In addition, when groundwater levels become shallower to the ground surface for same berm heights, slope safety factors of the excavations are also decreased.

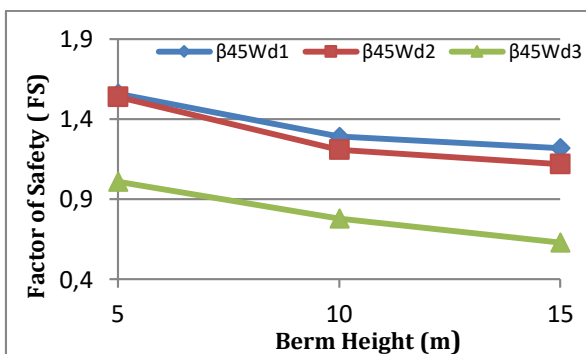


Figure 9. Variation of slope minimum safety factors for deep failure surfaces with respect to berm heights For excavated weak rock slope angle (β) of 45°, depending on different groundwater levels such as d1 (deep), d2 (medium) and d3 (shallow).

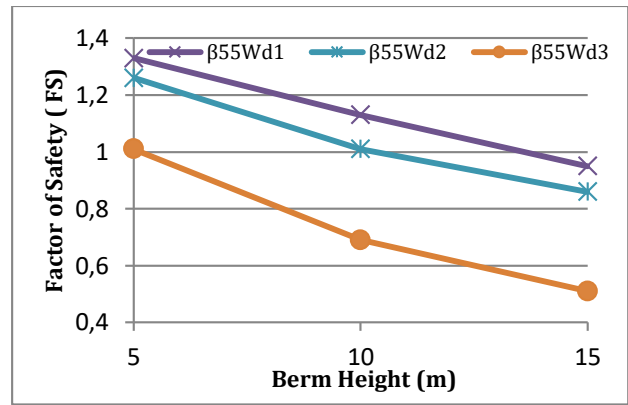


Figure 10. Variation of slope minimum safety factors for deep failure surfaces with respect to berm heights for excavated weak rock slope angle (β) of 55°, depending on different groundwater levels.

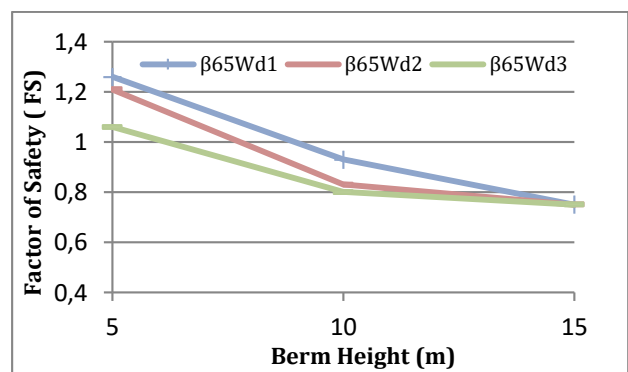


Figure 11. Variation of slope minimum safety factors for deep failure surfaces with respect to berm heights for excavated weak rock slope angle (β) of 65°, depending on different groundwater levels.

When we evaluated Figures, 9, 10 and 11 together, it is also observed that for each groundwater depth and berm height, when excavation slope angle is more gentle, then, stability safety factors of the excavation is increased more and slopes gets much more safe. When we compare all results best safety factor is obtained for a berm height of 5m when ground water is deep and excavation slope is gentle as 45 degree.

4. Conclusion

In this study, effects of berm heights, excavation slope gradients and groundwater depths on the stability of designed slope excavations as well as variations on the safety factors of the excavation slopes are investigated. This study proved that when berm heights are increased, then stability safety factor of the slope excavations is decreased. In addition, when groundwater depth is approached close to the ground surface, then slope excavation safety also decreases. Moreover, steeper slope gradients of the excavations results in decrease of factor of safety of the failure surfaces. In other words, lower berm heights with deep groundwater levels and flatter excavation slope

gradients result in increase for the factor of safety of the failure surfaces.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Alejano, L.R., Ferrero, A.M., Oyanguren, P.R., Fernandes, M.I.A., 2011. Comparison of limit-equilibrium, numerical and physical models of wall slope stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 48, 16–26.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32(4), 269–277.
- Anbalagan R, Sharma S, Raghuvanshi TK., 1992. Rock Mass Stability Evaluation Using Modified SMR Approach. In: *Proceedings of the 6th National Symposium on Rock Mechanics*, p. 258–268.
- Bishop, A.W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes”, *Geotechnique*, Vol. 5, pp 7 - 17.
- Bishop, A.W., and Morgenstern, N., 1960. Stability Coefficients for Earth Slopes, *Geotechnique*, Vol. 19, No. 4, pp 129 - 150.
- Bye, A.R., Bell, F.G., 2001. Stability Assessment and Slope Design at Sandsloot Open Pit, South Africa. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 38: 449–466.
- Chen Z., 1995. Recent Developments in Slope Stability Analysis. In: Fujii T, editor. *Proceedings of the 8th International Congress of Rock Mechanic*, vol. 3;. p. 1041e8.
- Coggan, J.S., Stead, D., Eyre, J.M., 1998. Evaluation of Techniques for Quarry Slope Stability Assessment. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section B: Applied Earth Science*:107.
- Dogan, A., Motz, L.H., 2005. Saturated –Unsaturated 3D Groundwater Model I:Development J. *Hydraulic Eng ASCE*10(6), 492–504.
- Hoek, E., Bray, J., 1981. *Rock Slope Engineering*. Institute of Mining and Metallurgy, London., United Kingdom, 3rd Edition, 211–219.
- Hustrulid, W.A., McCarter, M.K., and Van Zyl, D.J.A., 2000. *Slope Stability in Surface Mining*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO.
- Kanda, M.J., 2015. Limit Equilibrium and Numerical Modelling Approaches in Slope Stability Analyses with Regard to Risk Assessment for Open Pit mining. MSc Dissertation, University of the Witwatersrand. 137 pp.
- He, M.C., Feng, J.L., Sun, X.M., 2008. Stability Evaluation and Optimal Excavated Design of Rock Slope at Antaibao Open Pit Coal Mine, China, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 289–302.
- Nunes, A, Guedes, P, Cardoso, A., 2004. Instability Analysis in Excavation Rock Slopes in Road Environmental. Case study on EN22 Road Between Regua and Ponte de Batedeiras. III Portuguese highway congress, Portugal; p.10. (in Portuguese).
- Rocscience, 2011. Slide 6.009-2D limit equilibrium slope stability analysis.
- Stacey, T.R., 2006. Considerations of Failure Mechanisms Associated with Rock Slope Instability and Consequences for Stability Analysis. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 106, no. 7. pp. 485–493.
- Wyllie, DC, Mah, C.W., 2004. *Rock Slope Engineering – Civil and Mining*, 4th Edition. New York: Spon Press. Pp 176 – 199.



A NEW MODEL PROPOSAL FOR ERGONOMIC ASSEMBLY LINE BALANCING

Emin KAHYA^{1*}, Büşra Nur YETKİN²

¹ Eskisehir Osmangazi University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Industrial Engineering, Eskisehir, Turkey

² Eskisehir Osmangazi University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Industrial Engineering, Eskisehir, Turkey

Keywords

*Assembly Line Balancing,
Ergonomic Risk Evaluation,
REBA.*

Abstract

Assembly line balancing is a problem where tasks assign to stations in compliance with precedence constraints and as far as possible to balance delays. Assembly lines which is not designed properly in an ergonomic way cause not only productivity loss but also work-related musculoskeletal disorders on workers. To prevent such problems, it should be aimed to catch acceptable level for each workstation's risk score and assign ergonomic risks equivalently among workers. In this study, for assembly line balancing problem, a new model approach is tackled, which constitute stations by consider ergonomic risk scores in addition to cycle time and precedence constraints. In order to compare proposed model with a classical assembly line balancing technique, a performance criterion which is combination of cycle time and ergonomic risk score were defined. The developed model was applied in a factory's oven assembly line. In the assembly line, task times were measured, precedence diagram was constructed and ergonomic risk levels were evaluated by using REBA method. When balancing lines with using Longest Operation Times technique, performance score was %25.61 but when it comes to balance with developed model performance score was obtained %18.25. It has been detected that developed model provides 7.41% improvement in line's total performance.

ERGONOMİK MONTAJ HATTI DENGELEME İÇİN YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Anahtar Kelimeler

*Montaj Hattı Dengeleme,
Ergonomik Risk
Değerlendirme,
REBA.*

Öz

Montaj hattı dengeleme probleminde yapılacak işlemler, hattın belirlenen hızda devam etmesi amacıyla ve öncelik ilişkilerini dikkate alarak dengeli bir şekilde istasyonlara atanır. Montaj hattı ve istasyonların tasarımında ergonomik düzenlemeler göz ardı edildiğinde, çalışanlarda kas iskelet sistemi hastalıklarına ve devamında verimlilik kayıplarına da yol açabilir. Çalışan sağlığını ve üretimin verimliliğini korumak için montaj hattı dengelemede her bir istasyonun ergonomik risk düzeyinin kabul edilebilir seviyeye çekilmesi ve zorlanma düzeyinin işçiler arasında dengeli dağıtılması da amaçlanmalıdır. Bu çalışmada, montaj hattı dengelemede, öncelik ilişkileri ile çevrim süresi kısıtına ilaveten, ergonomik risk düzeyini de dikkate alan yeni bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, önerilen modelin klasik montaj hattı dengeleme modeli ile karşılaştırılması amacıyla, süre ve ergonomik risk düzeyinin bileşkesinden oluşan performans ölçütü tanımlanmıştır. Geliştirilen model, bir işletmenin fırın montaj hattı için uygulanmıştır. Her iki montaj hattında işlem süreleri ölçülmüş, öncelik ilişkileri çıkarılmış ve REBA yöntemi ile ergonomik risk düzeyleri hesaplanmıştır. En Büyük Aday yöntemi kullanılarak yapılan klasik montaj dengelemede, performans skoru %25.61 olurken, geliştirilen model için %18.25 elde edilmiştir. Geliştirilen modelin, toplam performansda %7.41 iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir.

Alıntı / Cite

Kahya, E., Yetkin, B.N., (2019). A New Model Proposal for Ergonomic Assembly Line Balancing, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 767-778.

*Corresponding author : ekahya@ogu.edu.tr, +90-222-239-37-50

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Kahya, 0000-0001-9763-2714	Başvuru Tarihi / Submission Date	07.10.2018
B. Nur Yetkin, 0000-0002-4963-5483	Revizyon Tarihi / Revision Date	03.04.2019
	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.05.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Musculoskeletal disorders caused by working conditions are an increasing health problems and a leading maker of disabilities. A number of physical, individual, and psychosocial risk factors are correlated with the reinforcing of Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). During performing a task, exposure to physically demanding times such as repetition of a movement, vibration, forcible exertion and unsuitable postures generate physical risk factors (Bernard, 1997).

Inadvisable working conditions and poor workplace design in terms of ergonomic aspects, are an important topic today. Because of ergonomic risks in the working place, workers health and life quality are damaged seriously and employers economic output and economy decline on the whole (Otto and Scholl, 2011). Impact of WMSDs in production efficiency through sickness, disability and absence have revealed with latest studies. Musculoskeletal Disorders (MSD) were ranked as the second most pricey health situation responsible for cardiovascular disease by a Health Canada (2002) research while cancer ranking third (Chiasson et al., 2012). As reported by World Health Organization /WHO), in developed countries MSDs have highest responsibility of workplace injury (WHO, 2003). In 2008, as reported in the US, at 315,000 events of workplace MSDs which caused by lack of ergonomic requirements, have need a break from work average of 10 days (Bureau of Labor Statistics, 2009) (Otto and Scholl, 2011).

MSDs also responsible for the highest morbidity prices of all diseases combined. Employers in the US pay 15 to 20 million US dollars for MSDs compensation cost annually. Conforming to some predictions, in Europe nearly 44 million workers are abused from occupational musculoskeletal disorders (Nunes, 2009).

Workplace ergonomics is gaining importance especially in assembly lines since assembly workers are subject to a lot of repetitive, short cycle tasks with a monotonous body posture and heavy work load. Thus the daily operations of the assembly line workers is affiliated with higher ergonomic risks and some occupational diseases, such as carpal tunnel, muscular pains in the various body regions like the back, shoulder, neck, arms and wrists. 35% of plant and machine operators and assemblers report having regular backaches and muscular pains. As reported by the Fourth European Survey on Working Conditions,

muscular pains and constant backaches occur to 35% of assemblers, machine and plant operators. (Schneider and Irastorza, 2010)

Different researches about operator working on assembly line in various countries approve high pervasiveness rates of musculoskeletal disorders indeed (e.g. Bao et al., 2000; Pullopdisakul et al., 2013). Such occupational diseases take a long time to cure so high medical expenditures for the company and also decrease the life quality of the worker. For this reason, increasing attention is being paid to assembly line production and widely studied. Among ergonomics and productivity a connection in assembly systems has displayed by a study of the authors (Battini et al., 2014). Thus the ergonomic risks must be assessed in assembly lines and incorporated into techniques of assembly line balancing and line design, so strains of worker's and work conditions can be improved.

During the last decade, a high number of studies agree to the requirement of integrate ergonomic risk factors into assembly line balancing for both the mathematical models and heuristic methods. The studies have focused on ergonomic risk assessment approaches into different aspects such as work related injuries (Baykasoglu and Akyol, 2014), physical workload (Mutlu and Özgörmüş, 2012), energy expenditure (Battini et al., 2016a) using Occupational Repetitive Actions (OCRA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Rapid Upper Limb Assessment (RULA) methods for assembly line balancing problem Type 1 and Type 2. In this study, a new heuristic approach considering REBA as ergonomic risk score in addition to cycle time and precedence constraints was proposed to balance an assembly line. A performance approach was suggested to compare both the classical assembly line balancing model and proposed models. This method is the first attempt to solve an ergonomic assembly line balancing problem by using Longest Operation Times technique. The model was applied in an oven assembly line. By means of this model, we can accomplish a serious decline in ergonomic risk score without increasing at the number of workstations in the line is achieved.

The rest of paper is organized as follows: in Section 2, the literature review on the ergonomic assembly line balancing is presented. In Section 3, an overview of assembly lines and ergonomic risk assessment methods are introduced. In Section 4, model development and performance criteria definitions are given. In Section 5, the developed model is applied in

a real problem. Finally, results and recommendations are presented in the last section.

2. Literature Review

Assembly line balancing problems considering ergonomical issues have newly appealed to many researchers due to they are gaining more and more importance in practice. Ergonomical factors has great influence in the quality of the product and the motivation of workers. Yeow and Nath Sen (2006) have improved the ergonomical conditions of assembly lines and observed that the production cost has decreased, the efficiency and the level of quality has increased.

It is shown by various research in ergonomics and occupational health that overwhelming workload is one of the dominant reasons for work-related afflictions. Carnahan et al. (2001) examined three line balancing heuristics, namely, a ranking heuristics, a combinatorial genetic algorithm and a problem space genetic algorithm, which embody physical demand criteria so as to resolve the problem. The target was to diminish the cycle time and the maximum manual grasp requests of the workers. Battini et al. (2001) investigated the close relationship between ergonomics and design methods of assembly system. From this investigation, he came up with a new theoretical architecture that considers technological variables (affiliated with work times and techniques), environmental variables (i.e absenteeism, employee turnover, work force spirit boost) and lastly, ergonomics assessment (i.e. human diverseness). By studying the accumulative effects of repetitious assignments, Baykasoglu and Akyol (2014) made an evaluation about ergonomic risks on assembly lines. The outcome of weak-designed (from a point of view of ergonomics) assembly lines, is responsible for lack of productivity and even, work-related injuries. For the sake of averting these problems, an analysis for each station should be conducted and ergonomic risks must stay below the maximum acceptance level.

Because a few factors about the measurement job are present, like (1) demands of job activities (2) the state of the workplace, and (3) environmental conditions (4) factors of human psychology such as stress, the physical work load concept has various aspects. (Fallentin et al., 2001; Mutlu and Özgörmüş, 2012; Polat et al, 2018). The physical workload is considered by certain studies as an additional restraint for the pursuit of assembly lines that are well-designed. Choi (2009) presented a model of integer program that incorporates excessive work load of processing duration and physical work load including several risk factors. In order to solve it, the target programming approach and a suitable algorithm process techniques were used. Different computational tests like, model with only processing duration work load, model with only physical work load and the integrated model.

Mutlu and Özgörmüş (2012), regarding the physical work load as an fuzzy concept, came up with an fuzzy linear programming model for type 1 ALBP. The model that was proposed was put into work for an assembly line balancing issue of a textile company. Kara et al. (2014) suggested a model which is basically an economically feasible formulation for ALB under the influence of psychological constrain, physical constrain, skills of workers, hardware, postures while working and lighting level limitations. The total costs related with the operating costs of staff and the resources consumed under the influence of ergonomics and resource limitations are reduced to minimum by the model. The ergonomic constraints make sure that the overall of task harshness of each station does not go beyond the suggested limits. Furthermore, each and every limit on the sum of energy consumption should be under the limits.

Battini et al (2015) and Battini et al. (2016), presented a multi-objective model that is rooted from the energy expense. Taking into account the performance factors of the workers, the quantity of energy consumed and maladjustment of tasks, Güner and Hasgül (2012) proposed a brand new mathematical model of U-type assembly line balancing issue.

Scholl and Klein (1997,1999) came up with a two-stage method that utilizes the exact solution method SALOME to solve with the least number of stations on the first stage, than a simulated annealing method is used to improve equalization of ergonomic risks between certain number of stations that are decided on the first stage. Rajabalipour Cheshmehgaz et al. (2012) generated a model that helps to vary the operators body postures periodically. Fuzzy goal programming is employed and a suitable genetic algorithm was created to solve the model. Assembly line is balanced by not taking into account the ergonomical risks in the first stage, afterwards, in the second stage it is re-balanced on the criteria of ergonomic risk factors. It is proved that although a vast amount of ergonomic risk evaluations include nonlinear functions, it is possible to assimilate them in the assembly line balancing methods with minor extra computational costs. Computational resarch of theirs showed that re-balancing, often supplies a major relief of ergonomic risks. Xu et al. (2012) brought about upper levels of extremity ergonomic measures. While not worsening hugely the efficiency of the line, it is shown by the case studies presented in this paper that the new model is able to balance efficiently and keep the exposure levels in the upper levels of extremity ergonomic measures under control. Al Zuheri et al. (2013) delved into ergonomically assembly line balancing issues of the workers whose tasks include walking and increased the line efficiency. Bautista et al. (2016a) and Bautista et al. (2016b) came up with a set of line balancing models that take into account temporal and spatial features in addition to combining the ergonomic risk features. Otto and Battaia (2017)

presented a summary of the present optimization approaches for balancing assembly lines and scheduling of work rotations that take into account physical ergonomic risks. By this study, major indications to ensure beneficial ideas for practitioners and to show research directions.

More basic observation methods like REBA, OCRA as ergonomic risk factors in balance of assembly line are rarely taken into account in the literature. A software called ErgoAnalysis that is presented by Di Benedetto and Fanti (2012) which ease the control of all the production flow and creates a Risk Index for the real tasks of an assembly line. Pulkurte et al. (2014) mostly took a close look at increasing the total efficiency of multi-model assembly line by finding and removing the non value added activities. To decrease the amount of moves, REBA is employed which analyze the posture of workers. A new problem about Assembly Line Worker Assignment and Balancing (ALWABP) is proposed by Akyol and Baykasoglu (2016) by taking into account ergonomic risk factors named as ErgoALWABP. Simultaneous operator-to-station tasks and assembly line balancing including a few lexicographically aligned objective functions. Minimizing cycle time for a number of stations is the primary aim. Further aims are ergonomics oriented aims and measure ergonomic risks with OCRA and present an algorithm of multistart greedy heuristic for tackling with the formulated problem. Baykasoglu et al. (2017) took into account the ergonomic criteria on design stage of assembly line and employed OCRA technique to decide upon ergonomic risks and rule-based constructive search algorithm for resolving the issue. Lately, Tiacci and Mimmi (2018) combined the evaluation of ergonomic risks through OCRA index so as to balance mixed model stochastic assembly lines. A genetic algorithm technique which is able to incorporate the ergonomic risks assessment and balancing/sequencing is presented. Looking at the outcome of this presented approach, the expenses that are obligated by the ergonomic legislation can be minimized. Polat et al. (2018) referred to Assembly Line Balancing Problem (ALBP) Type 2. Balancing the cycle time and physical workload of the stations concurrently was the main purpose. To tackle with the problem a goal programming model was made and to clarify the methodology, a familiar small sized benchmark example is used. To decide upon the workload workload of operations REBA technique was used.

Kahya et al. (2018) presented a study balancing the cycle time and ergonomic risk of a station by using COMSOAL technique. The results showed that the developed model provides 3.34% improvement in line's performance. Şahin and Kahya (2018) solved the ergonomic assembly line balancing problem Type I with the goal programming approach. The model was developed to predict workload and the number of workstation. For each workstation, maximum REBA

score was determined as 10 and added to model as constraint. The model was solved with GAMS package program. In the result of study, more fair balanced line is obtained, in terms of working environment and risk levels.

To conclude, a number of studies acknowledge the necessity to integrate ergonomics into different planning aspects of assembly lines. There are many of mathematical models and some heuristic methods in the literature but, to the best of our knowledge, a few attempt has been made yet to incorporate ergonomic risk factors into a known heuristic assembly line balancing model, simultaneously.

3. Ergonomic Risk Assessment Methods

Frequency, intensity and duration of physical workload factors determines the degree of physical ergonomic risk. These factors constitute of repetitive movements, continuous sitting or standing, vibrations, awkward postures, lifting of heavy loads in addition environmental factors such as noise, lighting, temperature and humidity. By estimating these factors, physical health risks at workplace can be identified and evaluate.

In work related MSD, frequently used exposure computation ergonomic methods are determined in three categories:

- a) self-assessment evaluation techniques
- b) systematic observation methods using video recordings or software tools to measure ergonomics indexes
- c) direct measurement techniques

Self-reports of workers by using methods such as interviews and questionnaires can be help to detect physical and psychosocial factors in workplace by collecting data. Uncomplicated to use, costly efficient, applicability to huge range of circumstances, and able to survey with all workers provide advantage apparently (David, 2005). Some methods are Nordic Musculoskeletal Questionnaire, Dutch Musculoskeletal Discomfort Questionnaire, Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire and Swedish Occupational Fatigue Inventory.

Simpler observational techniques have been developed for systematically recording workplace exposure to be assessed by an observer and recorded on pro-forma sheets. These methods have the advantages of being inexpensive and practical for use in a wide range of workplaces where using other methods of observing workers would be difficult because of the disruption caused. Some method are given below:

- ❖ Rapid Entire Body Assessment (REBA)
- ❖ Rapid Upper Limb Assessment (RULA)
- ❖ Occupational Repetitive Actions Index (OCRA)

- ❖ Ovako Working Posture Analyzing System (OWAS)
- ❖ Quick Exposure Check (QEC)
- ❖ NIOSH Lifting Equation
- ❖ The Strain Index (SI)

Advanced observational techniques have been developed for the evaluation of postural difference for rather dynamic activities. The analysis might include the usage of biomechanical models that represent the human body as a set of articulated links in a kinetic chain and use anthropometric, postural and hand-load data to calculate intersegmental moments and forces (David, 2005). Widely used methods include ErgoMan, Sammie Cad, Safework, Creo Manikin, 3DSSPP, Jack, RAMSIS, AnyBody, OpenSIM, HumanCAD, LifeMod.

Direct methods, e.g. Lumbar Motion Monitor (LMM), elektromiyografi (EMG), have been developed that rely on sensors that are attached directly to the subject for the measurement of exposure variables at work.

In this study, REBA method was used to measure ergonomic risk of the tasks. Hignett and McAtamney (2000) proposed REBA in the UK, for a necessity observed within the scope of postural analysis too, especially with sensitivity to the varying working positions appearing in health care (e.g., animate load handling) and other service industries. REBA supports a quick and easy measurement to evaluate a variety of working postures for risk of WMSDs (Madani and Dababneh, 2016). It ensures that the postures are analyzed and scored during all body movements, thus determining the numerical value and attitudes that can create an occupational risk. When choosing jobs for REBA, it is important to consider postures that can be identified and cared for improperly, frequently repeated, time consuming, requiring high force or muscle activity, disturbing the worker.

REBA method is used to measure the workload of stations since this method enables to analyze various postures adopted by workers. It is an observational method that was developed to quantify the risk level of various body postures. In the practice of the REBA method, the stance of the trunk, neck and legs is angularly observed and scored. A score is obtained by posture scores of body, neck and legs from table A of the method during this scorer stance, the applied force or the score of the carrying load is added. Thus, a score of A is obtained. On the other hand, the posture of the upper arm, lower arm and ankles is analyzed and scored. Similar to the A score, a score is obtained with the posture points of the upper arm, lower arm and wrists from the B table, and the score related to this score is added so that the B score is calculated. The A and B scores are combined in Table C to give a total of 144 possible combinations. Depending on the case, an activity score is also added to score C in order to calculate final REBA score which is scaled between 1

and 15 (see Figure 1). Based on the calculated final score, the risk level and actions required for the improvement of working conditions on the assessed position can be classified by using Table 1.

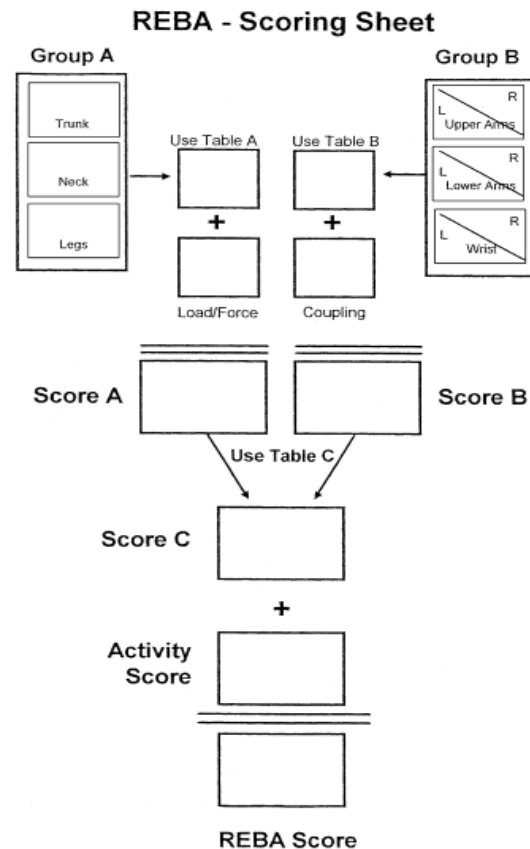


Figure 1. REBA score sheet (Madani and Dababneh, 2016)

Table 1. REBA action levels (Madani and Dababneh, 2016)

Action level	REBA score	Risk level	Action (including further assessment)
0	1	Negligible	None necessary
1	2-3	Low	May be necessary
2	4-7	Medium	Necessary
3	8-10	High	Necessary soon
4	11-15	Very high	Necessary NOW

4. Assembly Line Balancing Considering Ergonomic Risks

Assignments of tasks to stations can considerably impact the amount of ergonomic risks at the workstations, even save profitability parameters same such as cycle time and station number. Beside, due to ergonomics can also reduce the injury rate (Eklund, 1995) and number of days away from work, assembly line balancing considering ergonomics could develop production's profitability (Otto and Scholl, 2011).

4.1. Assembly line balancing problem

The Assembly Line Balancing Problem (ALBP) aims assignment the elementary tasks required to assemble or disassemble a product to the workstation's set or modules that constitute the line. These workstations are generally designed in series one after another and attached by a conveyor system with constant speed which provides the movement of the working progress. Thus, each workstation has access for a constant time (cycle time) to complete the assigned tasks. Required time to perform all the tasks in a station must not exceed the cycle time.

Precedence relations emerge as a result of technological and organizational constraints. A precedence relation $(i,j) \in A$ states that task i must be processed before task j , task i is called predecessor of task j and set A is the set of precedence relations.

The Assembly Line Balancing Problem (ALBP) purposes assign task to stations considering of meeting restrictions such as cycle time, effectiveness in conjunction with precedence constraints and some time optimizes cost, capacity, and profit-oriented goals. A feasible assignment of tasks is called (line) balance. The most basic and classical version of ALBP is called Simple ALBP of type 1 (SALBP-1); it minimizes the number of stations subject to a fixed cycle time (Otto and Scholl, 2011). SALBP describes straight assembly lines, where work pieces are transferred along a set of stations. The assignment of tasks has to respect cycle time and precedence constraints.

4.2. Development of The Model

In assembly line balancing problems, tasks are assigned equivalently among workstations, to satisfy acquired production rate and precedence constraints. To assign workload equivalently among workstations, it is not only sufficient to keep close total task times, also risk levels which are exposed by workers should be assign as far as possible equivalently among workstations. Otherwise, in a result of overloaded workers, WMSD and productivity losses will be occur and will not be justice in terms of work strain among workers.

In this study, it was aimed to construct workstations which have acceptable risk levels in terms of ergonomic working environment and developed a model to provide balancing risks equivalently. For this purpose, a method was developed, which consider ergonomic risk scores with Longest Operation Times Technique (LOTT) as a line balancing technique. LOTT is the most easy technique to understand and to apply among line balancing techniques. The objective is to minimize the number of stations for a given cycle time. According this technique, if the longest task time is assigned firstly, other tasks can be assigned more

easily to remaining spaces. Average risk score is calculated with consideration of ergonomic risk scores of tasks. Acceptable maximum risk score is determined by adding a tolerance to the average. In this way, when balancing line, precedence constraints, cycle time and ergonomic risk scores of workstations are taken into account together. New algorithm steps were defined by revising the LOTT as follows.

Longest Operation Times Method's Algorithm Under Ergonomic Risk;

Step 1: Obtain the number of workstations. This can be calculated with LOTT or theoretic minimum number of stations.

Step 2: Sum all tasks' ergonomic risk scores and then compute the average. Decide the maximum ergonomic risk score in consideration with the average score.

Step 3: Sequence the tasks descending order to assign workstations.

Step 4: Assign an appropriate task to available workstation, such that :

- a) All precedence constraints are satisfied.
- b) No workstation with station time greater than the cycle time.
- c) None workstation has a risk score greater than the maximum ergonomic risk score

Step 5: Apply Step 4 to all the tasks not to assign to a station. If there is no task to assign, skip to Step 6.

Step 6: If all tasks are assigned, go to Step 7; otherwise increase station number. If required, create a new station. Go to step 4.

Step 7: The current station number specifies the (new) number of stations.

4.3. Performance Criteria

A performance assessment method including two performance criteria, as idle time and ergonomic risk, were proposed so that the developed model can be compared with the solution results produced by the LOTT. In order to collect the results of two criteria, each criterion value was turned to a percentage.

- i. The first criterion is based on the balancing delay. It was defined as a percent of the sum of the idle (deviations from the cycle) time.
- ii. The second criterion is a measure of the imbalance between the ergonomic risk levels of the post-assignment stations. It is calculated by dividing the sum of the deviations of the ergonomic risk scores from the maximum.

In terms of duration and ergonomic risk level, total performance is calculated by taking the average of two criteria. It is desirable that this value is as small as possible.

CT: Cycle time

S_i : The total time of tasks in station i

n : The number of stations

ERS_i : The total of ergonomic risk scores of tasks in station i

\overline{ERS} : Average ergonomic risk score

ERS_{max} : Acceptable maximum ergonomic risk score

TP : Time Performance

ERP : Ergonomic Risk Performance

$$\overline{ERS} = \frac{\sum_{i=1}^n ERS_i}{n} \tag{1}$$

$$TP = \frac{\sum_{i=1}^n |CT - S_i|}{n \cdot CT} \tag{2}$$

$$ERP = \frac{\sum_{i=1}^n |ERS_{max} - ERS_i|}{n \cdot ERS_{max}} \tag{3}$$

$$\text{Total Performance} = 0.50 \cdot TP + 0.50 \cdot ERP \tag{4}$$

5. Application of the Proposed Model

In order to make the developed model more understandable, it has to be tested for an sample assembly line. The model was applied to a line in an oven factory in Eskişehir city, where the final assembly of the ovens are done. In order to determine ergonomic risk levels, REBA method was chosen for posture analysis because of using various body (trunk, neck, leg etc.) postures throughout assembly process. Figure 2 shows the precedence diagram for the line. The task times and REBA scores of tasks are given in Table 2.

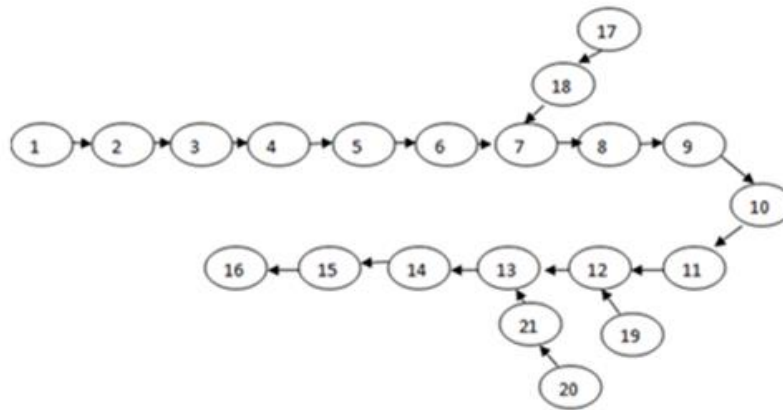


Figure 2. Precedence Diagram of Oven Assembly Line

Table 2. Data of Oven Assembly Line

No	Task	Time (seconds)	REBA Score
1	Top and bottom resistance and hinge counter	221.4	3
2	Isolating	78	10
3	Assembly of back sheet	48	6
4	U-galvanized fixing sheet	65.4	8
5	Assembly of turbo fan protection sheet	48	6
6	Fitting turbo fan	54	6
7	Pressing panel and wire grid	98.4	11
8	Putting cooler fan	42	4
9	Assembly of kable group and control	216	9
10	Grounding	54	9
11	Assembly of cable group to klemens	72.6	7
12	Pressing of cooler fan and rear protection	125.4	5
13	Assembly of oven door	90.6	6
14	Cleaning	42	7
15	Glass protection carton and stickers	30	7
16	Packing	196.2	8
17	Panel preparation	51	3
18	Kable grouping and preparation of control panel	199.8	4
19	Ftting mains cable to oven backing sheet	68.4	4
20	Oven outer glass preparation	31.8	3
21	Oven door preparation	231.6	10

The cycle time of the oven assembly line consisting of 21 tasks is 432 seconds and The REBA scores of the tasks range from 3 to 11. Assembly line balancing was carried out using the LOTT without considering the

REBA scores of the tasks, and the results are given in Table 3.

The results obtained from LOTT, the number of stations we found as 6 stations for given a cycle time, 432 seconds. Except for the last station, the idle time values of the stations vary from 13.2 to 202.2 seconds and the REBA scores range between 15 and 33. While

the worker at the fourth station is working on a low risk score, the worker at the third station is exposed to the physical strain, approximately two times. More clearly, worker at the third station is under much more risk than the worker at the fourth station.

Table 3. Solution of LOTT

Station	Task No	Task Time	REBA Score	Station		Difference	
				Time	REBA	Time	REBA
1	1	221.4	3	418.8	20	13.2	7
	2	78.0	10				
	19	68.4	4				
	17	51.0	3				
2	18	199.8	4	415.2	30	16.8	3
	3	48.0	6				
	4	65.4	8				
	5	48.0	6				
	6	54.0	6				
3	7	98.4	11	410.4	33	21.6	6
	8	42.0	4				
	9	216.0	9				
	10	54.0	9				
4	11	72.6	7	229.8	15	202.2	12
	12	125.4	5				
	20	31.8	3				
5	21	231.6	10	394.2	30	37.8	3
	13	90.6	6				
	14	42.0	7				
	15	30.0	7				
6	16	196.2	8	196.2	8	235.8	19
TOTAL				2,064.6	136	527.4	50

For this solution, risk parameters are determined as follows:

Total REBA score of tasks = 136

Average REBA score, $ERS = 136/6 = 22.67 \sim 23$

The stations will be targeted with a maximum REBA score of

$$ERS_{max} = 1.20 \overline{ERS} = \sim 27$$

The performance of the solution using the LOTT;

Time performance from Equation [2];

$$TP = \frac{|432-418.8|+|432-415.2|+|432-410.4|+|432-229.8|+|432-394.2|+|432-196.2|}{6 \cdot 432}$$

$$TP = \frac{527.4}{2592}$$

$$TP = 20.35\%$$

Ergonomic risk performance from Equation [3];

$$ERP = \frac{|27-20|+|27-30|+|27-33|+|27-15|+|27-30|+|27-8|}{6 \cdot 27} = \frac{50}{162}$$

$$ERP = 30.86\%$$

From Equation [4];

Total performance = 25.61%

The oven assembly line was solved with the developed model under the restriction of REBA (27) and the results are given in Table 4.

The results obtained from the proposed model Show that, except for the last station, the idle times of the stations are between 13.2 and 120 seconds and the REBA scores range from 20 to 27. The worker at fourth station increased to 22, and the risk score of the worker at third station decreased from 33 to 27. On the assembly line, the risk difference has dropped from 12 to 7, and the difference between the physical strains of the workers at the stations has dropped to an acceptable level.

Performance Criteria of LOTT Under Ergonomic Risk:

Time performance;

$$TP = \frac{|432-418.8|+|432-393|+|432-384|+|432-312|+|432-330.6|+|432-226.2|}{6 \cdot 432}$$

$$TP = \frac{527.4}{2592}$$

$$TP = 20.35\%$$

Ergonomic risk performance;

$$ERP = \frac{|27-20|+|27-27|+|27-27|+|27-22|+|27-25|+|27-15|}{6 \cdot 27} = \frac{26}{162}$$

$$ERP = 16.05\%$$

Total performance = 18.20%

Table 4. LOTT Under Ergonomic Risk

Station	Task No	Task Time	REBA Score	Station		Difference	
				Time	REBA	Time	REBA
1	1	221.4	3	418.8	20	13.2	7
	2	78	10				
	19	68.4	4				
	17	51	3				
2	18	199.8	4	393	27	39	0
	3	48	6				
	4	65.4	8				
	5	48	6				
	20	31.8	3				
3	21	231.6	10	384	27	48	0
	6	54	6				
	7	98.4	11				
4	8	42	4	312	22	120	5
	9	216	9				
	10	54	9				
5	11	72.6	7	330.6	25	101.4	2
	12	125.4	5				
	13	90.6	6				
	14	42	7				
6	15	30	7	226.2	15	205.8	12
	16	196.2	8				
TOTAL						527.4	26

In the LOTT solution, time performance was 20.35%, REBA performance was 30.86% and total performance was 25.61%. In the REBA restricted model, the time performance was not changed, but the REBA performance decreased by 16.05% and therefore the total performance decreased to 18.20%. Obviously, although the developed model did not change the idle time, the ergonomic risk decreased significantly and a more balanced assembly line in terms of ergonomic risk between the stations was achieved.

6. Discussion

In this study, in the assembly line balancing, in addition to priority constraints and cycle time constraints, the development of a new model that takes into account the level of ergonomic risk is considered. Furthermore, in order to compare the proposed model with the conventional assembly line balancing, a performance criterion consisting of the combination of the duration and the ergonomic risk score is defined. The developed model is applied to the oven assembly line of a company. In the assembly line, the task times were measured, priorities were constructed, and ergonomic risk levels were calculated by using the REBA method.

The developed method was applied on an assembly line and compared according to the determined performance criteria. According to this; in the assembly line, when the REBA constraints are

considered, the balancing delay (20.35%) doesn't change, however, the deviations from the determined risk (REBA) score have been greatly reduced from 30.86% to 16.05% and there is no station above the acceptable (maximum) risk score (27).

When ergonomic risk levels are considered, it is seen that the risk levels of the stations are more balanced and the risk level is not exceeded. To respond demand quickly, companies want to receive as many output as possible, and only make adjustments based on their processing time. However, this idea is a short-term idea, ergonomic risks should be given importance and considered in every problem. With the developed method, a line balancing method is applied by adding ergonomic conditions and desired results are obtained in terms of ergonomic improvement.

Each extra station come together with new and noteworthy investment in technology, equipment and increasing variable costs on behalf of a manufacturer. To handle such a process, a company must make a mindful assessment of advantages of decline in ergonomic risks that one or more extra stations can make. However, there are some essential problems in accordance with the assembly line workers who expose to above-average ergonomic risks and some occupational diseases, such as carpal tunnel, muscular pains in the various regions of the body like the back, neck, shoulder, arms and wrists.

For future research, the developed model using a classical method should be improved for better performance measures. Once the model has been applied, relatively empty stations can be filled in by applying displacement operations /between tasks. Maybe with less station number the line can be balanced also still do not exceed risk limits. In this study, REBA method was used to assess the ergonomic risk level. As a further work, we plan to apply other risk assessment methods such as OWAS, OCRA and QEC.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akyol, S. D., Baykasoglu, A. 2016. ErgoALWABP: A multiple-rule based constructive randomized search algorithm for solving assembly line worker assignment and balancing problem under ergonomic risk factors. *Journal of Intelligent Manufacturing*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10845-016-1246-6>
- Al-Zuheri, A., Xing, K., Luong, L. 2013. Mathematical modelling for process design of walking worker assembly line in productivity and ergonomics perspectives. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 14(1), 104-137.
- Bao, S., Winkel, J., Shahnavaz, H. 2000. Prevalence of musculoskeletal disorders at workplaces in the People's Republic of China. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 6, 557-574.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. 2011. New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal Industrial Ergonomics*, 41(1), 30-42.
- Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Sgarbossa, F. 2015. Assembly line balancing with ergonomics paradigms: Two alternative methods. *IFAC PapersOnLine*, 48(3), 586-591.
- Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Persona, A., Sgarbossa, F. 2016. Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: A multiobjective model. *International Journal of Production Research*, 54(3), 824-845.
- Bautista, J., Alfaro-Pozo, R., Batalla-García, C. 2016a. Maximizing comfort in Assembly Lines with temporal, spatial and ergonomic attributes. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4), 788-799.
- Bautista, J., Batalla-García, C., Alfaro-Pozo, R. 2016b. Models for assembly line balancing by temporal, spatial and ergonomic risk attributes. *European Journal of Operational Research*, 251(3), 814-729.
- Baykasoglu, A., Tasan, S.O., Tasan, A.S., Akyol, S.D. 2017. Modeling and solving assembly line design problems by considering human factors with a real-life application. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(2), 96-115.
- Baykasoglu, A., Akyol, S. D. 2014. Ergonomic assembly line balancing. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 785-792.
- Bernard, B. P. 1997. Musculoskeletal disorders and workplace factors. A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Cincinnati, OH.
- Bureau of Labor Statistics (2009, November 24). Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work, 2008. Economic news release.
- Carnahan, B., Norman, B., Redfern, M. 2001. Incorporating Physical Demand Criteria into Assembly Line Balancing. *IIE Trans*, 33(10), 875-87.
- Chiasson, M. E., Imbeau, D., Major, J., Aubry, K., Delisle, A. 2012. Comparing The Results of Eight Methods Used to Evaluate Risk Factors Associated with Musculoskeletal Disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 478-488.
- Choi, G. 2009. A goal programming mixed-model line balancing for processing time and physical workload. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 395-400.
- David, G.C. 2005. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55, 190-199
- Deng, Q., Lin, J. 2012. Task Difficulty Balancing Analysis in Assembly Line Balancing. *Advanced Science Letters*, 5(2), 745-748.
- Di Benedetto, R. Fanti, M. 2012. An integrated tool to support engineers for WMSDs risk assessment during the assembly line balancing. *Work*, 41(Suppl. 1), 2329-2333.

- Eklund, J.A.E. 1995. Relationships between ergonomics and quality in assembly works. *Applied Ergonomics*, 26 (1), 15-20.
- Fallentin N, Viikari-Juntura E, Wærsted M, Kilbom Å. 2001. Evaluation of physical workload standards and guidelines from a Nordic perspective. *Scand J Work Environ Health*, 27, suppl 2:1-52.
- Güner, B., Hasgül, S. 2012. U-Type Assembly Line Balancing With Ergonomic Factors For Balance Stability. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 407-415.
- Hignett, S., Mc Atamney, L. 2000. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
- Kahya, E., Şahin, B.N., Daşdelen, E., Doğru, S., (2018). Ergonomik Risk Kısıtları Altında Yeni Bir Montaj Hattı Dengeleme Modeli Geliştirilmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(OS: Ergonomi2017), 49-57.
- Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H., Hezer, S., Demirel, N. 2014. An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27, 997-1007.
- Madani, D.A. and Dababneh, A. 2016. Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (1), 107-118.
- Mutlu, Ö., Özgörmüş, E. 2012. A fuzzy assembly line balancing problem with physical workload constraints. *International Journal of Production Research*, 50(18), 5281-5291.
- Nunes, I. L. 2009. FAST ERGO_X - a tool for ergonomic auditing and work-related musculoskeletal disorders prevention. *Work: A Journal of Prevention, Assessment, & Rehabilitation*, 34, 133-148.
- Otto, A., Battaia, O. 2017. Reducing physical ergonomic risks at assembly lines by line balancing and job rotation: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 111(Suppl. C): 467-480.
- Otto, A., Scholl, A. 2011. Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212, 277-285.
- Polat, O., Mutlu, Ö., Özgormus, E. 2018. A Mathematical Model For Assembly Line Balancing Problem Type 2 Under Ergonomic Workload Constraint. *The Ergonomics Open Journal*, 11, 1-10.
- Pulkurte, R., Masilamani, R., Sonpatki, S., Dhake, R. 2014. Cycle time reduction in assembly line through layout improvement, ergonomics analysis and lean principles. *International Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(2), 455-463.
- Pullopdisakul, S., Ekpanyaskul, C., Taptagaporn, S., Bundhukul, A., Thepchatri, A. 2013. Upper extremities musculoskeletal disorders: Prevalence and associated ergonomic factors in an electronic assembly factory. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 26, 751-761.
- Rajabalipour Cheshmehgaz, H., Haron, H., Kazemipour, F., Desa, M.I. 2012. Accumulated risk of body postures in assembly line balancing problem and modeling through a multi-criteria fuzzy-genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 63(2), 503-512.
- Santé Canada, 2002. Economic Burden of Illness in Canada 1998. Health Canada, Ottawa, ON. <http://www.phac-aspc.gc.ca/ebic-femc/index-eng.php>
- Scholl, A., Klein, R. 1997. SALOME: A bidirectional branch and bound procedure for assembly line balancing. *INFORMS Journal on Computing*, 9, 319-334.
- Scholl, A., Klein, R. 1999. Balancing assembly lines effectively - a computational comparison. *European Journal of Operational Research*, 114, 50-58.
- Schneider, E., Irastorza, X. 2010. European Risk Observatory Report. OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
- Şahin, B.N., Kahya, E. (2018). Hedef Programlama Modeli İle Ergonomik Kısıtlar Altında Montaj Hattı Dengelemesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(OS: Ergonomi2017), 188 - 196
- Tiacci, L., Mimmi, M. 2018. Integrating ergonomic risks evaluation through OCRA index and balancing/sequencing decisions for mixed model stochastic asynchronous assembly lines. *Omega*, 78, 112-138.
- Yeow, P.H.P., Nath Sen, R. 2006. Productivity and quality improvements, revenue increment, and rejection cost reduction in the manual component insertion lines through the application of ergonomics. *International Journal Industrial Ergonomics*, 36(4), 367-377.

Xu, Z., Ko, J., Cochran, D. J., Jung, M. 2012. Design of assembly lines with the concurrent consideration of productivity and upper extremity musculoskeletal disorders using linear models. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 431–441.

WHO Scientific Group, 2003. *The Burden of Musculoskeletal Conditions at the Start of the New Millennium*. World Health Organization, Geneva.



A COOPERATIVE GAME THEORETICAL MODEL IN TEMPORARY HOUSING FOR POST-DISASTER SITUATIONS

Pınar USTA^{1*}, Serap ERGÜN², Sırma Zeynep ALPARSLAN GÖK³

¹ Department of Civil Engineering, Isparta University of Applied Sciences, Turkey

² Department of Software Engineering, Isparta University of Applied Sciences, Turkey

³ Department of Mathematics, Suleyman Demirel University, Turkey

Keywords

*Temporary Housing,
Earthquake,
Cooperative Game Theory,
Uncertainty,
Interval Solutions.*

Abstract

Turkey is among the countries that are especially vulnerable to natural disasters. Throughout history, many disasters have occurred in the geography where Turkey is located. Turkey is known that a country that is connects the continents and cultures. It is provide also interactions between several tectonic plates that including the Eurasian, African, and Arabian plates through the Anatolian plate. Interactions among the plates compose active seismic region that encompasses most of Turkey. As a result of this high seismicity region, earthquake has been significant natural disaster for Turkey. Numerous buildings collapse and have damage after the severe earthquakes and the victims need to shelter to provide their needs. In this process, temporary housing is using to solve this shelter needs hence temporary housing needing urgent attention. But there is a problem about number of temporary housing demand because it is not possible to say a certain number about temporary housing needed. In this study, game theory is used to solve this problem. Our study shows that cooperative interval game theory help us to define a fair cost allocation between private organizations for supporting the housing problem by using facility location games under uncertainty.

AFET SONRASI GEÇİCİ KONUTLAR İÇİN BİR KOOPERATİF OYUN TEORİSİ MODELİ

Anahtar Kelimeler

*Geçici Konut,
Deprem,
Kooperatif Oyun Teorisi,
Belirsizlik,
Aralıklı Çözümler.*

Öz

Türkiye, özellikle doğal afetlere karşı savunmasız olan ülkeler arasındadır. Tarih boyunca, Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada birçok felaket meydana gelmiştir. Türkiye, kıtaları ve kültürleri birbirine bağlayan bir ülke olduğu biliniyor. Anadolu levhası üzerinden Avrasya, Afrika ve Arap levhalarını da içeren birçok tektonik levha arasında etkileşimler sağlar. Plakalar arasındaki etkileşimler, Türkiye'nin çoğunu kapsayan aktif sismik bölgeyi oluşturmaktadır. Bu yüksek deprem bölgelerinin bir sonucu olarak, Türkiye için deprem önemli bir doğal afet olmuştur. Çok sayıda bina, şiddetli depremlerin ardından çökmekte ve zarar görmektedir ve mağdurların ihtiyaçlarını karşılamak için barınmaları gerekmektedir. Bu süreçte geçici barınak, bu barınak ihtiyacını çözmek için kullanıyor, bu nedenle geçici dikkat gerektiren geçici konutlar. Ancak geçici konut talebinin sayısı konusunda bir sorun var çünkü ihtiyaç duyulan geçici konutlar hakkında belirli bir rakam söylemek mümkün değil. Bu çalışmada, bu problemi çözmek için oyun teorisi kullanılmıştır. Çalışmamız, kooperatif aralıklı oyun teorisinin belirsizlik altında tesis yeri oyunlarını kullanarak konut sorununu desteklemek için özel kuruluşlar arasında adil bir maliyet tahsisi tanımlamamıza yardımcı olduğunu göstermektedir.

Alıntı / Cite

Usta, P., Ergün, S., Alparslan Gök, Z. S., (2019). A Cooperative Game Theoretical Model In Temporary Housing for Post-Disaster Situations, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 779-786.

* İlgili yazar / Corresponding author: pinarusta@sdu.edu.tr, +90-246-211-1455

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
P. Usta, 0000-0001-9809-3855	Başvuru Tarihi / Submission Date	31.08.2018
S. Ergün, 0000-0003-2504-5101	Revizyon Tarihi / Revision Date	10.04.2019
S. Z. Alparslan Gök, 0000-0001-9435-0527	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.05.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Turkey faces frequent disasters due to its geological and topographical characteristics. Turkey is not a country facing with tornados or hurricanes. But, the most effective disasters in Turkey according to their severity rates are; earthquakes, landslides, floods, rocks fall, fires, avalanche, storm and rising of ground water, etc. According to these, the most devastating disaster is earthquakes for Turkey. The other disaster types are usually small-scaled, with relatively little or no death toll. Earthquakes are the most feared type of disaster in Turkey, as many lives are often lost (Limoncu and Celebioglu, 2006; Güneş, 2015). Turkey is located on one of the most active several tectonic plates called Alpine–Himalayan earthquake belt. This plate is still active, and many earthquakes occur each month (Erdogan et al, 2009).

Based on available resources and records, all natural disasters occurred in Turkey since the beginning of the 20th century resulted in 87.000 casualties, 210.000 injuries, and 651.000 heavily damaged or destroyed homes. Earthquakes were responsible for 76% of the damaged or destroyed homes, followed far behind by landslides (10%) and floods (9%) (Güneş, 2015). For example, the city of Izmir, lying in the first seismic zone of Turkey, is located in a seismically very active region in Western part of the Anatolian plate. Unexpected major earthquakes can occur frequently in this region and lead to severe damages on buildings (Tuna and Altun, 2014; Moberg, 2015). There have been many earthquakes with magnitude Ms C 4.9 that occurred between 1900 and 2005 near Izmir.

Seismic zones map of Turkey and Izmir city is shown in Figure 1.

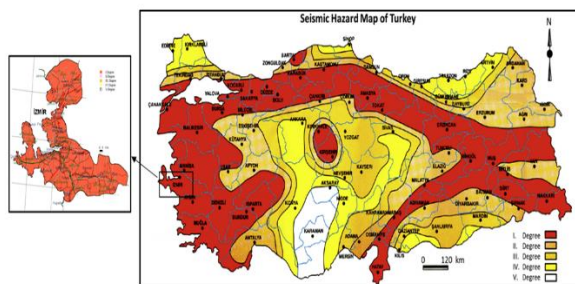


Figure 1. Seismic zones map of Turkey and Izmir city (Unal, 2015).

There are five different earthquake zones in Turkey. Figure 1 shows them ordered according to degrees, with the first being the most dangerous and the fifth the least dangerous. According to the literature; 44

percent of Turkey's population lives in the first-degree zones (Kilci, et al., 2015).

Post-disaster housing recovery is quite important in the long-term reconstruction of communities affected by catastrophes. But, there is lack of a systematic framework for measuring post-disaster housing recovery (Chang, 2010; Ganapati, 2013).

There are four stages of sheltering and housing respectively; “emergency sheltering” (housing disaster victims temporarily, such as in stadiums and schools); “temporary sheltering” (e.g., tents); “temporary housing” (e.g., trailers); and “permanent housing” (new housing units built for disaster victims). We focus exclusively on permanent housing in the disaster recovery phase. Several of these stages may exist simultaneously in a disaster-stricken society (Ganapati, 2008).

According to the Quarantelli housing and sheltering should be considered separately. Sheltering involves normal daily activities, whereas housing involves the resumption of household responsibilities and activities like food preparation, laundry, socializing, work, school and recreation (Johnson, 2002).

Questions about temporary housing after disasters are still an extensive issue and debate in the scientific field. The number of natural disasters has increased dramatically in recent years, having a significant impact on the built environment. Many buildings collapse or have suffer damages after disasters and these situations causing high numbers of homeless people. After a disaster the needs for housing should have a quick response since temporary housing in helping affected communities to re-establish their normal life activities in a post-disaster situation. Hence, temporary housing would be immediately available after a disaster, offering a level of comfort consistent with the prevailing standard of living, at a cost proportional to intended length of use and easily eradicated or transformed once it is no longer needed (Johnson, 2007; Félix et al., 2013).

Temporary accommodation refers to disaster-affected families' interim lodging between the onset of the disaster and the period when they regain permanent housing. It fills the gap between the immediate relief stage and the later reconstruction stage. As a result, this is a significant stage in the disaster recovery process that is mostly overlooked by governments, for NGOs and aid organizations (Johnson, 2002; Chalinder, 1998).

Especially, five types of temporary accommodation (prefabricated temporary houses, wooden temporary houses, paper temporary houses, winterized tents, and self-built shelters) are utilized after the disaster.

In this paper, cooperative interval games are used to solve the temporary accommodation problem quickly and economically after the earthquake. The paper is having great importance in terms of disaster preparedness to avoid post disaster housing problem for Turkey and for other countries having a possibility to face with disaster like earthquake and etc. This research has a great importance to provide a solution to the post-earthquake housing problem.

Cooperative interval games and interval solution concepts are useful tools for modeling various management, engineering and Operational Research situations, where payoffs are affected with uncertainty. In different situations, decisions regarding whether (or not) to cooperate within the grand coalition rely on estimations of individual benefits/costs, between two bounds.

Cooperation between different responding entities is a critical element of effective intervention operations. Making a reasonable price decision is a significant problem for real estate companies and governments (Johnson, 2002).

Interval solutions for cooperative games reflect uncertainty about the payoff allocations in situations, where there is no uncertainty in the worth of coalitions. If there are some uncertainties about the payoff allocation then we cannot just assign a specific payoff to every player. Therefore, in this paper we propose some interval solutions for cooperative games. This uncertainty can have several reasons like number of temporary housing demand. Because it is not possible to say a certain number about temporary housing needed.

This paper is organized as follows is organized as follows: We give some basic notions and solution concepts from Cooperative Game Theory in Section 2. Our cooperative facility location game based on cooperative interval game model constructed after an earthquake as a natural disaster is presented in Section 3. In Section 4, we give some interpretations related with our solutions. Finally, Section 5 ends this paper with a conclusion and an outlook to future studies.

2. Preliminaries

In this section, in order to provide the readers with all the necessary background to follow this paper, we formally give some basics from cooperative interval games and related interval solution concepts. Facility location situations which is necessary to construct our model is also given .

2.1. Cooperative Interval Games

A *cooperative game* in characteristic function form is an ordered pair (N, c) where N is a finite set of players and c is a characteristic function $c: 2^N \rightarrow \mathbb{R}_+$ that associates to each set $S \subset N$ a real value $c(S)$ satisfying $c(\emptyset) = 0$. This value $c(S)$ shows the joint gain which the players in S can guarantee by themselves if they cooperate independently of what the agents in $N \setminus S$ could do. Hence, $c(S)$ measures the worth of a coalition S . The family of all cooperative games are denoted by G^N (Tijs, 2003).

The payoffs to coalitions of players are known with uncertainty in cooperative interval game theory. A *cooperative interval game* (Alparslan Gök, 2009) is an ordered pair $\langle N, c \rangle$, where $N = \{1, 2, \dots, n\}$ is the set of players, and $c: 2^N \rightarrow I(\mathbb{R})$ is the characteristic function such that $c(\emptyset) = [0, 0]$, where $I(\mathbb{R})$ is the set of all nonempty, compact intervals in \mathbb{R} . For each $S \in 2^N$, the worth set $c(S)$ of the coalition S in the interval game $\langle N, c \rangle$ is of the form $[\underline{c}(S), \bar{c}(S)]$. The family of all interval games with player set N is denoted by IG^N . Similarly, we identify an interval game $\langle N, c \rangle$ with its characteristic function c .

Let $A, B \in I(\mathbb{R})$ with $A = [\underline{A}, \bar{A}]$, $B = [\underline{B}, \bar{B}]$, $|A| = \bar{A} - \underline{A}$ and $\alpha \in \mathbb{R}_+$. Therefore, we can say that $A + B = [\underline{A}, \bar{A}] + [\underline{B}, \bar{B}] = [\underline{A} + \underline{B}, \bar{A} + \bar{B}]$ and $\alpha A = \alpha[\underline{A}, \bar{A}] = [\alpha \underline{A}, \alpha \bar{A}]$.

We also need to show the using of partial subtraction operator. $A - B$ can be defined, only if $|A| \geq |B|$, by $A - B := [\underline{A}, \bar{A}] - [\underline{B}, \bar{B}] = [\underline{A} - \underline{B}, \bar{A} - \bar{B}]$.

A game $\langle N, c \rangle$ is called *size monotonic* if $\langle N, |c| \rangle$ is *monotonic*, i.e., $|c|(S) \leq |c|(Z)$ for all $S, Z \in 2^N$ with $S \subset Z$. For further use, the class of size monotonic interval games with player set N is denoted by $SMIG^N$.

2.2. Interval Solutions

Now, let us introduce the definition of the interval solution which are necessary in this study.

2.2.1. Interval Shapley value

Let $\pi(N)$ be the set of all permutations $\sigma : N \rightarrow N$. The set $P^\sigma(i) = \{r \in N \mid \sigma^{-1}(r) < \sigma^{-1}(i)\}$ consists of all predecessors of i with respect to the permutation σ . Let $c \in G^N$ and $\sigma \in \pi(N)$. The *marginal vector* $m^\sigma(c) \in \mathbb{R}^n$ with respect to σ and v has as i -th coordinate $m_i^\sigma(c) = c(P^\sigma(i) \cup \{i\}) - c(P^\sigma(i))$ for each $i \in N$.

Given a game (N, c) the *marginal contribution* $m^\sigma(c)$ of player i to coalition S ($i \notin S$) is given by $c(S \cup i) - c(S)$.

For $\sigma_1 = (1, 2, 3)$ we calculate the marginal vectors of

Example 2.1 are as follows:

$$\begin{aligned} m_1^{\sigma^1}(c) &= c(\{1\}) = [5,7], \\ m_2^{\sigma^1}(c) &= c(\{1,2\}) - c(\{1\}) = [2,3], \\ m_3^{\sigma^1}(c) &= c(\{1,2,3\}) - c(\{1,2\}) = [3,3]. \end{aligned}$$

The other marginal vectors can be calculated similarly. Based on this concept, for $c \in SMIG^N$ the *interval Shapley value* $\Phi(c)$ of a game $c \in I(\mathbb{R})^N$ is defined (Alparslan Gök, 2014). For each player the interval Shapley value is the average of each player's possible marginal contributions. The mathematical expression of the Shapley value is the following:

$$\Phi(c) := \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in \pi(N)} m^\sigma(c) \tag{2}$$

The interval Shapley value assigns a payoff vector to each cooperative interval game. It should not be forgotten that the Shapley value is defined and axiomatically characterized for arbitrary cooperative games but the interval Shapley values is defined only for a subclass of cooperative interval games called size monotonic games, and it is axiomatically characterized only on a strict subset of size monotonic games (Alparslan Gök, 2014; Shapley, 1953).

2.2.2. The interval Banzhaf value

The Banzhaf value arises from the subjective belief that each player is equally likely to join any coalition. On the other hand, the Shapley value arises from the belief that for every player, the coalition he joins is equally likely to be of any size and that all coalitions of a given size are equally likely (Palancı et al, 2015).

The interval Banzhaf value $\beta: SMIG^N \rightarrow I(\mathbb{R})^N, \forall c \in SMIG^N$ is defined as

$$\beta(c) = \frac{1}{2^{|N|-1}} \sum_{i \in S} (c(S) - c(S \setminus \{i\})) \tag{3}$$

2.2.3. The interval ICIS-value

The CIS-value (Driessen and Funaki, 1991) assigns to every player its individual worth, and distributes the remainder of the worth of the grand coalition N equally among all players (Palancı et al, 2015).

The interval ICIS-value assigns every player to its individual interval worth, and distributes the remainder of the interval worth of the grand coalition N equally among all players (Palancı et al, 2015). The ICIS-values is defined by

$$ICIS_i(c) = c(\{i\}) + \frac{1}{|N|} (c(N) - \sum_{j \in N} c(\{j\})) \tag{4}$$

2.2.4. The interval ENSC-value

The interval ENSC-value (IENSC-value) assigns to every game c the ICIS-value of its dual game, i.e.

$$IENSC_i(c) = ICIS_i(c^*) = \frac{1}{|N|} (c(N) + \sum_{j \in N} c(N \setminus \{j\}) - c(N \setminus \{i\})) \tag{5}$$

The IENSC-value assigns to every player in a game its interval marginal contribution to the "grand coalition" and distributes the remainder equally among the players (Palancı et al, 2015; van den Brink and Funaki, 2009).

2.2.5. The interval IED-solution

The interval ED-solution (IED-solution) is given by

$$IED_i(c) = \frac{c(N)}{|N|} \text{ for all } i \in N \tag{6}$$

(Palancı et al, 2015; van den Brink and Funaki, 2009).

2.3. Facility Location Situations

A given cost for constructing a facility is existed in *facility location situations*. A player is expected to connect to this facility with a minimum the total cost. There are two cases in these kind of situations. The first one is the case of public facilities (such as hospitals, fire stations, etc.) and the second one is the case of private facilities (such as distribution centers, some stations, etc.) (Palancı and Alparslan Gök, 2017).

Each facility is constructed to please the players in a facility location situation, Here, the problem is to minimize the total cost. This cost is composed of both the player distance and the construction of each facility. A facility location game is constructed from a facility location situation.

In a *facility location game*, a set A of agents (knowns as cities), a set F of facilities, a facility opening cost f_i for every facility $i \in F$, and a distance d_{ij} between every pair (i, j) of points in $A \cup F$ indicating the cost of connecting j to i are given. It is assumed that the distances come from a metric space (they are symmetric and obey the triangle inequality). For a set $S \subseteq A$ of agents, the cost of this set is defined as the minimum cost of opening a set of facilities and connecting every agent in S to an open facility. The cost of each coalition for the game c is defined by

$$c(S) = \min_{F^* \subseteq F} \{ \sum_{i \in F^*} f_i + \sum_{j \in S} \min_{i \in F^*} d_{ij} \} \tag{7}$$

Now, we give an example of a facility location game.

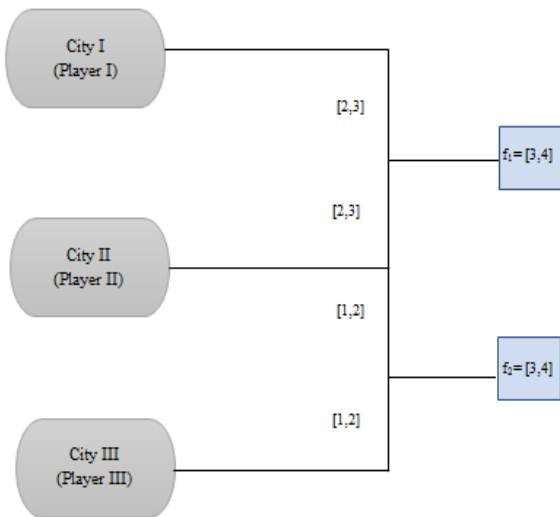


Figure 2. An example of a facility location game.

Example 2.3., Figure 2 shows a facility location game with 3 cities {City 1 (Player 1), City 2 (Player 2), City 3 (Player 3)} in Turkey and 2 hospitals {f1, f2}. The costs of each coalitions are calculated by using (1) as follows:

$$\begin{aligned}
 c(\{1\}) &= [5, 7]; & c(\{2\}) &= [4, 6]; & c(\{3\}) &= [4, 6]; \\
 c(\{1,2\}) &= [7, 10]; & c(\{2,3\}) &= [5, 8]; & c(\{1,3\}) &= [9, 15]; \\
 c(\{1,2,3\}) &= [10, 17].
 \end{aligned}$$

The gathered cost can be shared out to the different purchasers in a equitable way for cost allocation problems. For example, provinces would pay for the building of libraries or sports, but they do not desire to pay more than their fair share of the gathered cost, whatever that means. Justice means that no group of customers, or coalitions, has any encouraging to disunify and acquire the service on their own, in applications of cooperative game theory (Mallozzi, 2011; Goemans and Skutella 2004).

A facility location game has two aims: the first one is to define a applicable position for the facility according to some given facility location rule; the second one deals instead with the problem of how to deal out the total cost among the members of the coalition, where the dispersion of total cost is worked with cooperative game theoretic solution concepts, such as interval solutions.

3. Case Study: Tent City Development After The Earthquake In İzmir

After the severe Earthquake, a huge emergency sheltering and temporary sheltering demand occurred, since the effects are very huge. So, the need for housing after the disaster was very large, which could be said that thousands of dwellings were needed urgently. In this period Turkish government began to evaluate the rehabilitation of the districts and to build post disaster housing (permanent housing). However,

it was clear that all the needs could not be met in a single region, so the government firstly started to study on finding suitable districts for building post-disaster housing settlements. It took some time to solve all these problems (Ozden, 2005).

Our case study is based on a possible facility location after an earthquake in İzmir, Turkey. Consider that there is an earthquake in İzmir and after the earthquake, nearly 14000 tents are distributed. Three tent cities are established in Aydın, Uşak and Balıkesir which are near İzmir. There are nearly 8000 tents in the hands of the Kızılay that is the beneficiary of Turkey. The distribution of the approximately remaining 6000 tents is undertaken by one local and one foreign company. The cost of bringing services to the people living in the tent cities belongs to these companies.

Almost 50 percent of the 6000 tents are built in Aydın, almost 35 percent of the 6000 tents are built in Uşak, and the approximately rest of the tents are built in Balıkesir. Three kinds of tent types are distributed (Table 1). In Aydın, one tent is between 500 and 700 Turkish Liras (TL) and is for 8 or 10 persons. In Uşak, one tent is between 850 and 1050 TL and is for 15 or 17 persons. In Balıkesir, one tent is between 650 and 850 TL and is for 10 or 12 persons.

Table 1. The costs of building tent cities and some properties.

Tent city no	Tent city name	Property of tent	Number of tents established by companies	Total
1	Aydın	1 tent=[500,700] TL and for [8,10] persons	[3000,3200] (by local company)	[1500000,2240000] TL for [24000,32000] persons
2	Uşak	1 tent=[850,1050] TL and for [15,17] persons	[500,700] (by local company) [1600,1800] (by foreign company)	[6375000,12495000] TL for [7500,11900] persons (by local company) [20400000,32130000] TL for [24000,30600] persons (by foreign company)
3	Balıkesir	1 tent=[650,850] TL and for [10,12] persons	[900,1100] (by foreign company)	[585000,935000] TL for [9000,13200] persons

Additionally, the bringing services for facility location problems must be given, too. In our case study, the service cost per person is between 50 and 70 TL. In Table 2, the costs of bringing services of companies are given.

Table 2. The costs of bringing services of companies

Tent city no	Tent city name	The costs of bringing services of local company	The costs of bringing services of foreign company
1	Aydın	[1200000, 2240000] TL for [3000,3200] tents	-
2	Uşak	[375000,833000] TL for [500,700] tents	[1200000,2142000] TL for [1600,1800] tents
3	Balıkesir	-	[450000,924000] TL for [900,1100] tents

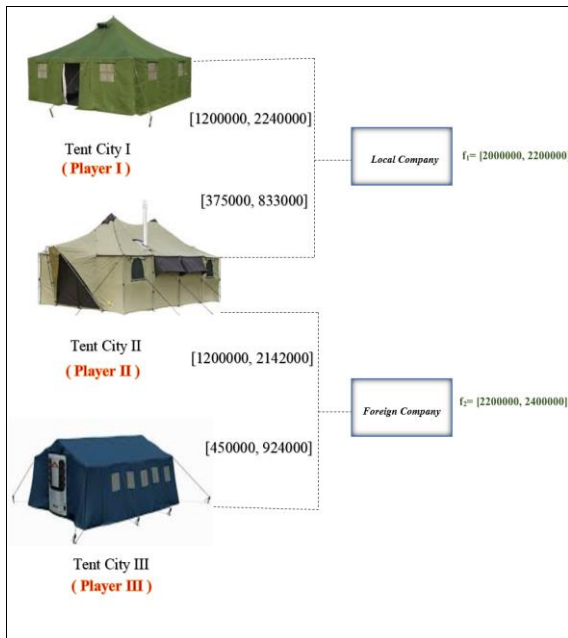


Figure 3. The illustration of our case study

Figure 3 shows a facility location game with 3 cities (Aydın (Player 1), Uşak (Player 2), Balıkesir (Player 3) in Turkey and 2 companies. The costs for each coalition are calculated by using (1) as follows:

$$\begin{aligned}
 c(\{1\}) &= [3200000, 4440000], \\
 c(\{2\}) &= [2375000, 3033000], \\
 c(\{3\}) &= [2650000, 3324000], \\
 c(\{1,2\}) &= [3575000, 5273000], \\
 c(\{1,3\}) &= [5850000, 7764000], \\
 c(\{2,3\}) &= [3850000, 5466000], \\
 c(\{1,2,3\}) &= [6225000, 8597000].
 \end{aligned}$$

Table 3 shows the marginal vectors of our model, where $\sigma: N \rightarrow N$ consists of three components with the order $(\sigma(1), \sigma(2), \sigma(3))$.

Table 3. The marginal vectors of our model.

σ	$m_1^\sigma(c)$	$m_2^\sigma(c)$	$m_3^\sigma(c)$
$\sigma_1 = (1,2,3)$	[3200000,4440000]	[375000,833000]	[2650000,3324000]
$\sigma_1 = (1,3,2)$	[3200000,4440000]	[375000,833000]	[2650000,7320000]
$\sigma_1 = (2,1,3)$	[1200000,2240000]	[2375000,3033000]	[2650000,3324000]
$\sigma_1 = (2,3,1)$	[2375000,3131000]	[2375000,3033000]	[1475000,2433000]
$\sigma_1 = (3,1,2)$	[3200000,4440000]	[375000,833000]	[2650000,3324000]
$\sigma_1 = (3,2,1)$	[2375000,2298000]	[1200,2142000]	[2650000,3324000]

The average of the six marginal vectors is the interval Shapley value of this game which can be calculated as:

$$\begin{aligned}
 \Phi(c) &= ([2591666.67, 3498166.67], \\
 & [1179166.67, 1784500], \\
 & [2454166.67, 3841500]).
 \end{aligned}$$

Now, Let us look at how the interval Banzhaf value for this game. For player 1 we have:

$$\begin{aligned}
 \beta_1(c) &= \frac{1}{2^2} \sum_{1 \in S} (c(S) - c(S \setminus \{1\})) \\
 &= \frac{1}{4} (c(\{1\}) + c(\{1,2\}) + c(\{1,2,3\}) + c(\{1,3\}) - \\
 & c(\{2\}) - c(\{3\}) - c(\{2,3\})) \\
 &= [2493750, 3562750].
 \end{aligned}$$

The interval Banzhaf values of other players can be examined similarly as follows:

$$\begin{aligned}
 \beta_2(c) &= [1081250, 1710250], \beta_3(c) \\
 &= [2356250, 3101250].
 \end{aligned}$$

At that rate, the interval Banzhaf value is

$$\begin{aligned}
 \beta(c) &= ([2493750, 3562750], \\
 & [1081250, 1710250], \\
 & [2356250, 3101250]).
 \end{aligned}$$

Now, we want to calculate *ICIS*-value, *IENSC*-value and *IED*-solution. We calculate the *ICIS*-value of our game as follows:

$$\begin{aligned}
 ICIS_1(c) &= c(\{1\}) + \frac{1}{3} (c(\{1,2,3\}) - (c(\{1\}) + c(\{2\}) \\
 & + c(\{3\}))) \\
 &= [2533330, 3720000],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ICIS_2(c) &= c(\{2\}) + \frac{1}{3} (c(\{1,2,3\}) - (c(\{1\}) + c(\{2\}) \\
 & + c(\{3\}))) \\
 &= [1708330, 2313000],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ICIS_3(c) &= c(\{3\}) + \frac{1}{3} (c(\{1,2,3\}) - (c(\{1\}) + c(\{2\}) \\
 & + c(\{3\}))) \\
 &= [1983330, 2604000].
 \end{aligned}$$

Then, the *ICIS*-value is obtained by

$$\begin{aligned}
 ICIS(c) &= ([2533330, 3720000], [1708330, 2313000], \\
 & [1983330, 2604000]).
 \end{aligned}$$

We calculate the *IENSC*-value of our game as follows:

$$\begin{aligned}
 IENSC_1(c) &= -c(\{2,3\}) \\
 & + \frac{1}{3} (c(\{1,2,3\}) + c(\{2,3\}) + c(\{1,3\}) \\
 & + c(\{1,2\})) \\
 &= [966666.6, 985333.3],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IENSC_2(c) &= -c(\{1,3\}) \\
 & + \frac{1}{3} (c(\{1,2,3\}) + c(\{2,3\}) + c(\{1,3\}) \\
 & + c(\{1,2\})) \\
 &= [-1033333.4, -1312666.67],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IENSC_3(c) &= -c(\{1,2\}) \\
 &\quad + \frac{1}{3}(c(\{1,2,3\}) + c(\{2,3\}) + (\{1,3\}) \\
 &\quad + (\{1,2\})) \\
 &= [1241666.6, 1178333.3].
 \end{aligned}$$

Then, the *IENSC*-value is obtained by

$$IENSC(c) = \left(\begin{array}{c} [966666.6, 985333.3], \\ [-1033333.4, -1312666.67], \\ [1241666.6, 1178333.3] \end{array} \right).$$

Finally, we calculate the *IED*-solution of our game as follows:

$$IED_1(c) = IED_2(c) = IED_3(c) = \frac{c(\{1,2,3\})}{3} = [2075000, 2865666.66].$$

Table 4 illustrates the results of this application.

Table 4. The interval solutions of our model

Interval Solutions	Player 1	Player 2	Player 3
Interval Shapley value	[2591666.67, 3498166.67]	[1179166.67, 1784500]	[2454166.67, 3841500]
Interval Banzhaf value	[2493750, 3562750]	[1081250, 1710250]	[2356250, 3101250]
ICIS-value	[2533330, 3720000]	[1708330, 2313000]	[1983330, 2604000]
<i>IENSC</i> -value	[966666.6, 985333.3]	[-1033333.4, -1312666.67]	[1241666.6, 1178333.3]
<i>IED</i> -solution	[2075000, 2865666.66]	[2075000, 2865666.66]	[2075000, 2865666.66]

These values can be used in different application areas such as Operational Research, economic and management situations.

4. Conclusion And Outlook

Research for efficiently planning and responding to natural disasters is of vital interest due to devastating effects and losses caused by their occurrence, including facility deficiency, lack of services related to disasters, building damage.

Some uncertainties are occurred in facility location situations because of several limitations. Moreover, data may not be available or may not be easy to communicate in large-scale if emergencies in casualty. The basic aim of Cooperative Interval Game Theory is to study ways to enforce and sustain cooperation between players to cooperate under uncertainty. The most important question in this area is how the total cost can be allocated among players in a fair way.

This paper has presented for a novel facility location planning after natural or societal disasters, responding to the urgent housing problem of the affected areas. In this study, we handle a housing problem after the earthquake in İzmir. Based on the case study, we construct the cooperative facility location game between three cities that the tent cities

are built in and we give some interval solution concepts such as interval Shapley value, interval Banzhaf value, *ICSI*-value, *IENSCI*-value, *IED*-value.

We believe that the response phase of post-earthquake relief has been researched most extensively, and future research could be directed toward to other phases of disaster management such as mitigation, preparedness, recovery, housing and health problems.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

Limoncu, S., & Celebioglu, B. (2006). Post-disaster sustainable housing system in Turkey. In I-Rec 2006 International Conference on Post-Disaster Reconstruction: 'Meeting Stakeholder Interests

Güneş, O. (2015). Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials*, 2, 18-34.

Erdogan E., Dilaver Z. and Benzer N., Sustainable building design in Duzce case with reference to earthquake resistant building design, *African Journal of Agricultural Research* Vol. 4 (10), pp.982-990, October, 2009.

Tuna, S.C and Altun, S, (2014). Simulation of Ground Motions for the City of Izmir, 15 WCEE, Lisboa, 2012.

Moberg K, Seismic Hazard of the Izmir Region, Turkey, Based on a Probabilistic Seismic Hazard Assessment and Stochastic Ground Motion Simulations, Master of Science Thesis, Department of Earth Science University of Bergen, 2015.

Unal, S., Celebioglu, S., and Ozmen, B. (2014). Seismic hazard assessment of Turkey by statistical approaches. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23(3), 350-360.

Kılçı, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 323-332.

Chang SE (2010) Urban disaster recovery: a measurement framework and its application to the 1995 Kobe earthquake. *Disasters* 34:303-327

Ganapati, N. E. (2013). Measuring the processes and outcomes of post-disaster housing recovery: Lessons from Golcuk, Turkey. *Natural hazards*, 65(3), 1783-1799.

- Ganapati, N. E., & Ganapati, S. (2008). Enabling participatory planning after disasters: A case study of the World Bank's housing reconstruction in Turkey. *Journal of the American Planning Association*, 75(1), 41-59.
- Johnson, C. (2002, May). What's the big deal about temporary housing? Planning considerations for temporary accommodation after disasters: Example of the 1999 Turkish earthquakes. In 2002 TIEMS disaster management conference. Waterloo.
- Johnson, C. (2007). Impacts of prefabricated temporary housing after disasters: 1999 earthquakes in Turkey. *Habitat International*, 31(1), 36-52.
- Félix, D., Branco, J. M., & Feio, A. (2013). Temporary housing after disasters: A state of the art survey. *Habitat International*, 40, 136-141.
- Chalinder, Andrew. (1998). *Temporary Human Settlement Planning for Displaced Populations in Emergencies*. Good Practice Review. London: Overseas Development Institute.
- Tijs, S. H. (2003). *Introduction to game theory*. SIAM Hindustan Book Agency, India.
- Alparslan Gök S.Z., Branzei R., Tijs S., (2009). Convex interval games. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*, Vol. 2009, Article ID 342089, 14 pages, DOI: 10.1115/2009/342089.
- Alparslan Gök, S. Z. (2014). On the interval Shapley value. *Optimization*, 63(5), 747-755.
- Shapley, L. S. (1953). Stochastic games. *Proceedings of the national academy of sciences*, 39(10), 1095-1100.
- Palancı, O., Alparslan Gök, S. Z., & Weber, G. W. (2015). An axiomatization of the interval Shapley value and on some interval solution concepts. *Contributions to Game Theory and Management*, 8(0), 243-251.
- van den Brink R., Funaki Y., (2009). Axiomatizations of a Class of Equal Surplus Sharing Solutions for TU-Games. *Theory and Decision*, 67(3), 303-340.
- Palancı, O., & Alparslan Gök, S. Z. (2017). Facility Location Situations and Related Games in Cooperation. In *Spatial Interaction Models* (pp. 247-260). Springer, Cham.
- Mallozzi, L. (2011). Cooperative games in facility location situations with regional fixed costs. *Optimization Letters*, 5(1), 173-181.
- Goemans, M. X., & Skutella, M. (2004). Cooperative facility location games. *Journal of Algorithms*, 50(2), 194-214.
- Özden, A. T. (2005). Evaluation and comparison of post-disaster housing in Turkey; lessons from Ikitelli and Senirkent. In *Conference Proceedings* (pp. 561-571).



KENTİÇİ KARAYOLU AĞLARINDA IŞIK SÜRELERİ DİKKATE ALINARAK YEDEK KAPASİTENİN ENİYİLENMESİ

Özgür BAŞKAN^{1*}, Cenk OZAN², Hüseyin CEYLAN¹

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

² Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yedek Kapasite, Kentİçi Karayolu Ağları, Işıklı Kavşaklar, İki-Seviyeli Programlama, Armoni Araştırması.</i>	Kentlerdeki trafik sıkışıklığı ekonomik, sosyal ve çevresel problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin önüne geçmek isteyen yerel yönetimler, yol genişletmesi, şerit ilavesi ve kavşak yenileme çalışmaları gibi pahalı yatırımlar yaparak ulaşım talebini karşılamaya çalışmaktadır. Ancak bilindiği gibi kentİçi ulaşım ağlarında uygun ışık sürelerinin belirlenmesi ile yedek kapasite yaratılabilmektedir. Bu kapasitenin kullanılması neticesinde trafik sıkışıklığı ve beraberinde getirdiği olumsuz etkiler azaltılabilmektedir. Bu çalışmada kentİçi ulaşım ağlarındaki yedek kapasitenin enbüyüklenmesi probleminin çözümü için iki seviyeli bir model geliştirilmiştir. Üst seviyede Başlangıç-Variş (B-V) seyahat matrisi çarpanı enbüyüklenirken, alt seviyede trafik ataması problemi çözülmektedir. Geliştirilen modelin Allsop & Charlesworth test ağına uygulanması neticesinde yol ağındaki bağların kapasiteleri aşılmadan B-V seyahat matrisinin yaklaşık %16 artırılabilceği belirlenmiştir.

OPTIMIZATION OF RESERVE CAPACITY IN URBAN ROAD NETWORKS BASED ON TRAFFIC SIGNAL TIMINGS

Keywords	Abstract
<i>Reserve Capacity, Urban Road Networks, Signalized Intersections, Bi-level Programming, Harmony Search.</i>	Traffic congestion in cities brings economic, social and environmental problems. Local governments seeking to overcome these problems are trying to meet transportation demand by making expensive investments such as road extension, lane addition and intersection renewal. However, as is known, reserve capacity can be created by determining the appropriate signal timings in urban transportation networks. By using this capacity, traffic congestion and its negative effects can be reduced. In this study, a bi-level model is developed for solving the problem of the reserve capacity maximization in urban road networks. At the upper level, the Origin-Destination (O-D) demand multiplier is maximized and the traffic assignment problem is solved at the lower level. Applying the model to the Allsop & Charlesworth's test network, it has been found that the O-D matrix can be increased by about 16% without exceeding the capacities of the links in the road network.

Alıntı / Cite

Başkan, Ö., Ozan, C., Ceylan, H., (2019). Kentİçi Karayolu Ağlarında Işık Süreleri Dikkate Alınarak Yedek Kapasitenin Eniyilenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 787-795.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö. Başkan, 0000-0001-5016-8328
C. Ozan, 0000-0003-0690-6033
H. Ceylan, 0000-0002-8840-4936

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.09.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Günümüzde teknolojik ve ekonomik gelişmelere bağlı olarak gittikçe artan ulaşım talebi neticesinde özellikle kentİçi ulaşım ağlarında trafik sıkışıklığı ve buna bağlı

olarak ortaya çıkan birçok problem ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için yerel yöneticiler genellikle yeni yatırımlar ile ulaşım arzını artırarak kapasite artırımına gitme yolunu tercih etmektedirler. Ancak

* İlgili yazar / Corresponding author: obaskan@pau.edu.tr, +90-258-296-3416

kentiçi ulaşım ağlarının fiziki yapısına bağlı olarak hizmete sunulan mevcut kapasitesinin yanında bir de uygun olmayan ışık sürelerinden dolayı atıl durumda olan yedek kapasitesi bulunmaktadır. Bu nedenle yüksek maliyetli ulaşım yatırımları yapılmadan önce karayolu ulaşım ağının yedek kapasitesi belirlenmeli ve bu kapasitenin en verimli şekilde kullanılabilmesi için gerekli önlemler yerel yöneticiler tarafından alınmalıdır. Literatürde yedek kapasite eniyilenmesi problemi, ulaşım ağındaki tüm bağların akım / kapasite oranlarının 1'e eşit veya daha küçük olduğu durumu sağlayan Başlangıç-Variş (B-V) talep matrisi çarpanının maksimum değerinin belirlenmesi olarak ifade edilmektedir. Söz konusu problem konveks olmayan yapısından dolayı günümüzde hala ulaştırma alanındaki araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Yedek kapasite eniyilenmesi konusundaki çalışmalar oldukça eskiye dayanmakta olup bu konudaki ilk çalışma Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmadaki yaklaşımı uygulanabilir hale getirmek için Allsop (1972) doğrusal program yaklaşımı tabanlı yeni bir metod önermiştir. Sonrasında Yagar (1985) çalışmasında Allsop (1972) tarafından geliştirilen yaklaşımı kavşaklardaki ardışık fazlarda farklı doygun akım değerlerini dikkate alabilecek şekilde iyileştirmiştir. Wong ve Yang (1997) sürücü davranışlarının deterministik kullanıcı dengesi (DKD) ataması kullanarak temsil etmişler ve ışıklı bir ulaşım ağında yedek kapasiteyi maksimum yapan ışık sürelerini bulmuşlardır. Yang vd. (2000) trafik atama ve seyahat dağılımı modellerini birleştirerek iki seviyeli programlama yaklaşımı ile yedek kapasiteyi eniyilemeye çalışmışlardır. Ziyou ve Yifan (2002) problemi gerçeğe daha yakın ifade edebilmek için her bir B-V çifti için farklı bir talep matrisi çarpanı öngörmüşler ve bu yaklaşım altında yedek kapasiteyi enbüyüklemeyi hedeflemişlerdir. Ceylan ve Bell (2004) koordine ışıklı olarak işletilen bir ulaşım ağında yedek kapasite hesabı için stokastik kullanıcı dengesi (SKD) trafik atamasını dikkate alan iki adımlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Chiou (2007) hedeflenen eğim yöntemini kullanarak test ulaşım ağında yedek kapasite eniyilemesi yapmıştır. Geliştirilen yöntemin klasik metotlardan daha iyi performans gösterdiği sayısal uygulamalar sonucunda belirlenmiştir. Yedek kapasite eniyilenmesi konusunda farklı bir çalışma olarak Chiou (2009) bir ulaşım ağındaki gecikme ve yedek kapasite değerlerinin optimum değerlerini belirlemek için bağ akımlarını zamana bağlı olarak değişken olarak dikkate almış ve geliştirdiği algoritmayı örnek bir ulaşım ağına uygulamıştır. Miandoabchi ve Farahani (2011) yedek kapasite eniyileme problemini iki seviyeli çözüm yaklaşımı kullanarak kesikli ulaşım ağı problemi bağlamında ele almış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Chiou (2014) yedek kapasite ve gecikme eniyileme problemlerini min-max problemi olarak ifade etmişler ve çözüm için tek seviyeli bir algoritma önermişlerdir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen algoritmanın denge kısıtlarını ve gecikme eniyilemesi problemini dikkate alarak yedek kapasite eniyilemesi

yapabildiğini göstermiştir. Diğer bir çalışmada Wang vd. (2015) maksimum bağ kapasite genişletmelerini ve SKD bağ akımlarını dikkate alarak yedek kapasite eniyileme problemini çözebilen bir algoritma geliştirmişlerdir. Sayısal sonuçlar geliştirilen algoritmanın söz konusu problemi çözmede başarılı olduğunu göstermektedir. Xiao vd. (2017) çalışmalarında farklı bir bakış açısıyla arazi kullanım planlarında maksimum kapasite kullanımının etkilerini ortaya koyan zon tabanlı bir model önermişlerdir. Han ve Cheng (2017) sıkışıklık fiyatlandırması uygulamasının etkinliğini belirlemek için yedek kapasite problemini dikkate alan iki seviyeli bir algoritma geliştirmişlerdir. SKD bağ akımlarının kullanıldığı algoritmanın test yol ağlarına uygulanması sonucunda sıkışıklık fiyatlandırması uygulamasının ulaşım ağı performansı üzerindeki pozitif etkisi ortaya konmuştur. Son olarak Baskan ve Ozan (2017) yedek kapasite probleminin çözümünde, ulaşım ağından elde edilen faydanın kullanıcılar arasında eşit paylaşılmasını sağlayabilmek için eşitlik kavramını probleme ceza fonksiyonu olarak dahil eden bir model önermişlerdir. Problemin çözümü için Armoni Araştırması Optimizasyon (AAO) metodu tabanlı iki seviyeli bir algoritma geliştirilmiş ve bağ akımları DKD trafik ataması kullanılarak bulunmuştur. Sayısal sonuçlar B-V matrisinin maksimum çarpanının eşitlik parametresinin değerine oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir.

Literatürden görülebileceği gibi yedek kapasite eniyileme problemi birçok çalışmada farklı açılardan dikkate alınarak çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada SKD bağ akımlarını dikkate alarak ulaşım ağındaki yedek kapasiteyi belirleyebilen bir model önerilmiştir. Bu amaçla AAO metodu tabanlı iki seviyeli bir algoritma geliştirilmiştir. Üst seviyede B-V matrisi çarpanı enbüyüklenmeye çalışılırken alt seviyede ise SKD bağ akımları Rota Akım Tahmin (RAT) algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Bağların akımlarının kapasitelerini aşmamalarını sağlamak amacıyla problem formülasyonuna bu koşulu temsil eden ceza fonksiyonu eklenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde yedek kapasite eniyileme probleminin formülasyonu verilmiştir. Sonraki bölümde geliştirilen iki seviyeli çözüm algoritmasının detayları verilmiştir. Dördüncü bölümde önerilen algoritmanın Allsop & Charlesworth test ulaşım ağına uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalara yer verilmiştir.

2. Problem Formülasyonu

Yerel yöneticiler ulaşım ağlarındaki trafik sıkışıklığını ve gecikmeleri azaltmak için birçok farklı çözüm yöntemi uygulayabilmekte, bu sayede zamanla artan ulaşım talebi veya farklı şekillerde ortaya çıkabilen ani talep artışlarına karşı ulaşım ağlarının güvenilirliğini

sağlayabilmeye çalışmaktadırlar. Diğer taraftan yol kullanıcıları ise B-V çiftleri arasındaki seyahatlerinde yerel yöneticilerin ulaşım ağında yapmış oldukları uygulamaları dikkate alarak kendi seyahat maliyetlerini enküçükleme yoluna gitmektedirler. Ancak bilindiği gibi yedek kapasitenin en iyilenmesi ulaşım ağının daha fazla kullanıcıya hizmet verebilmesini sağlamakla birlikte uygun şekilde belirlenmeyen ışık sürelerinden dolayı kullanıcılar çok daha fazla gecikmeye maruz kalabilmekte ya da ulaşım ağının kapasitesi olması gerekenden daha düşük olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada yedek kapasiteyi eniyileyen ışık sürelerinin belirlenmesi amacıyla AAO metodu tabanlı iki seviyeli bir algoritma geliştirilmiştir. Üst seviyede yedek kapasiteyi eniyileyen B-V matrisi çarpanının enbüyüklenmesi problemi ele alınmıştır. Alt seviyede ise ulaşım ağındaki B-V çiftleri arasındaki farklı seyahat talebi değerlerine karşılık kullanıcıların tepkileri SKD trafik atama probleminin çözülmesi ile temsil edilmiştir. Bu amaçla herhangi bir ulaşım ağında düğümler, $n \in N$, bağlar, $a \in A$, B-V çiftleri, $k \in K$, olarak temsil edilirse önerilen iki seviyeli programlama modeli aşağıda verildiği gibi gösterilebilir.

$$\max_{\mu, \Psi} \mu \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\Psi(c, \varphi) \in \Omega_0; \quad \begin{cases} c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \\ \varphi_{\min} \leq \varphi \leq c \\ \sum_{i=1}^z (\varphi + I)_i = c \end{cases} \quad (2)$$

$$x_a^*(\mu, \Psi) \leq C_a(\Psi, s_a) \quad (3)$$

Burada Ψ ışık süreleri vektörü, Ω_0 ışık sürelerinin olası çözüm kümesi, c devre süresi, c_{\min} and c_{\max} devre süresinin alt ve üst sınırları, φ faz yeşil süresi, φ_{\min} minimum faz yeşil süresi, I yeşillerarası süre ve z kavşaktaki faz sayısı olarak verilmiştir. Ayrıca μ B-V matrisi çarpanı, x_a^* a bağındaki denge akımı, C_a a bağıının kapasitesi ve s_a ise doygun akım değeri olarak ifade edilmiştir. Denklem (3) herhangi bir a bağıının denge akımı değerinin ilgili bağıın kapasitesine eşit yada ondan daha küçük olması durumunu sağlamak için kullanılmıştır. Alt seviyede SKD trafik ataması Denklem (4) ve (5)'de verilen optimizasyon probleminin çözülmesi ile gerçekleştirilebilir.

$$\min_{\mathbf{x}(\Psi)} F(\mathbf{x}(\Psi), \Psi) = -\mu \mathbf{q}^T \mathbf{y}(\mathbf{x}(\Psi), \Psi) \quad (4)$$

$$+ \mathbf{x}^T \mathbf{t}(\mathbf{x}(\Psi), \Psi) - \sum_{a \in A} \int_0^{x_a(\Psi)} t_a(\Psi, w) dw$$

Kısıtlar:

$$\mu \mathbf{q} = \Lambda \mathbf{h}, \quad \mathbf{x}(\Psi) = \delta \mathbf{h}, \quad \mathbf{h} \geq \mathbf{0} \quad (5)$$

Burada Λ B-V/rota belirleme matrisi $[\Lambda_p; \forall p \in P]$, \mathbf{h} rota akım vektörü, δ bağ/rota belirleme matrisi ve eğer a bağı rota p üzerinde ise $\delta_{ap} = 1$ aksi takdirde $\delta_{ap} = 0$ $[\delta_{ap}; \forall a \in A; \forall p \in P]$, $\mathbf{x}(\Psi)$ sinyal vektörüne bağlı bağ akımları vektörü, \mathbf{q} talep vektörü, \mathbf{t} ve \mathbf{y} ise bağ ve rota seyahat süre vektörleri olarak temsil edilmiştir. SKD ataması problemi RAT algoritması (Bell ve Shield, 1995) kullanılarak etkin bir biçimde çözülebilmektedir. Bilindiği gibi RAT algoritması logit rota seçim modeli tabanlı bir algoritma olup en önemli avantajı rota numaralandırmaya ihtiyaç duymaması olarak ifade edilmektedir. Bu durum SKD problemi düşünüldüğünde olası çözüm kümesini sınırlandıran ve bu sayede çözüm süresini azaltan bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle literatürde SKD atama probleminin çözümünde birçok araştırmacı RAT algoritmasını kullanmaktadır (Ceylan, 2002; Ceylan ve Bell, 2004; Ceylan and Ceylan, 2012; Dell'Orco vd., 2013).

Çalışmada yedek kapasite eniyileme probleminin çözümü için önerilen Denklem (1)'de verilen ifade, AAO metodunun enküçükleme metodu olmasından dolayı Denklem (2-3)'de verilen kısıtlara bağlı olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilmiştir.

$$\min z(\mu, \mathbf{x}^*, \Psi) = \frac{1}{\mu} + \sigma \left[\sum_{a \in A} \max(x_a^*(\mu, \Psi) - C_a(\Psi, s_a), 0) \right] \quad (6)$$

Denklem (1)'de verilen B-V matrisi çarpanının enbüyüklenmesi problemi $1/\mu$ ifadesi kullanılarak enküçükleme problemine dönüştürülmüştür. Burada Denklem (6)'da verilen ifadenin sağ tarafı ceza fonksiyonunu, σ ise ağırlık katsayısını temsil etmektedir. Geliştirilen ceza fonksiyonuna göre eğer herhangi bir a bağıının denge akım değeri ilgili bağıın kapasitesinden fazla ise bu durum z fonksiyonuna ceza olarak uygulanacak aksi durumda ise fonksiyon değerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

3. Yedek Kapasite Eniyileme Modeli

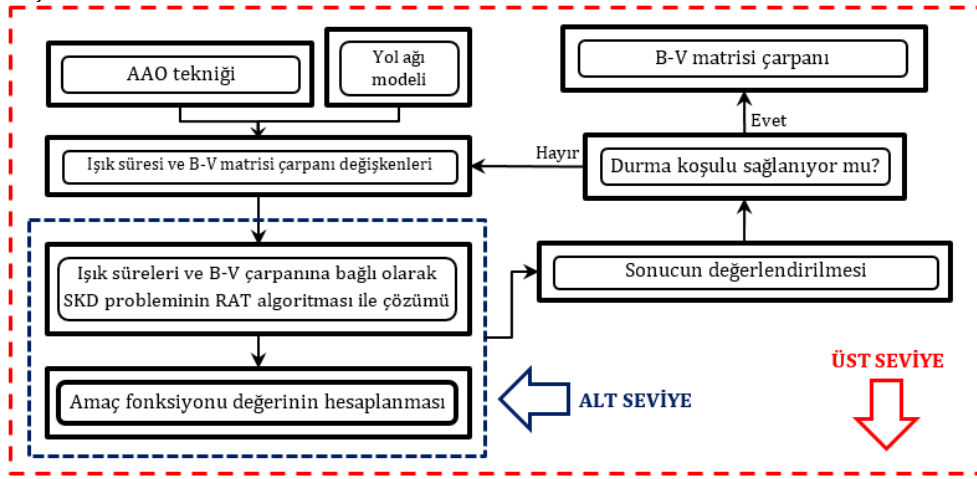
Çalışma kapsamında yedek kapasitenin eniyilenmesi problemi için geliştirilen iki seviyeli modelin çözümünde, Geem vd. (2001) tarafından geliştirilmiş olan AAO yönteminden yararlanılmıştır. AAO yöntemi, bir optimizasyon probleminin en iyi sonucunu bulabilmek için izlenen adımların, bir orkestradaki müzisyenlerin en ahenkli melodiyi çalabilmek için verdikleri çabaya benzetiminden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Bu benzetimde, eniyileme problemindeki karar değişkenleri orkestradaki müzisyenleri, karar değişkenlerinin aldığı değerler ise müzisyenlerin çaldığı notaları temsil etmektedir. AAO yönteminin temel varsayımına göre bir müzisyen doğaçlama yaparken çalacağı bir sonraki notayı;

- i) Sahnede o ana kadar çalarak belleğine almış olduğu herhangi bir notayı tekrar seçerek,
- ii) Sahnede o ana kadar çaldığı bir notanın komşusu olan notalardan birini seçerek, ya da
- iii) Enstrümanından tamamen rastgele bir nota seçerek çalabilmektedir.

Bir amaç fonksiyonunun AAO tekniği ile eniyilenmesi sırasında bir karar değişkeni;

- i) Çözüm sürecinin başında oluşturulan armoni belleği içinden herhangi bir değeri,
- ii) Armoni belleğinden seçilen bir değere belirli bir komşuluktaki başka bir değeri, ya da
- iii) Önceden bilinen alt ve üst sınır aralığı içinden tamamen rastgele seçilen bir değeri alabilmektedir.

Ayrık ve sürekli karar değişkenlerine sahip eniyileme problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılabilen



Şekil 1. Geliştirilen iki seviyeli modelin yapısı

AAO tekniğinin çalışma kapsamında geliştirilen modele uyarlanması, aşağıda verilen beş adımlı algoritma ile gerçekleştirilmiştir.

ADIM 1: Bu adımda, Denklem 6'da verilen amaç fonksiyonu, orijinal B-V talep matrisi (\mathbf{q}), karar değişkenlerinin sınır değerleri ($\varphi_{\min}, \mu_{\max}, c_{\min}, c_{\max}$), yol ağına ilişkin parametreler (serbest akım seyahat süreleri, t^0 ve doymun akım değerleri, s), AAO tekniği parametreleri ve durma koşulu tanımlanmaktadır. AAO tekniğinin çözüm süreci üç temel algoritma parametresi tarafından kontrol edilmektedir. Bu parametrelerden birincisi, armoni belleği kapasitesi (Harmony Memory Size, HMS) olup eniyileme sürecinde kullanılacak olan çözüm vektörü sayısını temsil etmektedir. İkinci parametre, armoni belleğini dikkate alma oranı (Harmony Memory Consideration Rate, HMCR) olup değeri [0,1] aralığındadır. HMCR, yeni bir çözüm vektörü oluşturulurken herhangi bir karar değişkeninin alacağı değer hangi olasılıkla armoni belleğinden seçileceğini temsil etmektedir. Ton ayarlama oranı (Pitch Adjustment Rate, PAR) AAO tekniğinde kullanılan üçüncü parametre olup [0,1]

yöntem, son yıllarda kavşaklardaki ışık sürelerinin eniyilenmesi, ulaşım ağ tasarımı ve toplu taşıma ağlarındaki sefer sıklıklarının eniyilenmesi gibi ulaştırma problemlerinin çözümünde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Ceylan ve Ceylan, 2012; Miandoabchi vd., 2012; Dell'Orco vd., 2013; Salcedo-Sanz vd., 2013; Başkan, 2014; Gao vd., 2016; Ceylan ve Özcan, 2018).

Çalışma kapsamında geliştirilen AAO tekniği tabanlı iki seviyeli modelin genel yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, üst seviyede AAO tekniği ile oluşturulan ışık süreleri ve B-V matrisi çarpanına bağlı olarak Denklem 6'da verilen amaç fonksiyonunun değeri enküçüklenirken, alt seviyede trafik ataması problemi RAT algoritması ile çözümlenerek SKD bağ trafik hacimleri hesaplanmaktadır.

aralığında değer almaktadır. PAR, değeri armoni belleğinden seçilecek olan bir karar değişkeni için ton ayarlama işlemi yapıp yapılmayacağını belirlemede kullanılmaktadır. Yeni çözüm vektörü üretiminin detayları Adım 3'te verilmektedir.

ADIM 2: Bu adımda öncelikle faz yeşil süreleri ve B-V matrisi çarpanı değerlerini içeren başlangıç çözüm vektörleri üretilmekte ve bu vektörler Denklem (7)'de verildiği şekliyle armoni belleğinde saklanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \mu^1 & \varphi_{1,1}^1 & \varphi_{1,2}^1 & \dots & \varphi_{N,z_n}^1 \\ \mu^2 & \varphi_{1,1}^2 & \varphi_{1,2}^2 & \dots & \varphi_{N,z_n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu^{HMS-1} & \varphi_{1,1}^{HMS-1} & \varphi_{1,2}^{HMS-1} & \dots & \varphi_{N,z_n}^{HMS-1} \\ \mu^{HMS} & \varphi_{1,1}^{HMS} & \varphi_{1,2}^{HMS} & \dots & \varphi_{N,z_n}^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} z(\mu, \mathbf{x}^*, \Psi)^1 \\ z(\mu, \mathbf{x}^*, \Psi)^2 \\ \dots \\ z(\mu, \mathbf{x}^*, \Psi)^{HMS-1} \\ z(\mu, \mathbf{x}^*, \Psi)^{HMS} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Burada $\varphi_{i,j}$, i . ışıklı kavşağın j . fazındaki yeşil süreyi, z_n , n . kavşağın faz sayısını temsil etmektedir ($i=1,2,\dots,$

N ve $j=1,2,\dots,z_n$). Denklem 7'de temsil edilen başlangıç belleğindeki B-V talep çarpanı ve faz yeşil süresi değişkenlerinin başlangıç değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

(i) **B-V matris çarpanı**. 0 ile Adım 1'de tanımlanan maksimum değer arasında aşağıdaki gibi üretilmektedir:

$$0 < \mu < \mu_{\max} \quad (8)$$

(ii) **Kavşaklardaki faz yeşil süreleri**, Adım 1'de tanımlanan minimum yeşil süre ve maksimum devre süresi değerleri arasında aşağıdaki gibi üretilmektedir:

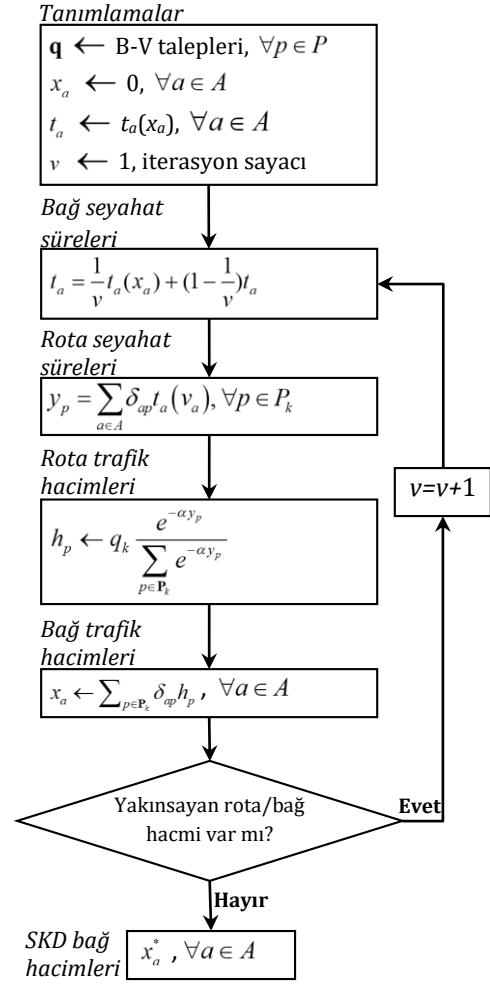
$$\varphi_{\min} < \varphi_{i,j} < c_{\max} \quad (9)$$

Kavşaklar için üretilen yeşil süre değerleri ile yeşiller arası sürelerin, I , toplamının minimum ve maksimum devre süresi değerleri arasında kalması için modelde aşağıdaki koşullar tanımlanmıştır:

$$\varphi_{i,j} = \begin{cases} \varphi_{i,j} \frac{c_{\max} - z_i I}{\sum_{j=1}^{z_i} \varphi_{i,j}} & \text{eğer } \sum_{j=1}^{z_i} (\varphi_{i,j} + I) > c_{\max} \\ \varphi_{i,j} \frac{c_{\min} - z_i I}{\sum_{j=1}^{z_i} \varphi_{i,j}} & \text{eğer } \sum_{j=1}^{z_i} (\varphi_{i,j} + I) < c_{\min} \\ \varphi_{i,j} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (10)$$

Denklem (10) incelendiğinde, i kavşağındaki yeşil ve yeşillerarası sürelerin toplamının maksimum devre süresini aşması durumunda, toplam değer maksimum devre süresine eşit olmasını sağlamak için üretilen yeşil sürelerin oransal olarak azaltıldığı görülmektedir. Benzer şekilde, söz konusu toplam değer minimum devre süresinin altında kalması durumunda üretilen yeşil sürelerin oransal olarak azaltılarak, toplam minimum devre süresine eşit olması sağlanmaktadır.

Denklem (6)'da verilen amaç fonksiyonu değerinin hesaplanabilmesi için bağlardaki kullanıcı denge akımlarına gereksinim duyulmaktadır. Geliştirilen modelde, Denklem (4) ile verilen SKD ataması problemi Şekil 2'de verilen RAT algoritması kullanılarak çözülmektedir.



Şekil 2. RAT algoritmasının akış diyagramı

Şekil 2'de verilen saçılım parametresi α , yol kullanıcılarının rota seçim davranışları esnasında rota seyahat sürelerini hangi ölçüde dikkate aldıklarını belirlemektedir.

ADIM 3: Bu adımda, armoni belleğinden ya da her bir karar değişkeninin kendi çözüm uzayından rastgele seçilecek tonlar ile yeni bir çözüm vektörü üretilmektedir. Bu işlem, HMCR olasılığına bağlı olarak gerçekleştirilmekte olup, B-V matrisi çarpanı için aşağıdaki gibi örneklenebilir:

$$\mu' = \begin{cases} \mu' \in \{\mu^1, \mu^2, \mu^3, \dots, \mu^{HMS}\} & \text{eğer } rnd(0,1) \leq HMCR \\ \mu_{\min} \leq \mu' \leq \mu_{\max} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (11)$$

Burada $rnd(0,1)$, $[0,1]$ aralığında tekdüze dağılıma uygun olarak üretilmiş olan bir sayıyı temsil etmektedir. Seçimin armoni belleğinden yapılmasına karar verilmesi durumunda, ton ayarlama işleminin yapılıp yapılmayacağına aşağıdaki gibi karar verilmektedir:

$$\mu' = \begin{cases} \mu' \pm rnd(0,1)bw & \text{eğer } rnd(0,1) \leq PAR \\ \mu' & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (12)$$

Burada bw , ton ayarlama işlemine tabi tutulan karar değişkeninin değerinin, armoni belleğindeki hedef

değere ne kadar uzaktan seçileceğini temsil eden bant genişliğidir. Denklem (11) ve (12)'de B-V matris çarpanı için örneklenen üretim süreci, çözüm vektöründeki yeşil süreler için de aynı şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak, üretilen yeşil süre değerleri tamsayıya çevrilerek modele dahil edilmektedir.

ADIM 4: Bu adımda, yeni üretilen çözüm vektörünün amaç fonksiyonu değeri ile armoni belleğindeki en kötü vektörün amaç fonksiyonu değeri karşılaştırılır. Yeni vektör bellekteki en kötü çözümden daha düşük bir amaç fonksiyonu değeri verirse, yeni vektör armoni belleğindeki en kötü vektörün yerine belleğe dahil edilir.

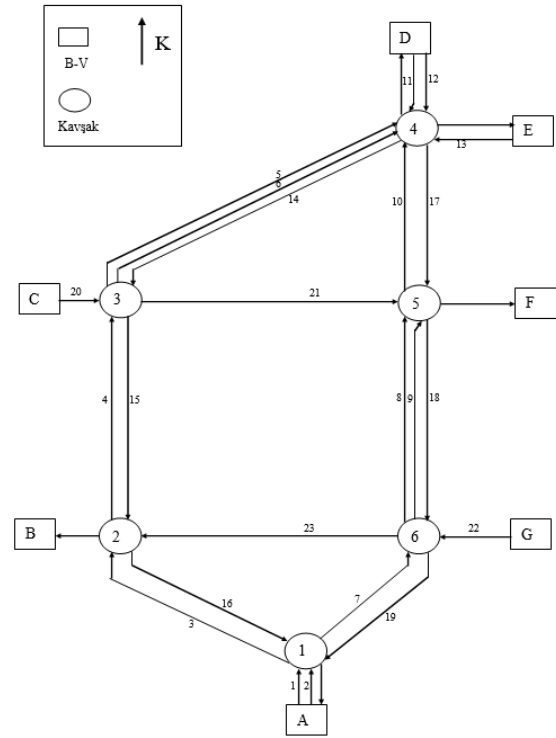
ADIM 5: Bu adımda, Adım 1'de tanımlanan iterasyon sayısına ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Hedeflenen iterasyon sayısına ulaşıldıysa algoritma durdurulur ve armoni belleğindeki en iyi çözüm saklanır. Aksi halde, Adım 3'e dönülerek yeni bir çözüm vektörü üretilir.

4. Sayısal Uygulamalar

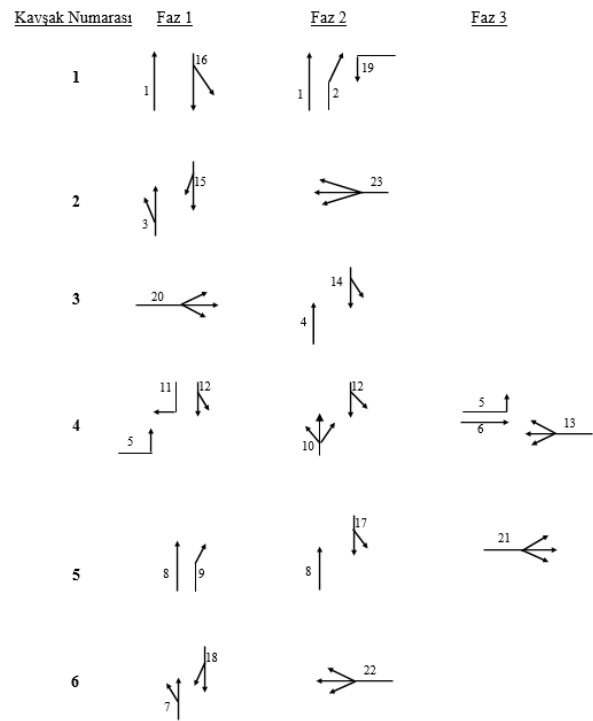
İki seviyeli modeli kullanılarak geliştirilen çözüm algoritmasının test edilebilmesi amacıyla Allsop ve Charlesworth (1977) tarafından geliştirilen test yol ağı kullanılmıştır. Literatürde birçok çalışmada kullanılan test ağında 6 ışıklı kavşak, 23 bağ ve 14 adet yeşil süre değişkeni bulunmaktadır. Test ağının yapısı ve faz planı sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Analizlerde kullanılan B-V talep matrisi ve bağ parametre değerleri Tablo 1-2'de verilmiştir.

Tablo 1'den görülebileceği gibi 22 adet B-V çifti arasında toplam saatlik seyahat talebi 4920 taşıt olarak alınmıştır. En düşük talebin E-F ve G-F olarak belirtilen B-V çiftleri arasında olduğu, en yüksek talebin ise C ve F zonları arasında olduğu ayrıca E-D ve D-E zonları arasında seyahat talebinin sifıra eşit olduğu Tablo 1'den görülebilmektedir. Şekil 4'de verilen faz planına göre 1,2,3 ve 6 numaralı kavşaklar iki fazlı, 4 ve 5 numaralı kavşaklar ise 3 fazlı olarak işletilmektedir.

Analizlerde kullanılan minimum faz yeşil süre değeri 7 sn, minimum ve maksimum devre süresi değerleri ise sırasıyla 36 ve 120 sn olarak alınmış olup bu değerler ulaşım ağ tasarımına ilişkin çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yeşillerarası süre 5 sn ve B-V matrisi çarpanının minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 0 ve 3 olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Test ağı



Şekil 4. Faz planı

Tablo 1. B-V talep matrisi (taşıt/saat)

B/V	A	B	D	E	F
A	--	250	700	30	200
C	40	20	200	130	900
D	400	250	--	0	100
E	300	130	0	--	20
G	550	450	170	60	20

Tablo 2. Bağ parametreleri

Kavşak Numarası	Bağ Numarası	Serbest Akım Seyahat Süresi (sn)	Doğunluk Akım (taşıt/saat)
1	1	1	2000
	2	1	1600
	16	10	2900
	19	10	1500
2	3	10	3200
	15	15	2600
	23	15	3200
3	4	15	3200
	14	20	3200
	20	1	2800
4	5	20	1800
	6	20	1850
	10	10	2200
	11	1	2000
	12	1	1800
	13	1	2200
5	8	15	1850
	9	15	1700
	17	10	1700
	21	15	3200
6	7	10	1800
	18	15	1700
	22	1	3600

Allsop ve Charlesworth yol ağı uygulamasında AAO metodu parametreleri *HMCR* ve *PAR* literatürle uyumlu olarak 0.90 ve 0.10 olarak seçilmiştir (Geem, 2005, 2006, 2007). *HMS*=30 ve maksimum iterasyon sayısı ise 100,000 olarak kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmanın AAO metodu ile çözülmesi neticesinde Denklem (6)'da verilen amaç fonksiyonu değeri yaklaşık 0.86 ve B-V matrisi çarpanının maksimum değeri 1.164 olarak elde edilmiştir. Belirlenen amaç fonksiyonu değeri için elde edilen B-V matrisi maksimum çarpanı ve en iyi ışık süreleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi elde edilen en iyi faz yeşil ve kavşak devre süreleri analiz başlangıcında göz önüne alınan sınır şartlarını sağlamaktadır. Analiz sonucunda elde edilen SKD bağ trafik hacimleri ve ilgili doymunluk dereceleri Tablo 4'te görülmektedir. Toplam talep yaklaşık %16 artırılarak 5707 ta/sa değerine ulaşmasına rağmen Tablo 4'ten görüldüğü gibi bağlara ait doymunluk dereceleri 1'in altındadır. Test ulaşım ağında, 20 ve 21 numaralı bağlar sırasıyla 0.97 ve 0.98 değerleriyle en yüksek doymunluk derecesine sahip bağlar olup, 6 ve 12 numaralı bağlar ise en az doymunluk derecesine sahip bağlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak analiz sonuçları bağ kapasiteleri aşılmadan test ulaşım ağına yaklaşık %16'lık bir yedek kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. B-V matrisi çarpanı ve en iyi ışık süreleri

B-V matrisi çarpanı μ	Devre Süresi (sn)	Kavşak no	Yeşil süreler (sn)		
			Faz 1	Faz 2	Faz 3
			$\phi_{i,1}$	$\phi_{i,1}$	$\phi_{i,1}$
1.164	65	1	18	37	---
	75	2	31	34	---
	109	3	60	39	---
	120	4	38	34	33
	115	5	20	35	45
	74	6	31	33	---

Tablo 4. Bağ akımları ve doymunluk dereceleri

Bağ Numarası	SKD Bağ Akımları (ta/sa)	Doymunluk Derecesi (%)	Bağ Numarası	SKD Bağ Akımları (ta/sa)	Doymunluk Derecesi (%)
1	833	49	13	524	87
2	540	59	14	916	80
3	833	63	15	917	85
4	675	59	16	768	96
5	741	70	17	481	93
6	203	40	18	410	58
7	540	72	19	733	86
8	557	63	20	1502	97
9	141	48	21	1232	98
10	557	89	22	1455	91
11	579	91	23	974	67
12	294	27			

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada kentiçi karayolu ağlarında yedek kapasite eniyileme probleminin çözümü için iki seviyeli bir model geliştirilmiştir. Üst seviyede literatürden farklı olarak yedek kapasitenin eniyilenmesi amacıyla AAO metodu kullanılmıştır. Alt seviyede ise literatürde deterministik yaklaşıma göre daha gerçekçi olduğu belirtilen SKD trafik atama problemi dikkate alınmıştır. SKD bağ trafik hacimlerinin elde edilmesi amacıyla ışık sürelerinin göz önüne alındığı RAT algoritması kullanılmıştır. Önerilen modelin etkinliğinin test edilmesi amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan Allsop ve Charlesworth ulaşım ağı seçilmiştir. Sayısal uygulamalar sonucunda test ulaşım ağına ait B-V matrisi maksimum çarpanı 1.164 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değer bağ kapasitelerinin aşılmadan analizi yapılan ulaşım ağına yaklaşık olarak %16'lık bir yedek kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda yedek kapasite eniyileme probleminin çözümünde ulaşım ağındaki toplam gecikme değerini de göz önüne alabilen bir model geliştirilmesi planlanmaktadır.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Allsop, R.E., 1972. Estimating the traffic capacity of a signalized road junction. *Transportation Research*, 6, 245-255.

Allsop, R.E., Charlesworth, J.A., 1977. Traffic in a signal-controlled road network: an example of different signal timings including different routings. *Traffic Engineering Control*, 18 (5), 262-264.

Baskan, O., Ozan, C., 2017. Reserve Capacity Model for Optimizing Traffic Signal Timings with an Equity

- Constraint. H. Yaghoubi (Edt.), Highway Engineering, içinde (s.1-15), IntechOpen.
- Baskan, O., 2014. Harmony Search Algorithm for Continuous Network Design Problem with Link Capacity Expansions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (1), 273-283.
- Bell, M.G.H., Shield, C.M., 1995. A log-linear model for path flow estimation. Y.J. Stephanedes, F. Filippi (Edt.), *Proceedings of the 4th International Conference on the Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, 695-699, Capri, Italy.
- Ceylan, H., 2002. A genetic algorithm approach to the equilibrium network design problem. Doktora Tezi. Newcastle upon Tyne Üniversitesi, İngiltere.
- Ceylan, H., Ceylan, H., 2012. A Hybrid Harmony Search and TRANSYT hill climbing algorithm for signalized stochastic equilibrium transportation networks. *Transportation Research Part C*, 25, 152-167.
- Ceylan, H., Bell, M.G.H., 2004. Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 8 (2), 87-99.
- Ceylan, H., Özcan, T., 2018. Otobüs ağlarındaki sefer sıklıklarının Armoni Araştırması Algoritması ile optimizasyonu: Mandl test ağı üzerine bir uygulama. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1107-1116.
- Chiou, S.-W., 2007. Reserve capacity of signal-controlled road network. *Applied Mathematics and Computation*, 190 (2), 1602-1611.
- Chiou, S.-W., 2009. Optimization for signal setting problems using non-smooth techniques. *Information Sciences*, 179, 2985-2996.
- Chiou, S.-W., 2014. Optimal signal-setting for road network with maximum capacity. *Information Sciences*, 273, 287-303.
- Dell'Orco, M., Baskan, O., Marinelli, M., 2013. A Harmony Search Algorithm Approach for Optimizing Traffic Signal Timings. *Promet Traffic&Transportation*, 25 (4), 349-358.
- Gao, K., Zhang, Y., Sadollah, A., Su, R., 2016. Optimizing urban traffic light scheduling problem using harmonysearch with ensemble of local search. *Applied Soft Computing*, 48, 359-372.
- Geem, Z. W., Kim, J.H., Loganathan, G.V., 2001. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. *Simulation*, 76 (2), 60-68.
- Geem, Z.W., 2005. Harmony search in water pump switching problem. In: Wang, L., Chen, K., Ong, Y.S. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science, ICNC 2005, LNCS*, vol. 3612. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 751-760.
- Geem, Z.W., 2006. Improved harmony search from ensemble of music players. In: Gabrys, B., Howlett, R.J., Jain, L.C. (Eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence, KES 2006, Part I, LNAI*, vol. 4251. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 86-93.
- Geem, Z.W., 2007. Optimal scheduling of multiple dam system using harmony search algorithm. In: Sandoval, F. et al. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science, IWANN 2007, LNCS*, vol. 4507. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 316-323.
- Han, F., Cheng, L., 2017. Stochastic user equilibrium model with a tradable credit scheme and application in maximizing network reserve capacity. *Engineering Optimization*, 49 (4), 549-564.
- Miandoabchi, E., Farahani, R.Z., 2011. Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem. *Advances in Engineering Software*, 42 (12), 1041-1050.
- Miandoabchi, Elnaz., Farahani R.Z., Szeto, W.Y., 2012. Bi-objective bimodal urban road network design using hybrid metaheuristics. *Central European Journal of Operations Research*, 20, 583-621.
- Salcedo-Sanz, S., Manjarres, D., Pastor-Sanchez, A., Del Ser, J.D., Portilla-Figueras, J.A., Gil-Lopez, S., 2013. One-way urban traffic reconfiguration using a multi-objective harmony search approach. *Expert Systems with Applications*, 40, 3341-3350.
- Wang, J., Deng W., Zhao, J., 2015. Road network reserve capacity with stochastic user equilibrium. *Transport*, 30 (1), 103-116.
- Webster, F.V., Cobbe, B.M., 1966. Traffic signal. Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London.
- Wong, S.C., Yang, H., 1997. Reserve capacity of a signal-controlled road network. *Transportation Research Part B*, 31, 397-402.
- Xiao, H., Gao, J., Zou, Z., 2017. Reserve capacity model based on variable demand for land-use development control. *Transportation Planning and Technology*, 40 (2), 199-212.
- Yagar, S., 1985. Addressing errors and omissions in paper on intersection capacity maximization. *Transportation Research Part B*, 19, 81-84.
- Yang, H., Bell, M.G.H., Meng, Q., 2000. Modeling the capacity and level of service of urban

transportation networks. *Transportation Research Part B*, 34 (4), 255-275.

Ziyou, G., Yifan, S., 2002. A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice. *Transportation Research Part B*, 36, 313-323.



EFFECT OF FRIT CONTENT IN THE SILVER CURRENT COLLECTOR INKS ON THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF SOLID OXIDE FUEL CELL CATHODES

Emrah DEMİRKAL¹, Aligül BÜYÜKAKSOY^{*1,2}

¹ Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

² Institute of Nanotechnology, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

Keywords

*Solid Oxide Fuel Cells,
Current Collectors,
Silver,
Impedance Spectroscopy,
Cathode.*

Abstract

Silver (Ag) inks are often used as precursors to form current collector layers on the intermediate-temperature solid oxide fuel cell (SOFC) cathodes. It has been common practice to add glassy phase (frit) particles into the Ag inks to achieve good adhesion between the current collector and the cathode layers upon firing. However, insufficient attention has been given to the effects of frit content on the microstructure and the current collecting properties of Ag layers. This study presents the effect of frit addition on the measured electrochemical performance of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ (LSF) thin film cathodes. Microstructural analyses reveal that frit addition significantly densifies the Ag current collector layer. The glassy phase replacing Ag reduces the contact area between the Ag particles and the LSF thin film cathode, resulting in increased ohmic resistances. The glassy phase also seals the electrocatalytic surface of the LSF thin film, thus enhancing the cathode polarization resistances. Electrochemical impedance spectroscopy measurements on symmetrical half-cells reveal that ohmic resistances matching the resistivity of the yttria stabilized zirconia electrolyte (YSZ) and acceptable cathode polarization resistances (e.g., $0.5 \Omega\text{cm}^2$ at 700°C in air) can be obtained when frit-free Ag current collector inks are used.

GÜMÜŞ AKIM TOPLAYICI MÜREKKEPLERİNDE FRİT BULUNMASININ KATI OKSİT YAKIT HÜCRESİ KATOTLARININ ELEKTROKİMYASAL PERFORMANSINA ETKİSİ

Anahtar Kelimeler

*Katı Oksit Yakıt Hücreleri,
Akım Toplayıcı,
Gümüş,
Empedans Spektroskopisi,
Katot.*

Öz

Gümüş (Ag) içeren asıltılar (mürekkepler) orta sıcaklıklarda çalışan katı oksit yakıt hücresi (KOYH) katotları üzerine sıklıkla akım toplayıcı olarak uygulanırlar. Bu mürekkeplere camsı faz (frit) parçacıklarının ısı işlem sonrasında altlığa iyi yapışma sağlanması amacıyla eklenmesi geleneksel olarak uygulanagelmıştır. Fakat bu parçacıkların Ag mürekkeplerine eklenmelerinin akım toplayıcı mikroyapısı ve performansı üzerindeki etkileri net olarak tespit edilmemiştir. Bu çalışmada gümüş mürekkeplerine frit eklenmesinin $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ (LSF) ince film katotlarının elektrokimyasal performansına etkisi sunulmaktadır. Mikroyapısal analizler frit etkisinin Ag akım toplayıcı katmanını yoğunlaştırdığını göstermektedir. Ag yerine eklenen camsı faz Ag /LSF ince film katot arayüzey alanını azaltmakta ve yüksek ohmik dirence sebep olmaktadır. Camsı faz ayrıca LSF yüzeyini mühürlemekte, böylece yüksek polarizasyon dirençlerine yol açmaktadır. Simetrik yarı-hücreler üzerinde gerçekleştirilen elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri frit içermeyen Ag mürekkepleri kullanıldığında itriya katkılı zirkonya elektrolitin özdirenci ile örtüşen ohmik dirençler ve kabul edilebilir katot polarizasyon dirençlerinin (örn., 700°C ve durağan hava ortamında $0.5 \Omega\text{cm}^2$) elde edilebildiğini göstermektedir.

*İlgili yazar / Corresponding author: aligul@gtu.edu.tr, +90-262-605-2662

Alıntı / Cite

Emrah D., Aligül B., (2019). Effect of Frit Content in the Silver Current Collector Inks on the Electrochemical Performance of Solid Oxide Fuel Cell Cathodes, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4), 796-802.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Demirkal, 0000-0001-7607-2009
A. Büyükkaksoy, 0000-0003-2227-8938

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	25.10.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	20.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

In pursuit of solid oxide fuel cells (SOFCs) with higher power densities, there has especially been an intensive effort to develop cathode materials with new chemistries and microstructures (Lyskov et al., 2018; Tatko et al., 2015; Li et al., 2014). To evaluate the performance of the developed cathode materials in the laboratory scale, electrochemical testing using single button cell or symmetrical half-cell configurations has been the widely adopted approach (Chen et al., 2015).

When performing electrochemical testing of cathodes, utilization of a suitable current collector is very important to obtain accurate results. The current collectors used at the cathode side must exhibit high electronic conductivity under oxidizing atmospheres and at high temperatures (i.e. 500-750 °C). In addition, they must be chemically stable and compatible with adjacent components while possessing sufficient porosity to allow for effective gas delivery to the electrochemically active sites. These stringent requirements are met by only a handful of noble metals such as; gold (Au), platinum (Pt) and silver (Ag). All of these metals exhibit high electronic conductivity at high temperatures (Au $10.6 \times 10^4 \text{ Scm}^{-1}$, Pt $2.6 \times 10^4 \text{ Scm}^{-1}$ and Ag $14.6 \times 10^4 \text{ Scm}^{-1}$ at 800 °C, Zhu and Ghezal-Ayagh, 2017). However, among these metals, Ag is by far the most cost-effective one, i.e., its per ounce price is ca. 50 times lower than that of Au and Pt (West and Manthiram, 2015).

Ag current collectors are usually applied onto the SOFC cathode by screen-printing or brush painting an ink containing the Ag particles followed by a heat treatment to ensure bonding among the Ag particles and provide good attachment of the current collector to the cathode surface (Gong et al., 2012; Guo et al., 2011; Sarikaya et al., 2012a). Upon the preparation of Ag inks, addition of glassy phase particles (frit) has been a frequently encountered approach to ensure a stronger bonding to the substrate (Rane et al., 2004). However, the effect of the presence of frit on the accuracy of the electrochemical impedance spectroscopy measurements of SOFC cathodes remains unknown. Hence, in this study, the effect of the presence of frit on the microstructure of the fired Ag current collector layer and the measured electrochemical performance of the cathode is investigated.

2. Materials and Methods

To understand the effect of frit content, which is usually present in the Ag current collector inks for good adhesion, on the measured cathode performance, symmetrical half-cells, based on thick yttria stabilized zirconia (YSZ) electrolyte substrates were prepared. To prepare the YSZ electrolyte substrates YSZ powders (Tosoh, Japan) were consolidated into a disk shape by die pressing and then a tighter packing was achieved by cold isostatic pressing under 200 MPa. The obtained discs were sintered at 1400 °C for 2 hours in air to achieve dense ceramics.

The $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ (LSF) cathodes were formed on each side of the YSZ substrates to achieve symmetrical with the LSF/YSZ/LSF configuration. This was realized by spin coating a polymeric LSF precursor onto the YSZ ceramics. To prepare the polymeric LSF precursor solutions, strontium nitrate ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich), lanthanum (III) nitrate hexahydrate ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\geq 99\%$, Fluka) and iron(III) nitrate nonahydrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich) salts were dissolved in distilled water. Ethylene glycol was added to the resultant solution, which was then stirred at 80 °C until whole water had evaporated. Finally, 2-butoxyethanol was added to the solution for improved wetting of the YSZ substrate during the coating process. The spin-coating process was performed at a rotation speed of 3000 rpm. The achieved LSF/YSZ/LSF symmetrical half-cells were sintered at 700 °C for 3 hours to achieve crystallized thin film cathodes.

Both sides of the LSF/YSZ/LSF symmetrical half-cells were coated either with frit-free or frit containing Ag inks, denoted as Ag-ff and Ag-f respectively. The frit-free Ag ink was prepared in our laboratories by mixing Ag powder (Nanokar, Turkey, 99.9%) with α -terpineol (Alfa-Aesar, 96%) and 2-butoxyethanol (Acros Organics, 99%) in a 22:4:1 weight ratio using mortar and pestle. The frit containing Ag ink was purchased commercially (Arteks, Turkey). The Ag current collector inks were deposited by brush painting, followed by heat treatment at 600 °C for 3 hours in air.

The microstructural and elemental analyses of the Ag-ff and Ag-f current collector layers were performed by scanning electron microscopy/energy dispersive x-ray spectroscopy (Philips XL30 SEFG SEM). The electrochemical performance of the Ag-

f/LSF/YSZ/LSF/Ag-f and Ag-ff/LSF/YSZ/LSF/Ag-ff symmetrical half-cells were investigated by electrochemical impedance spectroscopy measurements performed using a Biologic-SP150 potentiostat/galvanostat/impedance analyzer, at 450-700 °C, in stagnant air.

3. Results and Discussion

Scanning electron microscopy (SEM) analyses performed on the current collectors fabricated from frit containing (Ag-f) and frit-free (Ag-ff) Ag reveal the effect of the frit content on the microstructure of the current collectors (Figure 1). Figures 1a and b show the top surface and cross-sectional views of the Ag-ff layer respectively after sintering at 600 °C for 3 hours, in air. The average particle size of Ag-ff layer is ca. 3 µm and has a porous structure that should allow facile transport of the oxygen gas to the electrocatalytically active $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ (LSF) surface. Using image analysis by ImageJ, the porosity of the Ag-ff layer is determined as 21%.

Figures 1c and 1d depict the surface and cross-sectional SEM views of the Ag-f layer. The top surface image reveals a pore-free microstructure consisting of two interconnected phases with distinct morphologies (Figure 1c). One of these phases has a faceted morphology suggesting a crystalline nature, while the other exhibits a continuous and featureless morphology, suggesting a glassy phase (Figure 1c). The cross-sectional SEM image of the Ag-f layer shows only a few large pores that are not interconnected, and hence would not contribute to the gas transport (Figure 1d).

Table I provides the atomic and weight ratios of the elements determined by energy dispersive x-ray spectroscopy analyses performed in areas representative of the Ag-ff and Ag-f current collectors (Areas 1 and 2 in Figures 1a and c respectively), in addition to those performed in areas consisting solely of the faceted and featureless phases (Areas 3 and 4 respectively). Here, for facile comparison of the elemental ratios, the signals corresponding to oxygen are omitted. Area 1 is determined to consist solely of Ag, with small intensities of Y and Zr signals also reaching the detector from the YSZ substrate, through the porous current collector (Table I). Area 2 represents the general surface of the Ag-f current collector and along with Ag, signals belonging to Zn, Al, Si and Ba elements, the oxides of which constitute the glassy frit phase, are obtained (Table I). The faceted phase in the Ag-f current collector (Area 3) evidently is Ag, while the featureless phase (Area 4) consists mainly of the frit content in the commercial Ag-f ink (Table I).

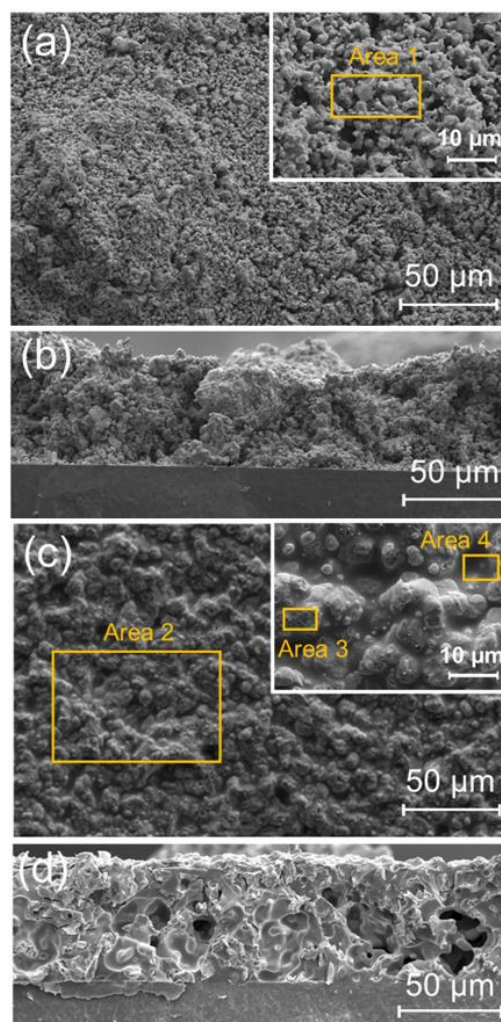


Figure 1. Scanning electron microscopy images of a) the top-down b) the fracture surfaces of Ag-ff current collectors, c) top down and d) fracture surfaces of Ag-f current collectors after heat treatment at 600 °C for 3 hours, in air.

Table 1. Relative amounts of elements obtained from the energy dispersive x-ray spectroscopy analysis performed on the four areas at the surfaces of Ag-f and Ag-ff current collector layers shown in Figure 1.

Elements	Atomic % in Area 1	Atomic % in Area 2	Atomic % in Area 3	Atomic % in Area 4
Ag	97.28	18.29	90.91	5.54
Zn	.....	43.82	9.09	77.65
Al	.....	6.22	.....	1.73
Si	.....	29.77	.....	6.23
Ba	.....	1.90	.....	8.49
Y	1.09	.....	.....	.....
Zr	0.92	.....	.....	.....

The current collector performance of Ag-f and Ag-ff layers are investigated via electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements of symmetrical half-cells with yttria stabilized zirconia (YSZ) electrolytes and $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ (LSF) thin film electrodes (cell configuration: current

collector/LSF/YSZ/LSF/current collector), in stagnant air. EIS measurements of symmetrical half-cells carried out under open circuit conditions (0 V) and an amplitude of 10 mV from 0.5 MHz to 0.2 Hz. Figures 2a-c shows the Nyquist plots obtained from the symmetrical half-cells with Ag-f or Ag-ff current collectors at 700, 641 and 588 °C respectively, in air. For a facile comparison of the electrochemical response in the two types of samples, the impedance data are normalized to unit area by multiplying both the imaginary and real coordinates by the geometric electrode area (Figure 2a-c). Here, in general, the impedance spectra are interpreted as consisting of two parts; i) the high frequency intercept corresponding to the area specific ohmic resistance (denoted as ASR1) and ii) the distance between the low frequency and the high frequency intercepts (ASR2), referred to as the “polarization resistance” (Figure 2a inset). ASR1 comprises of area specific resistance contributions originating from the resistance to the ionic transport through the YSZ electrolyte + the resistivity of the LSF thin film electrons + any current collector resistances. Since LSF exhibits a very high electronic conductivity under the present experimental conditions, (ca. 100 Scm⁻¹ at 700 °C, in air, Patrakeev et al., 2015) and is fabricated in the form of thin films in the present case (i.e., thickness < 1 μm) its contribution to the ohmic resistance is negligible here. ASR2 (the polarization resistance) refers to the inverse of the oxygen reduction/oxygen evolution reaction (ORR/OER) activity at the two LSF electrodes, i.e., polarization resistance per electrode is the half of ASR2. At all temperatures, the impedance arc obtained from the symmetrical half-cells using Ag-f current collectors starts at higher ASR1 values than those using ASR-ff current collectors (Figures 2a-c). In addition, very large ASR2 values (in the range of hundreds of Ωcm²) are obtained at all temperatures when Ag-f is used (Figures 2a-c). On the other hand, quite acceptable electrode polarization resistances, e.g., 0.5 Ωcm² at 700 °C (Figure 2a), are obtained when Ag-ff current collectors are employed.

For a clear interpretation of the impedance responses obtained from symmetrical half-cells with Ag-f and Ag-ff current collectors, the ohmic and polarization responses are analyzed separately. Figure 3a shows the temperature dependence of the ohmic resistance obtained from the symmetrical half-cells employing Ag current collectors with and without frit content. As expected, area specific resistance (ASR1) follows an Arrhenius-type behavior in both cases with similar slopes. However, the ohmic resistances obtained from the symmetrical half-cells employing Ag-f current collectors are approximately 3-4 times those employing Ag-ff current collectors. The higher ohmic resistances observed in the case of Ag-f current collectors is considered to be directly related to the composition of the ink this current collector was prepared from. The significant amount of glassy phase

in the Ag-f current collectors (18.29 at.% Ag in Area 2, Table I) results in a smaller interfacial contact area between the Ag particles and LSF thin film cathode than that exists in the case of Ag-ff current collectors causes higher ASR1 values.

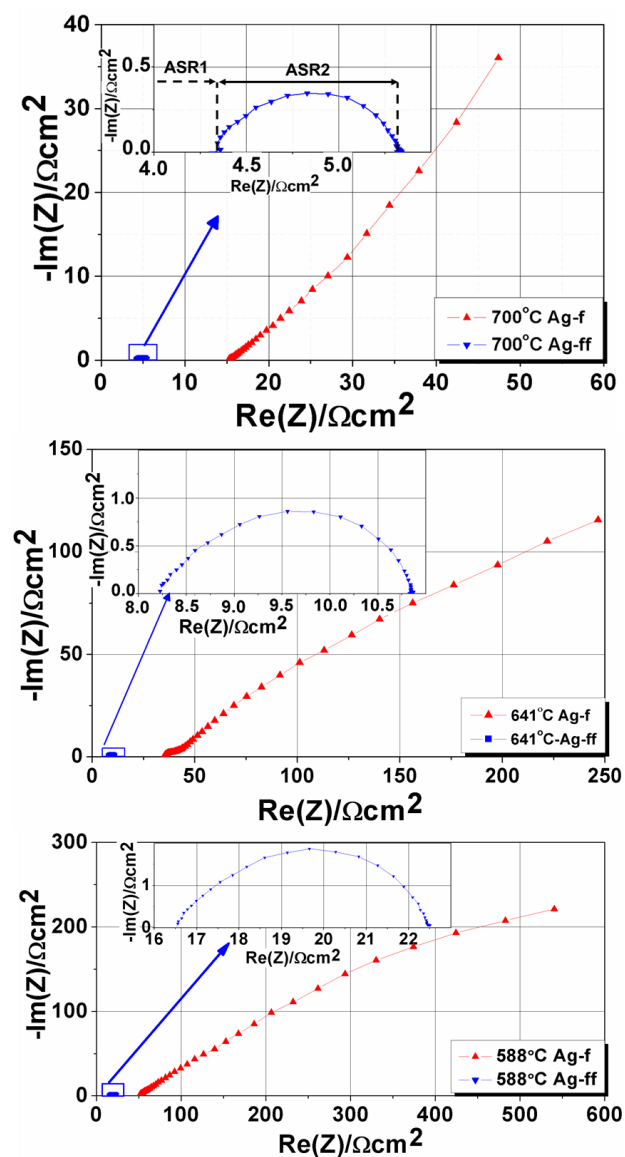


Figure 2. Nyquist plots constructed from the electrochemical impedance spectroscopy measurements performed on Ag-f/LSF/YSZ/LSF/Ag-f and Ag-ff/LSF/YSZ/LSF/Ag-ff symmetrical half-cells, at a) 700, b) 641 and c) 588 °C.

To determine whether ASR1 obtained from the Ag-ff current collector is at an acceptable value, the electrical conductivity of the YSZ electrolyte is calculated using Eq. (1) and its temperature dependence is compared to the data from the literature (Figure 3b). In Eq. (1), σ and L refer to the electrical conductivity and the electrolyte thickness respectively.

$$\sigma = \frac{L}{(ASR1)} \quad (1)$$

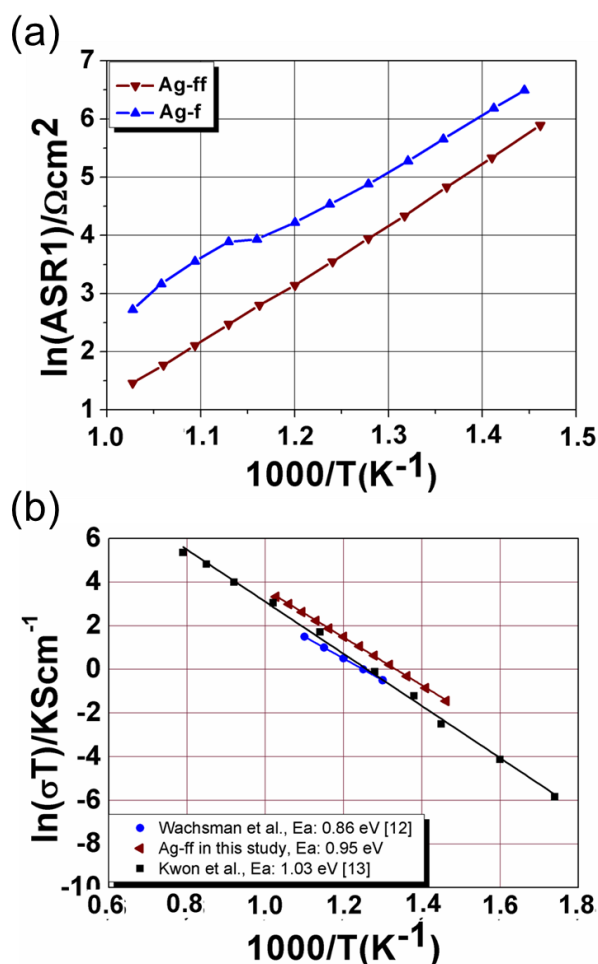


Figure 3. Temperature dependence of a) the ohmic resistance obtained from the electrochemical impedance spectroscopy measurements of Ag-f/LSF/YSZ/LSF/Ag-f and Ag-ff/LSF/YSZ/LSF/Ag-ff symmetrical half-cells and b) the electrical conductivity of the YSZ electrolytes calculated from the ohmic resistance of the Ag-ff/LSF/YSZ/LSF/Ag-ff symmetrical half-cell. The electrical conductivity values from the literature are also included in the latter for comparison (Wachsman et al., 2014; Kwon and Choi, 2006; Kosacki et al., 2005).

The electrical conductivity of YSZ measured in the present study using symmetrical half-cells with LSF cathodes and Ag-ff current collectors is at an acceptable value, e.g., 0.066 Scm^{-1} at 700°C . Over a wide temperature range, the electrical conductivity values obtained here for YSZ using the frit-free Ag current collector lie even slightly higher in comparison to the data obtained by E. Wachsman et al. (2014) and Kwon and Choi (2006). The activation energy for the electrical conductivity is determined as 0.95 eV, agreeing well with the values reported in the literature for the oxygen ion transport through the YSZ lattice (Kosacki et al., 2005) and those reported by Wachsman et al. (2014) and Kwon and Choi (2006).

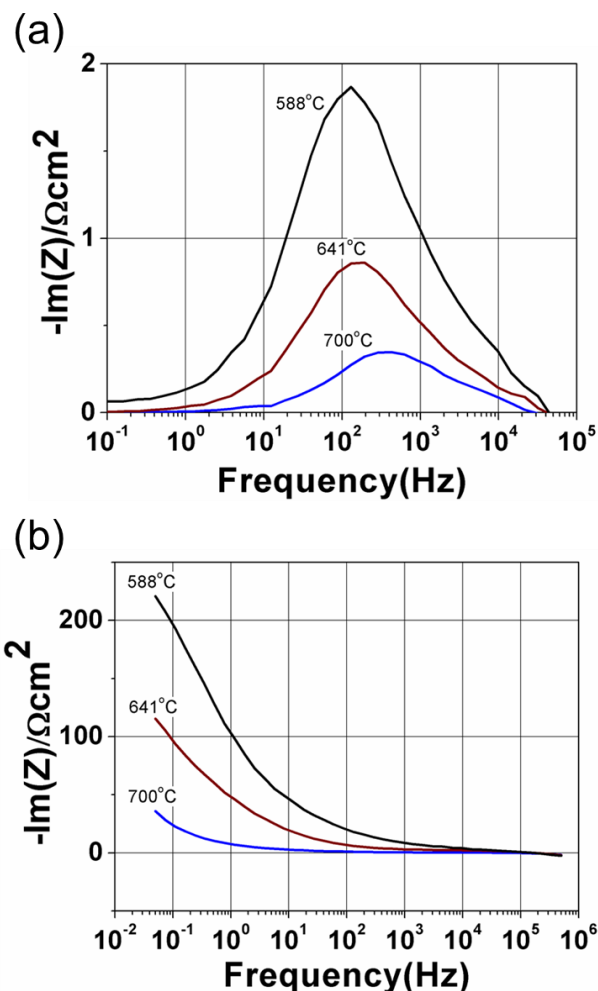


Figure 4. Bode plots constructed from the electrochemical impedance spectroscopy measurements performed on a) Ag-ff/LSF/YSZ/LSF/Ag-ff and b) Ag-f/LSF/YSZ/LSF/Ag-f symmetrical half-cells, at 700 , 641 and 588°C .

Another important criterion that determines the suitability of the cathode current collector is the cathode polarization resistance that is obtained upon its use. The Nyquist plots given in Figure 2 suggest that the Ag-ff current collector allows the achievement of acceptable cathode polarization resistances, while Ag-f does not. However, a more detailed analysis is required to understand what makes the Ag-f unsuitable for obtaining low cathode polarization resistances. For this purpose, Bode diagrams are constructed from the impedance responses of the symmetrical half-cells employing Ag-f and Ag-ff current collectors (Figure 4). The EIS response of the symmetrical half-cells using Ag-ff current collectors obtained at 588°C exhibit a single peak at the 10^2 Hz, which decreases in magnitude and increases in frequency with increasing temperature (Figure 4a). This behavior points to a temperature dependent electrochemical process and suggests that there is sufficient access of oxygen gas to the LSF thin film cathode. On the other hand, Figure 4b shows that the single peak in this case appears at frequencies below

10⁻² Hz, which is out of the measurement range of our device. It is also seen that with increasing temperature, the summit frequency remains out of range, but the magnitude of the imaginary part of the impedance decreases (Figure 4b). It may be argued that the dense microstructure (shown in Figure 1c) and the low frequency nature of the peak observed in the Bode plot (Figure 4b) corresponds to limited oxygen gas diffusion to the LSF surface, i.e., concentration polarization dominates the EIS response. However, concentration polarization is characterized by a weak dependence on temperature (Primdahl and Mogensen, 1999), whereas a clear decrease in the imaginary part of the impedance is observed here (Figure 4b).

An alternative explanation to the extremely poor electrochemical performance observed in the case of Ag-f current collectors is again connected to the dense microstructure originating from the glassy phase content, shown in Figure 1c. It is well-known that glassy pastes have been employed as gas sealants in SOFC stacks to prevent the intermixing of the fuel and oxygen gases (Fergus, 2005). Therefore, it is reasonable to assume that the glassy phase present in the Ag-f current collector completely blocks the surface of the LSF (instead of partially limiting gas transport there) and renders this layer inactive for the ORR/OER, as schematically depicted in Figure 5a. In this case, since no electrocatalytic activity is expected from the glassy phase, only the surfaces of Ag particles at the outer surface of the Ag-f current collector remain as the available sites for oxygen adsorption and reduction (Figure 5a). The extremely small amount of Ag surface that the Ag-f current collector exposes for oxygen adsorption and reduction is one factor that causes high polarization resistances at low frequencies. The other factor in the proposed scenario is that the percolated Ag network acts as the sole oxygen ion conducting path (Sarıkaya et al, 2012b; Kontoulis and Steele, 1991), which is a long one (Ag-f layer is ca. 50 μm thick). Further experiments involving EIS measurements on symmetrical half-cells employing Ag-f current collectors with different thicknesses are required to determine which process (oxygen adsorption/reduction at the surface or diffusion through the Ag lattice) dominates the EIS response.

On the other hand, when no glassy phase is present in the Ag current collector and when this layer is porous, the oxygen gas is facily transported to the active surfaces of the LSF particles of the thin film cathode where fast ORR/OER takes place.

5. Summary

A common practice to ensure adhesion of Ag current collector inks onto the surfaces of the solid oxide fuel cell cathodes is the addition of a glassy phase, which may undergo a glass transition at the operating

temperatures of 500-700 °C. In this study, the effects of frit addition on the measured electrochemical performance of La_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃ (LSF) cathodes has been investigated. The microstructure and electrochemical performance of two types of symmetrical half-cells; one utilizing frit-free, the other frit containing Ag current collectors were compared. The symmetrical half-cell employing current collector without frit exhibits a very acceptable cathode polarization and ohmic resistances. On the other hand, the half-cell with the frit containing Ag current collector showed slightly higher ohmic resistances and extremely large cathode polarization resistances. This was explained by the extremely dense microstructure of the frit containing Ag current collector layer i) reducing the Ag-LSF interfacial contact area and ii) blocking the electrocatalytic LSF surface, thus causing poor current collection and low electrochemical performance respectively.

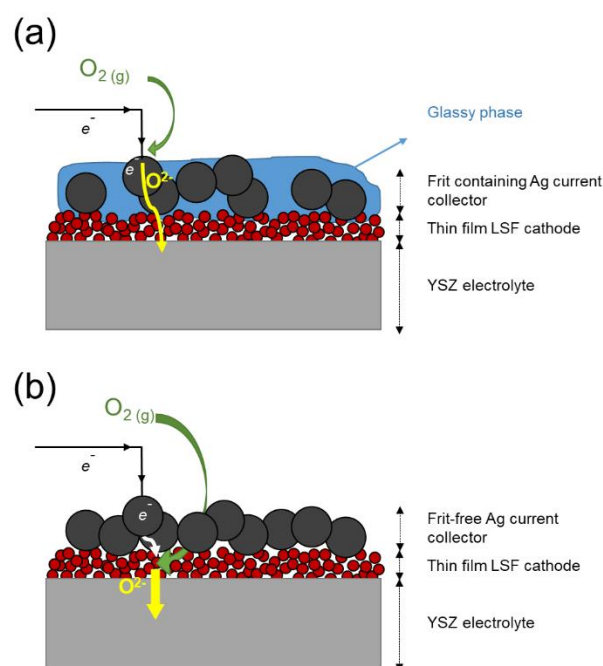


Figure 5. Schematic representation of the oxygen reduction pathway when a) frit containing Ag (Ag-f) and b) frit-free Ag (Ag-ff) current collector inks are used on LSF thin film cathodes.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge Mr. Ahmet Nazım for his help operating the SEM and Gebze Technical University for partially funding this work through a scientific research project (Project number: 2017-A-50).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Chen, X., Tao, Z., Hou, G., Xu, N., Zhang, Q., 2015. $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{FeO}_{3-\delta}$ composite cathode enhanced by $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ impregnation for proton conducting SOFCs. *Electrochim. Acta.* 165, 142–148.
- Fergus, J. W., 2005. Sealants for solid oxide fuel cells. *J. Power Sources.* 147, 46–57.
- Gong, Y., Qin, C., Huang, K., 2012. Can Silver Be a Reliable Current Collector for Electrochemical Tests? *ECS Electrochemistry Letters.* 2, F4-F7.
- Guo, Y. M., Zhou, Y. B., Chen, D. J., Shi, H. G., Ran, R., Shao, Z.P., 2011. Significant impact of the current collection material and method on the performance of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ electrodes in solid oxide fuel cells. *J. Power Sources.* 196, 5511-5519.
- Kontoulis, I., Steele, B.C.H. 1991. Determination of oxygen diffusion in solid Ag by an electrochemical technique. *Solid State Ionics.* 47, 317-324.
- Kosacki, I., Rouleau, C. M., Becher, P. F., Bentley, J., Lowndes, D. H., 2005. Nanoscale effects on the ionic conductivity in highly textured YSZ thin films. *Solid State Ionics.* 176, 1319 – 1326.
- Kwon, O.H., Choi, G.M., 2006. Electrical conductivity of thick film YSZ. *Solid State Ionics.* 177, 3057-3062.
- Li, M., Wang, Y., Wang, Y., Chen, F., Xia, C., 2014. Bismuth Doped Lanthanum Ferrite Perovskites as Novel Cathodes for Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 6, 11286–11294.
- Lyskov, N. V., Kolchina, L. M., Galin, M. Z., Mazo, G. N., 2018. Development of lanthanum-doped praseodymium cuprates as cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Solid State Ionics.* 319; 156-161.
- Patrakeev, M. V., Leonidov, I. A., Kozhevnikov, V. L., Poeppelmeier, K.R., 2005. p-Type electron transport in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ at high temperatures *J. Solid State Chem.* 178; 921–927.
- Primdahl, S., Mogensen, M. 1999. Gas Diffusion Impedance in Characterization of Solid Oxide Fuel Cell Anodes. *J. Electrochem. Soc.* 146; 2827-2833.
- Rane, S. B., Seth, T., Phatak, G. J., Amalnerkar, D. P., 2004. Effect of inorganic binders on the properties of silver thick films. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 15, 103-106.
- Sarikaya, A., Petrovsky, V., Dogan, F. Development of a silver based stable current collector for solid oxide fuel cell cathodes in: proceedings of the materials research society fall meeting 2011, Boston, United States, November 28-December 2, vol. 1385, Cambridge University Press, 2012, p. c07.
- Sarikaya, A., Petrovsky, V., Dogan, F., 2012. Silver composites as highly stable cathode current collectors for solid oxide fuel cells. *J. Mater. Res.* 27, 2024-2029.
- Tatko, M., Mosiałek, M., Dudek, M., Nowak, P., Kędra, A., Bielańska E., 2015. Composite cathode materials $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3\text{-La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ for solid oxide fuel cells. *Solid State Ionics.* 271, 103–108.
- Wachsmann, E., Ishihara, T., Kilner, J., 2014. Low-temperature solid-oxide fuel cells. *MRS Bulletin.* 39, 773-779.
- West, M., Manthiram, A., 2015. Synthesis of 3-dimensional silver networks and their application in solid oxide fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy.* 40, 4234-4240.
- Zhu, J.H., Ghezal-Ayagh, H., 2017. Cathode-side electrical contact and contact materials for solid oxide fuel cell stacking: A review. *Int. J. Hydrogen Energy.* 42, 24278-24300



YUMUŞAK ÇELİĞİN ASİDİK ORTAMDAKİ KOROZYON DAVRANIŞINA 5-(4-Dimetilaminobenzyliden)-rodanin MOLEKÜLÜNÜN ETKİSİ

Ece ALTUNBAŞ ŞAHİN*

Bingöl Üniversitesi, Genç MYO, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yumuşak Çelik, Korozyon, İnhibitör.</i>	5-(4-Dimetilaminobenzyliden)-rodanin (D-Rh) molekülünün, yumuşak çeliğin korozyonuna inhibisyon etkisi 0,5 M H ₂ SO ₄ çözeltisinde, elektrokimyasal impedans spektroskopisi, lineer polarizasyon direnci, kronoamperimetri ve potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden yararlanılarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar inhibisyon etkinliğinin D-Rh'in derişimi ile arttığını göstermiştir. Adsorpsiyon izotermi Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır. D-Rh molekülü için aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır.

THE EFFECT OF CORROSION OF 5-(4-Dimethylaminobenzyliden)-rhodanin on MILD STEEL

Keywords	Abstract
<i>Mild Steel, Corrosion, Inhibitor.</i>	The inhibition effect of 5-(4-Dimethylaminobenzyliden)-rhodanin (D-Rh) molecule on mild steel corrosion has been investigated in 0.5 M H ₂ SO ₄ solution using help with electrochemical impedance spectroscopy, linear polarization resistance, chronoamperometry and potentiodynamic polarization techniques. The experimental result show that the inhibitor efficiency increases with increasing inhibitor concentration. The adsorption isotherm is suitable with Langmuir. The E _a are calculated.

Alıntı / Cite

Şahin Altunbaş, E., (2019). Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyon Davranışına 5-(4-Dimetilaminobenzyliden)-rodanin Molekülünün Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 803-810.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Altunbaş Şahin, 0000-0002-3201-0487

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.08.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	15.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Başta yumuşak çelik olmak üzere, çelik malzemelerin endüstriyel anlamda çok fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Yumuşak çelik, boru hatları, rafineriler, madencilik ve inşaat sektörleri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin yaygın olarak kullanılmalarını kısıtlayan en etkin parametre korozyon dur ve birçok sanayi kuruluşunun korozyon olayından etkilenerek, çok büyük kayıplar vermeleri kaçınılmazdır. Doğal bir süreç olan korozyon, çevre ve insan gibi faktörler ele alındığında istenmeyen ve önlenmesi zorunlu olan bir olaydır (Erbil, vd.1984; Erbil, M.2012).

Günümüz koşullarında korozyonun teknik anlamda önüne geçilemeye de, korozyon kaynaklı hasarların zamanında saptanması ve korozyonun hızının belirlenerek kontrol altında tutulması, ayrıca korozyon kaynaklı hasarların yol açabileceği maddi zarar ve kayıpların azaltılabilmesi mümkündür.

Asit çözeltileri, endüstride çoğunlukla, metal ve alaşımların temizlenmesi, bunlara uygulanan aşındırma ve kireç çözme işlemlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Asit ile temizleme işlemleri ile metalin temizlenmesi sırasında metalin çözünmesi (Korozyon) gerçekleşebilmektedir.

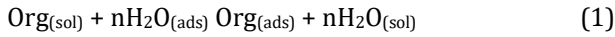
Korozyon olayını tamamen engellemek söz konusu

* İlgili yazar / Corresponding author: ealtunbassahin@gmail.com, +90-426-216 0050

olmamakla birlikte, metalik kaplama (Solmaz vd,2009), polimer kaplama (Altunbaş, vd.2008; Altunbaş vd,2010) anodik koruma, katodik koruma inhibitör kullanımı gibi farklı yöntemler ile metallerin ömürleri uzatılabilir. Bu yöntemler içerisinde yumuşak çelikler için en yaygın olarak kullanılan yöntem inhibitörlerin kullanılmasıdır. (Musa, vd.,2009, Abbouda .vd.2009).

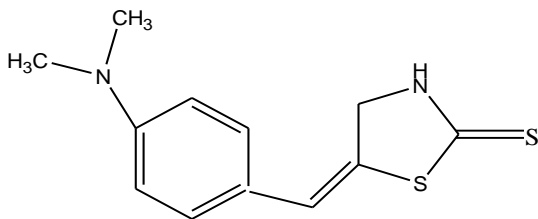
İnhibitörler organik ve inorganik inhibitör olarak sınıflandırılırlar. Organik inhibitörler adsorpsiyon inhibitörleri olarak tanımlanır ve çoğunlukla asidik çözeltilerde tercih edilirler. İnhibitör olarak kullanılan organik moleküllerin metal yüzeyine adsorpsiyonu sterik faktörler, elektron sunan grupların elektron yoğunluğu, molekül yapısında bulunan adsorpsiyon merkezi olarak kabul edilen N, O, S, P gibi atomlar, ikili yada üçlü bağlara bağlıdır (Döner vd.2010).

Bir organik bileşiğin inhibitör olarak etkinliği, temel olarak 1 numaralı eşitlikte verildiği gibi korozif ara yüzeyde su molekülünün yerine geçerek metal yüzeyinde tutulma eğilimine bağlıdır (Solmaz vd.2009, Solmaz, vd.2014).



Literaüre bakıldığında Rodanin ve türevlerinin kimyasal yapılarında N-C=S moleküllerinin bir arada bulunduğu görülmektedir. Bu moleküller rodanin ve türevlerinin, antibakterial (Foye, W. 2011), antidiyabetik (Momose vd.1991), antiviral (Mishra vd.1997), antimikrobial (Sudo vd.1999) gibi biyolojik aktivitelerde kullanılmasını sağlamıştır. Bunun yanında bazı soy metal iyonlarının analizi için seçici ve duyarlı olan rodanin türevleri korozyon önleyici olarak kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır, (Döner vd.2011, Altunbaş, vd.2008, Solmaz vd.2014) kullanılırlar. Rodanin molekülü aktif merkez olarak 3 çeşit heteroatom içermektedir, bu özelliği kolayca üretilip saflaştırılmasında avantaj sağlamaktadır (Solmaz vd.2005)

Bu çalışmada, Şekil 1 de molekül yapısı verilen 5-(4-Dimethylaminobenzyliden)-rodaninin (D-Rh) 0,5 M H₂SO₄ çözeltisindeki korozyon davranışı araştırılmıştır. Farklı derişimlerde yapılan analizler de molekülün etkinliğinin artan derişimle arttığı belirlenmiştir. Termodinamik çalışmalarda ise molekülün adsorpsiyon izoterminin Langmuir izotermine uyduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. D-Rh molekülün kimyasal yapısı

2. Bilimsel Yazın Taraması

G.Kardaş R.Solmaz, (2005), yaptıkları çalışmada 0,5 M HCl çözeltisi içerisinde yumuşak çeliğin korozyonuna seçtikleri bazı barbitürat türevlerinin (barbutik asit, etilbarbutrik asit ve 2-tiyobarbutrik asit) etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda elektrokimyasal impedans spektrometresi (EIS) ve lineer polarizasyon direncinden (LPD) tekniklerinden yararlanmışlardır. İnhibisyon etkisinin belirlenmesinde kimyasalların moleküler yapıları ve seçilen inhibitörlerin konsantrasyonunun önemli olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları inhiibtörler içerisinde en etkin olanının 2-tiyobarbutrik olduğunu belirtmişler ve 2-tiyobarbutrik asitin adsorpsiyon denge konsantrasyonu ve standart serbest enerji değerleri belirlenmiştir.

G.Kardş, R.Solmaz (2007), Rodainin molekülünün bakır yüzeyinde elektrokimyasal sentezini dönüşümlü voltametri tekniğinden yararlanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada bakır yüzeyine sentezlenen Rodainin molekülünün yapısı F-tır, UV, TGA gibi tekniklerle aydınlatılmıştır.

R.Yıldız (2017), yaptığı çalışmada yumuşak çeliğin asidik ortamdaki korozyon davranışına Hekzametilen tetra amin molekülünün etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada elektrokimyasal teknikler ve kuantum kimyasal hesaplamalar kullanılmıştır. İnhibitörün adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu ve inhibitörün metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturduğu belirlenmiştir.

S.Öztürk, (2018), yaptığı çalışmada, 4-okso-kinazolin türevi katyonik yüzey aktif maddelerin sentezini gerçekleştirmiş ve bu maddelerin düşük karbon çeliği için asidik ortamdaki korozyon etkisini araştırmıştır. Yapılan deneylerde, yüzey aktif maddelerin yapılarında bulunan N ve O moleküllerinin yüzeye yaklaşıp sıkı bir adsorpsiyon sağladığı tesbit edilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Elektrolit: 0,5 M H₂SO₄ çözeltisi, farklı derişimlerde (5 – 0,1 mM) D-Rh içeren 0,5 M H₂SO₄ çözeltileri

Kullanılan Elektrotlar:

Çalışmada kullanılan elektrotlar Tablo 1.de verilmiştir

CHI 604 Electrochemical Analyzer, (Seri No. 64721A) impedans ölçümleri, LPD ve akım-potansiyel eğrilerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Bütün elektrokimyasal ölçümler geleneksel üç elektrot tekniği yardımı ile atmosfere açık koşullarda, karıştırılma işlemi yapılmadan ve oda sıcaklığında (25 °C de sabitlenmiş su banyosunda) gerçekleştirilmiştir

Alternatif Akım İmpedans Yöntemi (EIS): EIS

teknğinde, yumuşak çelik elektrotlar inhibitör içeren ve içermeyen asidik ortamlarda 1 saat bekletildikten sonra yapılmıştır. EIS deneyler, 3 elektrot sisteminden okunan açık devre potansiyelinde, 10^5 - 10^{-1} Hz frekans aralığında ve 10 mV genlik uygulanarak yapılmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan elektrotlar

Elektrotun Adı	Elektrotun Yapısı
Çalışma Elektrotu	Yumuşak Çelik (0.17%, Mn (1.60%), Si (0.59%), P (0.04%) ve kalan kısım Fe)'dir
Karşı Elektrot	2 cm ² yüzey alanına sahip platin levha
Referans Elektrot	Gümüş- gümüş klorür elektrot (Ag/ AgCl,Cl-)

Lineer Polarizasyon Direnci Yöntem (LPD): EIS deneyleri bitir bitmez sistemden okunan açık devre potansiyelinden ± 10 mV potansiyel aralığında 1 mV tarama hızıyla elde edilmiştir. Polarizasyon direnç değerleri, elde edilen eğrilerin eğiminden hesaplanmıştır.

Akım Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi: LPD deneyleri bitir bitmez 3 elektrot sisteminden okunan açık devre potansiyelleri belirlenerek 1 mV/s tarama hızı ile açık devre potansiyelinden -0,24 V'a kadar olan bölgeden anodik eğriler elde edilmiştir. Katodik eğrilerin elde edilmesi için, çalışma elektrotu farklı girtilerdeki zımpara kağıtları ile parlatılmış, ve yeni çözeltiliye daldırılmıştır. 1 saat bekleme süresinden sonra aynı tarama hızıyla açık devre potansiyelinden -0,80 V potansiyel aralığında akım potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Her bir deney için korozyon akımları, elde edilen katodik akım potansiyel eğrilerinin çizgisel bölgelerinin (akımın on kat arttığı) açık devre potansiyeline ekstrapole edilmesi ile hesaplanmıştır.

İnhibitörün asidik ortamdaki en etkin derişimi belirlendikten sonra ($5,0 \times 10^{-2}$ M) farklı sıcaklıklarda (25-55°C) (TH:5 mV/s) açık devre potansiyelinden -0,80 V'a kadar katodik eğriler elde edilmiştir. Bu Katodik akım potansiyel eğrilerinden, inhibitörlerin metal yüzeyine adsorpsiyon mekanizmalarına sıcaklığın etkisi belirlenmiştir. Bu amaç için, belirlenen korozyon akımlarına ($-\ln i_{kor}$) karşı sıcaklık (1/T) grafiği çizilmiştir.

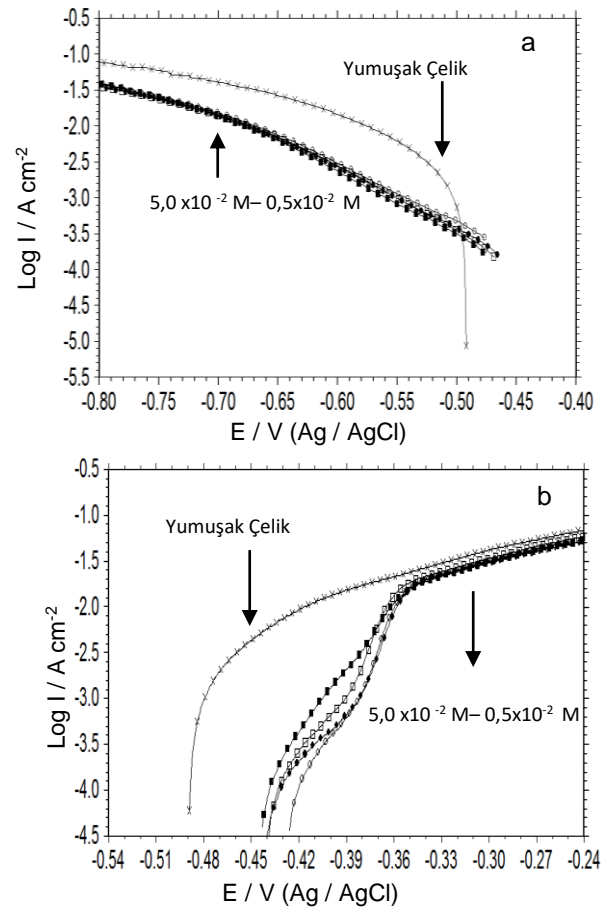
Kronoamperimetri: D-Rh içeren ve içermeyen ortamda yumuşak çelik için, -0,100 - 0,100 V aşırı gerilimlerinde açık devre potansiyelinde 1 saat bekletilerek elde edilmiştir.

SEM Görüntüleri: İnhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda yumuşak çeliğin yüzey görüntüleri SEM tekniğinden yararlanılarak belirlenmiştir.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Potansiyodinamik Polarizasyon Eğrileri

Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışları inhibitörsüz ve farklı derişimler de D-Rh içeren inhibitörlü 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerinde yarı logaritmik akım potansiyel eğrileri yardımıyla incelenmiştir (Şekil 2 a ve 2 b). Yumuşak çeliğin İnhibitör içermeyen ortamda ki akım yoğunluğu inhibitör içeren ortamlarla kıyaslandığında daha yüksektir. İnhibitörsüz ortamda i_{kor} değeri 3,49 iken, inhibitör derişimi artıca akım yoğunluğu değerleri azalmıştır. İnhibitör içermeyen ortamda yumuşak çeliğin korozyon potansiyeli (E_{kor}) 492 mV olarak belirlenmiştir. Farklı derişimlerde D-Rh içeren ortamlarda ise bu değer -480 - 465 mV aralığında değişmektedir. İnhibisyon etkinliği değerlerinin dağılım aralığı % 97,4 - 95,0 olmuştur. Katodik Tafel sabiti ($-\beta_c$) inhibitörsüz ortamda 281 mV/dec iken inhibitörlü ortamlarda 223 - 120 mV/dec aralığında değişmiştir. Korozyon hızı (KH) en yavaş en etkin derişim olan $5,0 \times 10^{-2}$ de tesbit edilmiştir. (yumuşak çeliğin anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinden elde edilen çeşitli parametreler Tablo 2 de ayrıntılı olarak verilmiştir).



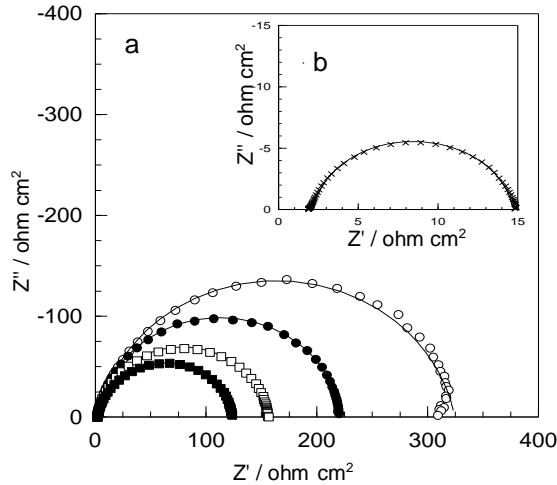
Şekil 2. Yumuşak çeliğin 0,5 M H₂SO₄ çözeltilisinde farklı derişimlerde D-Rh içeren ve içermeyen ortamlarda katodik (a) ve anodik (b) Tafel eğrileri. Yumuşak çelik (x) 0.1×10^{-2} (■) 0.5×10^{-2} (□) 1.0×10^{-2} (●) and 5.0×10^{-2} (○) mM D-Rh.

Tablo 2. Farklı derişimlerde D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerinde yumuşak çeliğin polarizasyon eğrilerinden hesaplanan korozyon parametreleri

	C (mM) 10 ⁻²	E _{ko} r(Mv Ag/AgCl)	i _{kor} (mA cm ⁻²)	-bc (V dec ⁻¹)	KH (mm y ⁻¹)	η %
D-Rh	Y.Çelik	-492	3.490	281	40. 40	-
	0.1	-480	0.148	223	1.730	95.0
	0.5	-477	0.100	205	1.159	94.8
	1.0	-470	0.091	217	1.055	97.3
	5.0	-465	0.089	120	1.031	97.4

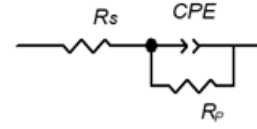
4.2. Elektrokimyasal İmpedans Septroskopisi ve Lineer Polarizasyon Direnci

Yumuşak çeliğin farklı derişimlerde (0.1 x 10⁻² - 5.0 x 10⁻² mM) D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ ortamında 1 saat bekleme süresi sonunda elde edilen Nyquist eğrileri Şekil 3 de verilmiştir. Verilerden ZView yazılımı yardımıyla sistem için önerilen eşdeğer devreler Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Yumuşak çelik elektrotların D-Rh içermeyen (a) ve farklı derişimlerde D-Rh içeren (b) 0,5 M H₂SO₄ çözeltilisinde 1 saat bekleme süresi sonunda elde edilen Nyquist eğrileri

Şekil 3.'de görüldüğü gibi, inhibitör içeren ve içermeyen asidik ortamlarda yumuşak çeliğin Nyquist eğrisi benzer davranış göstermektedir. Bu eğriler, yüksek frekans bölgesinde başlayan ve düşük frekans bölgesinde kapanan yarım daire şeklindedir. Bu eğrilerden polarizasyon dirençleri hesaplanmıştır. Eğrilerin çapı polarizasyon dirençlerine karşılık gelmektedir. D-Rh içeren asidik çözeltiliden elde edilen Nyquist eğrilerinden hesaplanan polarizasyon direnç değerleri azalan derişim ile sırasıyla 322 Ω, 220 Ω, 150 Ω, 122 Ω dır. Değerlere bakıldığında, inhibitör derişiminin artması ile polarizasyon direnci değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. Yumuşak çelik için inhibitör içeren ve içermeyen ortamlarda önerilen devre modelleri

İnhibitör içermeyen ortamda bu değer 12,5 ohm olarak belirlenmiştir. Bu değer demirin çözünmesinin inhibitör içeren ortamda fazla olduğunu

Yumuşak çelik elektrotun, 0,5 M H₂SO₄ içerisinde D-Rh içeren ve içermeyen ortamlarda LPD yönteminden belirlenen polarizasyon dirençleri, Nyquist eğrilerinden belirlenen polarizasyon dirençleri, Tablo 3 de kıyaslamak üzere verilmiştir. Aynı tabloda ayrıca; yüzde etkinlik ve CPE değerleri de verilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi artan derişimle Rp ve Rp* değerleri artmaktadır. Bu artan derişimle ortamda bulunan inhibitör moleküllerinin artması ve yumuşak çelik yüzeyine daha fazla adsorplanarak metal ile korozif ortam arasındaki etkileşimin kesilmesi ile açıklanabilir. Tablo 3 incelendiğinde CPE değerlerinin artan derişim ile azaldığı görülmektedir. Bu durum, metal yüzeyi ve inhibitör molekülleri arasındaki etkileşimin artmasıyla açıklanabilir. Yüzeydeki etkileşimlerinin artması ile de lokal dielektrik sabitinin azalması ve elektriksel çift tabakanın kalınlığının artması gerçekleşecektir (Solmaz,2005)

Tablo 3. Farklı derişimlerde D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerinde yumuşak çeliğin impedans ve LPR eğrilerinden hesaplanan korozyon parametreleri

	C10 ⁻²	EIS			LPR		
		R _p (Ω cm ²)	CPE _{dl} (μF cm ⁻²)	n	η %	R _p * (Ω cm ²)	η %
Y.Ç.		12,5	381	0,92	-	15,4	-
D-Rh	0,1	122	195	0,92	89,7	120	87
	0,5	150	146	0,94	91,6	145	89
	1,0	220	142	0,93	94,3	218	92
	5,0	322	139	0,89	96,1	313	95

D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilisinde yumuşak çelik için impedans ve LPD eğrilerinden farklı zamanlarda hesaplanan korozyon parametreleri Tablo 4 de verilmektedir. Tabloda açık bir şekilde görüldüğü gibi, inhibitör içeren ve içermeyen ortamda yumuşak çelik için impedans ve LPD eğrilerinden elde edilen Rp değerleri zamanla azalmıştır. Buna rağmen 0,5 X10⁻² M D-Rh içeren ortamda EIS den hesaplanan etkinlik 87,9, LPD den belirlenen etkinlik ise %92,5 olarak belirlenmiştir. Bu D-Rh'n uzun süre metal yüzeyinde korozif ortama karşı koruma sağladığını göstermektedir.

4.3. Adsorpsiyon İzotermi

Metal yüzeyi ve inhibitör arasındaki ilişkiyi belirlemede adsorpsiyon izotermi kullanılması yaygın bir yöntemdir. Frumkin, Temkin ve Langmuir çoğunlukla kullanılan adsorpsiyon izotermidir. İnhibitörlerin metal yüzeylerine hangi izoterm göre adsorbe olduklarını açıklayabilmek için, inhibitör derişimi (C) ile yüzeyin kaplanma kesri (θ) arasındaki bağıntıdan yararlanılabilir (Singh, vd 2009). Yüzey kaplama kesri 2 nolu eşitlikten belirlenebilir (Solmaz,2010),

$$\theta = \frac{\eta}{100} \quad (2)$$

Langmuir adsorpsiyon izotermi denklemi ise 3 nolu eşitlikteki gibi ifade edilebilir,

$$\frac{C}{\theta} = \left(\frac{1}{K_{ads}} \right) + C \quad (3)$$

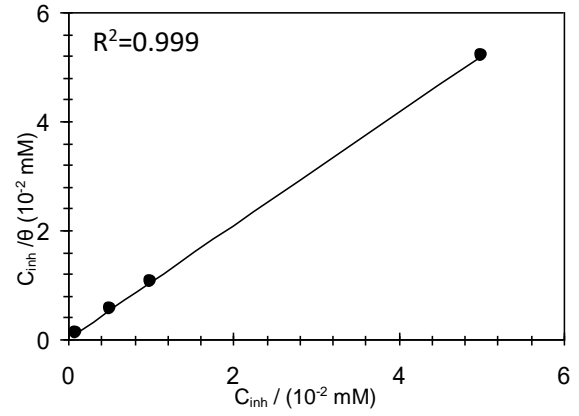
3 nolu denklemde 4 nolu eşitlikte belirtilen K_{ads} adsorpsiyon prosesinin denge sabiti olup ve ΔG bu sabitten belirlenebilir.

Tablo 4. 0,5 x10⁻² M D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerinde yumuşak çeliğin impedans ve LPD eğrilerinden farklı zamanlarda hesaplanan korozyon parametreleri göstermektedir

t (s)	Y.Ç.		D-Rh			
	EIS	LPR	EIS	LPR	EIS	LPR
	R_p (Ω cm ²)	R_p (Ω cm ²)	R_p (Ω cm ²)	R_p (Ω cm ²)	η %	η %
1	12,50	15,40	322	313	96,1	95,0
24	4,25	5,70	395	384	98,9	98,5
48	2,75	2,72	208	208	98,7	98,6
96	2,61	2,58	22,0	34	88,1	92,4
120	2,50	2,45	20,8	33	87,9	92,5

$$K_{ads} = \frac{1}{55.5} \exp\left(\frac{-\Delta G^{\circ}_{ads}}{RT}\right) \quad (4)$$

D-Rh'ın yüzeye adsorpsiyonun hangi izotermi uduğunu belirlemek için bu izotermi çizilmiş ve R² değeri Şekil 5 de verilmiştir. R² değerinden adsorpsiyonun Langmuir adsorpsiyon izotermine uduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Yumuşak çeliğin D-Rh için elde edilen Langmuir adsorpsiyon izotermi

K_{ads} değeri D-Rh için $5,0 \times 10^3 \text{ M}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. ΔG°_{ads} - 40 kJ mol⁻¹ den küçük olması fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. -40 kJ mol⁻¹ den daha negative değerlerde ise kimyasal adsorpsiyondan bahsedilebilir. D-Rh için ΔG°_{ads} değeri -38.75 kJ mol⁻¹ olarak belirlenmiştir.

4.5. Kinetik Hesaplamalar

$5,0 \times 10^{-2}$ M D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerinde yumuşak çelik için E_a değeri farklı sıcaklıkta yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. E_a değeri Arrhenius eşitliğinden (Eşitlik 5) belirlenebilir (Solmaz,2010).

$$i_{corr} = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

Bu eşitlikte i_{kor} korozyon akımı, E_a aktivasyon enerjisi R ise gaz sabitidir.

E_a değerleri inhibitör varlığında ve yokluğunda sırası ile 29,3 ve 82,24 kJmol⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aktivasyon enerjisi değerlerinin büyük olması, inhibitörün metal yüzeyine aktif bölgelerinden bağlanmasını göstermektedir.

4.4. Kronoamperimetrik Ölçümler

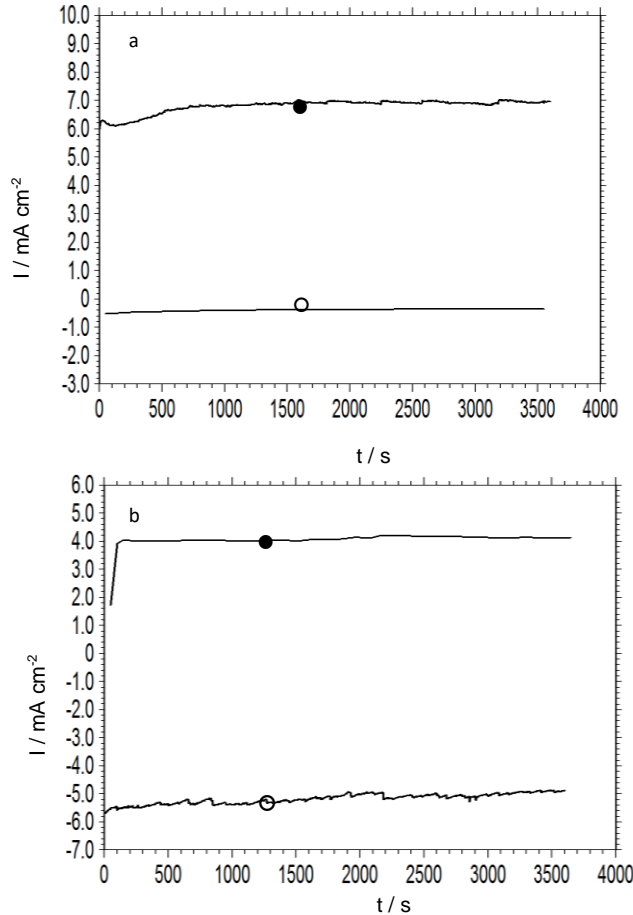
Şekil 6 da farklı aşırı gerilimlerde D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H₂SO₄ çözeltilerde yumuşak çelik için elde edilen kronoamperimetrik eğriler verilmiştir. Akımın seviyesi inhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonun kuvvetini ifade etmektedir. Şekil 6 a. da görüldüğü gibi akım yoğunluğu değerleri D-Rh içermeyen ortamda daha azdır. Bu durum, D-Rh içeren ortamda, - 0,100 V aşırı gerilim uygulandığında inhibitörün metal yüzeyine kuvvetli bir şekilde adsorbe olduğunu göstermektedir.

İnhibitör içermeyen ortamda 0,100 V da anodik aşırı gerilimi uygulandığında ise (Şekil 6.b.) akım

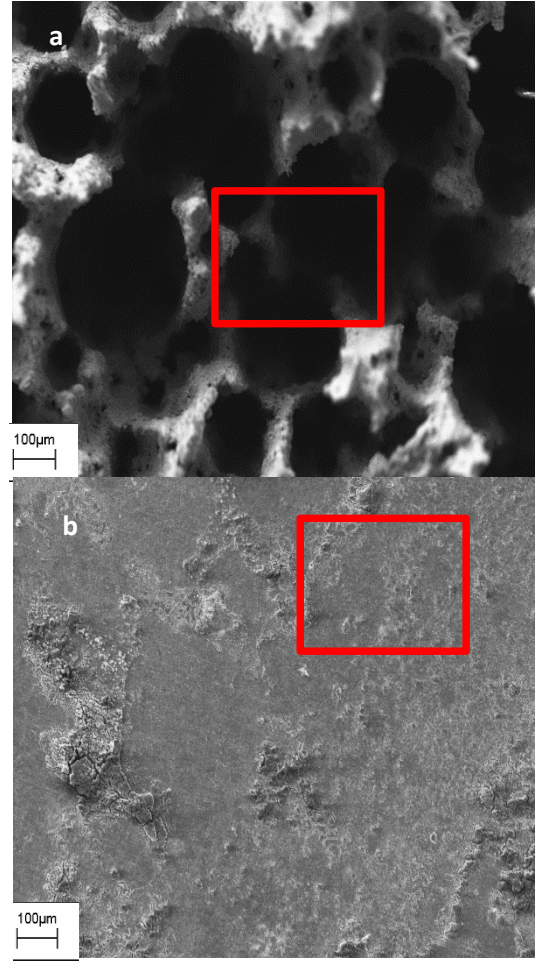
yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Ortama inhibitör eklendiğinde ise ölçülen akım yoğunluğu değerlerinden D-Rh moleküllerinin metal yüzeyinde iyi bir şekilde adsorplandığı anlaşılmaktadır.

4.6. SEM Analizleri

Şekil 7 a ve b' de yumuşak çeliğin 120 s boyunca inhibitör içermeyen ve inhibitör içeren asidik ortamdaki SEM görüntüleri verilmektedir. Şekilde 7. a da görüldüğü gibi, 120 s sonunda inhibitör içermeyen ortamda bekletilen yumuşak çelik elektrotun yüzeyinde oldukça derin çukurlar saptanmıştır (Şekil 7.a kırmızı bölge). İnhibitör içeren ortamda bekletilen yumuşak çeliklerin ise görünüşleri oldukça farklıdır (Şekil 7.b.). İnhibitör içeren ortamda yumuşak çeliğin korozyon oldukça yavaşlamıştır (Şekil 7.a kırmızı bölge). Bu durum D-Rh moleküllerinin metal yüzeyinde etkin ve sıkı bir bariyer oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca; SEM görüntülerinden elde edilen bu sonuçlar, elektrokimyasal analizler sonucu elde edilen verileri de desteklemektedir.



Şekil 6. Yumuşak çelik elektrotların + 0,100 (a) ve - 0,100 (b) aşırı gerilimlerde D-Rh içermeyen (●) ve $5,0 \times 10^{-2}$ M D-Rh içeren (○) 0,5 M H_2SO_4 ortamlardaki kronoamperimetrik eğrileri



Şekil 7. D-Rh içeren ve içermeyen 0,5 M H_2SO_4 çözeltilerinde 120 s bekletilen yumuşak çeliğin SEM görünüşleri

5. Sonuç ve Tartışma

D-Rh'nin 0,5 M H_2SO_4 içeren çözeltilerde yumuşak çeliğin korozyonuna karşı etkin bir inhibitör olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır;

- D-Rh 0,5 M H_2SO_4 çözeltisinde yumuşak çeliğin korozyonu için etkili bir inhibitördür. İnhibisyon etkinliği 5×10^{-2} mM inhibitör derişimi için %96.1 olarak belirlenmiştir. İnhibitörün asidik ortamda ki etkinliği artan derişim ile artmaktadır.
- D-Rh molekülünün adsorpsiyonu Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır.
- Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri D-Rh'nin mix tip inhibitör sınıfında değerlendirilebileceğini göstermektedir.
- Nyquist eğrileri inhibitörün 48 saate kadar yüksek etkinlik sağladığını, ilerleyen zamanlarda etkinliğin azaldığını göstermektedir.
- Elektrotların yüzey morfolojileri SEM tekniği ile belirlenmiştir. Asidik ortamda D-Rh içeren ortamda elektrot yüzeyinin, D-Rh içermeyen ortamdaki elektrot ile

kıyaslandığında daha pürüzsüz ve düz bir görünüm aldığı saptanmıştır.

Teşekkür

Desteklerinden dolayı Çukurova Üniversitesi ve Prof.Dr. Gülfeza Kardeş'a teşekkür ederim.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar

Abbouda,, Y., Abourrichea, A., Berradaa, T. Saffaja, Charroufa, M., Bennamaraa, M., Hannacheb,A. H.,2009. A novel azo dye, 8-quinolinol-5-azoantipyrine as corrosion inhibitor for mild steel in acidic media, *Desalination*, 237, 175.

Aljourani, J., Raeissi, K., Golozar,M.A., 2009. Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution, *Corrosion Science*,51,1836.

Altunbaş, E., Solmaz,R., Kardeş G.,2010. Corrosion behaviour of polyrhodanine coated copper electrode in 0.1M H₂SO₄ solution. *Material Chemist and Physic*, 121,354..

Altunbaş,E. 2008. Polirodaninin Bakır Üzerine Elektrokimyasal Sentezi Ve Korozyon Davranışlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi.Türkiye.

Döner, A., Kardas, G. 2011. N-Aminorhodanine as an effective corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄,*Corrosion. Science*. 53, 4223.

Erbil, M., 1984. Korozyon İnhibitörleri, SEGEM, Ankara.

Erbil, M., 2012. Korozyon İlkeler Önlemler, Türkiye Korozyon Derneği, Ankara.

Foye W.O., Tovivich P.J.,2011. *Pharm. Sci*. 66,1607.

Quartarone, G., Bonaldo,L. Tortato,C.2006. Inhibitive action of indole-5-carboxylic acid towards corrosion of mild steel in deaerated 0.5 M sulfuric acid solutions, *Applied Surf.ace Science* 252,8251.

Kardeş G., 2005. The Inhibition Effect of 2-Thiobarbituric Acid on the Corrosion Performance of Mild Steel in HCl Solutions. *Material Science*, 41, 337.

Li, S.L., Wang,Y.G., Chen S.H., Yu, R., Lei, S.B., Ma, H.Y., Liu, X.De.1999, Some aspects of quantum chemical

calculations for the study of Schiff base corrosion inhibitors on copper in NaCl solutions, *Corrosion Science*.41,1769.

Mishra, S., Srivastava, S.K. *Indian 1997. J. Chem. Sected. B* 36, 826.

Momose Y., Meguro K., Ikeda H., Hatanaka C., Oi, S. Sohda, T. 1991. Studies on Antidiabetic Agent Synthesis and Biological Activities of Pioglitazone and Related Compounds *Chem. Pharm. Bull.*39,1440.

Musa, A. Y., Kadhum,A.A.H., Mohamad,A. B., Daud, A. R. M., Takriff, S., . Kamarudin, S. KA., 2009. comparative study of the corrosion inhibition of mild steel in sulphuric acid by 4,4-dimethyloxazolidine-2-thione, *Corrosion Science*. 51, 2393.

Öztürk S., Düşük karbon çeliğinin asidik ortamdaki korozyonuna karşı inhibitör özelliği gösteren 4-okso-kinazolin türevi katyonik yüzey aktif maddelerin sentezi 2018,Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (3), 986-1000

Solmaz, R., Kardeş, G., Yazıcı, B., Erbil, M., 2005. The Effect of Rhodanine on the Corrosion Performance of Mild Steel with Immersion Time. *chemistry and material science*, 41: 581-585.

Solmaz, R. 2010Investigation of the inhibition effect of 5-((E)-4-phenylbuta-1,3-dienylideneamino)-1,3,4-thiadiazole-2-thiol Schiff base on mild steel corrosion in hydrochloric acid, *Corros.Sci*. 52 3321-3330.

Solmaz,R.2014. Investigation of adsorption and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by 5-(4-Dimethylaminobenzylidene)rhodanine. *Corros.Sci*. 79,169.

Solmaz, R. Şahin, A. E., Kardas, G.2011. Adsorption and corrosion inhibition effect of 2((5mercapto1,3,4thiadiazolylimino)methyl)phenol Schiff base on mild steel, *Mater.Chem. Phys*.125 ,796.

Solmaz,R.,Döner A., Kardeş G.2009, The stability of hydrogen evolution activity and corrosion behavior of NiCu coatings with long-term electrolysis in alkaline solution. *International Journal of Hydrogen Energy* 34, 2089.

Singh, A.K., Quraishi, M.A.,2009. Effect of 2,2' benzothiazolyl disulfide on the corrosion of mild steel in acid media, *Corrosion Science* 51-2752.

Sudo K., Matsumoto, Y., Matsushima M., Fujiwara, M. Konno, K. Shimotohno,K. Shiget S., Yokota, T. 1997.Hepatits C virus Protease Inhibitors Thioazolidine Derivatives .*Biochemical and*

Biophysical. Biochem. Biophys. Res. Commun.
238,643.

Yıldız, R. 2017 Düşük Karbonlu Çeliğin Korozyon Davranışına Hekzametilen Tetra Amin'in Etkisi Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ.29(2), 147.



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ SEÇİLİ DERSLİKLERİNİN İÇ ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Sema YURDAKUL*¹, Nihat AYYILDIZ², Vesile Ecem ÇELİK¹, Esra İÇÖZ³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Isparta, Türkiye

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

SDÜ,
Derslik,
İç Çevre Kalitesi,
Termal Konfor,
CO₂ Seviyesi.

Öz

Öğrencilerin eğitim gördükleri çevrenin onların tüm davranışlarını etkilediği hususu bugün bilimsel bir gerçek olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden etkili ve başarılı eğitim için bu çevrenin düzenlenmesi gereklidir. Bu kapsamda, Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) dersliklerindeki mevcut iç çevre kalitesinin belirlenebilmesi ve durumun ortaya konulması amacıyla, bu çalışmada SDÜ'nün 3 farklı fakültesinde (Mühendislik, Teknoloji ve Hukuk Fakülteleri) yer alan toplamda 86 dersliğin CO₂, sıcaklık, nem, aydınlatma ve gürültü seviyeleri ölçülmüş ve elde edilen değerler mevcut standartlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada ortalama sıcaklık 18,5 °C (Mühendislik Fak.) ile 29 °C (Hukuk Fak.), nem %16,6 (Mühendislik Fak.) ile %54,4 (Teknoloji Fak.), CO₂ 629 ppm (Mühendislik Fak.) ile 3924 ppm (Mühendislik Fak.), aydınlatma 202 lüks (Mühendislik Fak.) ile 866 lüks (Mühendislik Fak.) ve gürültü değerleri ise 27,4 dBA (Hukuk Fak.) ile 55,3 dBA (Mühendislik Fak.) arasında değişmektedir. Ayrıca, yüksek doluluk oranına sahip olan dersliklerde doğal havalandırmanın yetersiz kaldığı ve oldukça yüksek CO₂ değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Genel olarak ölçümlerin gerçekleştirildiği fakülteler göz önüne alındığında, mevcut dersliklerde bir aydınlatma, gürültü ve nem probleminin olmadığı ancak Mühendislik Fakültesi binasının eski olmasından dolayı binadaki bazı dersliklerin yeterince ısıtılmadığı, buna karşın Hukuk Fakültesindeki dersliklerin ise aşırı ısıtıldığı yani Fakültelerdeki ısıtma sistemlerinin yeterince verimli ve istenilen randımanda çalıştırılmadığı görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE INDOOR ENVIRONMENT QUALITY OF THE SELECTED CLASSROOMS OF THE SULEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Keywords

SDU,
Classroom,
Indoor Environment Quality,
Thermal Comfort,
CO₂ Level.

Abstract

Today, environment in which the students are educated affects all their behaviors are accepted as a scientific fact. Therefore, the environment should be organized in accordance with successful and effective education. For this purpose, CO₂, temperature, humidity, lighting and noise levels were measured and the values obtained were compared with the current standards in 86 classrooms located in the Engineering, Technology and Law Faculties of Suleyman Demirel University (SDU), in order to determine the existing indoor quality of the classrooms in SDU and to reveal the real situation. In the study, the average temperatures varied from 18.5 °C (Faculty of Engineering) to 29 °C (Faculty of Law), humidity varied from 16.6% (Faculty of Engineering) to 54.4% (Faculty of Technology), CO₂ varied from 629 ppm (Faculty of Engineering) to 3924 ppm (Faculty of Engineering), lighting varied from 202 lux (Faculty of Engineering) to 866 lux (Faculty of Engineering) and noise varied from 27.4 dBA (Faculty of Law) to 55.3 dBA (Faculty of Engineering). Furthermore, it was observed that in the classrooms with high occupancy rate, natural ventilation was insufficient and high CO₂ values were obtained. In general, the faculties in which the measurements were carried out were considered, it was seen that there was no lighting, noise and humidity problems in the existing classrooms. However, although some classrooms located in the buildings of the Faculty of Engineering which has

* İlgili yazar / Corresponding author: Sema Yurdakul: semayurdakul@sdu.edu.tr, +90-246-211-1282

the oldest buildings in the campus could not be heated sufficiently, it was observed that some of the classrooms were overheated in Faculty of the Law. Therefore, it has been seen that heating systems in faculties cannot be operated efficiently and in desired performance.

Alıntı / Cite

Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V.E., İçöz, E. (2019). Süleyman Demirel Üniversitesi Seçili Dersliklerinin İç Çevre Kalitesi Açısından İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 811-818.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Yurdakul, 0000-0002-1728-1588
N. Ayyıldız, 0000-0002-1734-4251
V.E. Çelik, 0000-0002-9753-3764
E. İçöz, 0000-0001-9021-4157

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.03.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

İnsanların büyük bir kısmı zamanlarının %90'nını kapalı ortamlarda geçirmektedir (Lee ve Chang, 2000; Jurado vd., 2014). Ancak bu kapalı ortamlar, dış ortamdan gelen ve/veya iç ortamlarda gerçekleştirilen faaliyetler sonucu oluşan kirleticilerle birlikte insan sağlığını ve üretkenliğini olumsuz yönde etkileyen bir ortama dönüşmektedir (Jurado vd., 2014).

Yaşadığımız ortamlardaki sıcaklık ve nem değerleri, gürültü, aydınlatma, CO₂ ve havalandırma seviyeleri iç çevre kalitesini belirleyen parametrelerdendir (Fadeyi vd., 2014). Tıpkı konutlarda ve iş yerlerinde olduğu gibi üniversitelerde de öğrenciler ve üniversite çalışanları zamanlarının çoğunu iç ortamlarda geçirmektedir.

İç çevre kalitesinin öğrencilerin çalışma ve öğrenme performansını arttırdığı ve devamsızlığı azalttığı literatürde sıklıkla yer almaktadır (Jones ve Kirby, 2012). Ancak ülkemizde sınıfların kalabalık olması, binaların ve pencerelerin sızdırmaz oluşu, çoğu binalarda mekanik havalandırmanın olmayışı ve ikili öğretimin olması, tavan yüksekliklerinin yetersiz olması ve sınıfların ders aralarında yeterli seviyede havalandırılmaması hem iç mekanlarda kirleticilerin birikimine sebep olmakta hem de mekanın hava kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir (Bulgurcu vd. 2006).

Literatürde, okullardaki iç çevre kalitesi parametrelerinin (havalandırma, termal konfor, CO₂ seviyesi, iç ortam kirleticileri vd.) belirlenmesi ve öğrenciler üzerindeki etkileri üzerine bir çok çalışma yapılmakla birlikte (Myhrvold vd., 1996; Lee ve Chang, 2000; Shendell vd., 2004; Wargoocki ve Wyon, 2007; Teli vd., 2013; Haverinen-Shaughnessy ve Shaughnessy, 2015; Dorizas vd., 2015; Abdallah, 2017), okullardaki iç çevre parametreleri ile ilgili de çeşitli yasal düzenlemeler bulunmaktadır (Okullardaki iç mekanların boyanması ve iç ortam hava kalitesi, 1994, Okullardaki çocukların zararlılardan ve böcek ilaçlarından korunması, 2002; Okullarda iç ortam kalitesi, 2003; Bina bülteni 101, 2006; Okulların akustik tasarımı, 2015). Ülkemizde de eğitim kurumlarının iç hava kalitesinin belirlenmesine

yönelik literatürde bazı çalışmalar olmasına rağmen (Ekmekcioglu vd., 2007; Kus vd., 2008; Sofuoğlu vd. 2011; Acıkgöz, 2013; Akal vd., 2015; Ugranlı vd. 2015; Yurdakul vd., 2016 ve 2019) halen üniversitelerimizdeki iç çevre kalitesinin geliştirilmesi çalışmalarının yapılması ve tasarım esaslarının belirlenmesi büyük bir eksiklik olup acilen yerine getirilmesi (Ekren vd., 2017), mevcut durumun ortaya konarak halihazırdaki binalarda gerekli iyileştirmelerin yapılması ve gelecekte inşaa edilecek binaların bu tasarım esaslarını dikkate alarak projelendirilmesi; kampüslerde yer alan iç mekanların etkin ve verimli kullanılması açısından önem arz etmektedir.

Bu bakımdan, çalışma kapsamında, Süleyman Demirel Üniversitesi merkez yerleşkede yer alan üç fakültedeki seçili derslikler için ortam kalitesi; iç hava kalitesi (CO₂), termal konfor (sıcaklık ve nem), görsel konfor (aydınlatma) ve akustik konfor (gürültü) parametreleri açısından incelenmiş ve bu amaçla toplamda 86 derslikte ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi'nde merkez yerleşkede yer alan en eski fakültelerden olan yapım yılları 1984'e uzanan Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi ile yapım yılı 2010 yılı olarak üniversitenin en yeni fakültelerinden biri olan Hukuk Fakültesi dersliklerinde iç ortam kalitesi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler; 11 bloktan oluşan ve iki kat üzerine inşaa edilen Mühendislik Fakültesi'nde 45, 2 bloktan oluşan ve yine iki katlı olan Teknoloji Fakültesi'nde 18 ve 1 bloktan oluşan, üç katlı inşaa edilen Hukuk Fakültesi'nde 23 olmak üzere toplam 86 derslikte, 18.10.2016 ile 20.12.2016 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; toplam 86 dersliğin CO₂, sıcaklık, nem, aydınlatma ve gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaçla seçili parametrelerin ölçümleri için TESTO 435-2 kombine ölçüm cihazı ve Testo 816-1 gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Aydınlatma ölçümleri EN 12464-1:2011 Işık ve Aydınlatma-İş Yerlerinin Aydınlatması Standardı'ndaki (2011) ölçüm yükseklikleri göz önüne alınarak dersliklerde yerden yaklaşık 0,8 m'de gerçekleştirilmiştir. Dersliklerdeki aydınlatma ölçüm noktalarının sayısı oda indeksi (Eşitlik 1) kullanılarak

hesaplanmış ve aydınlatma seviyesi ölçümleri yatay bir düzlemde gerçekleştirilmiştir. Noktalar seçilirken duvarlar ve gölge düşüren yüzeylerden en az 0,5 m uzaklıkta olmalarına dikkat edilmiştir (Erlalelitepe vd., 2011).

$$\text{Oda indeksi (K)} = L \times W / H \times (L + W) \quad (1)$$

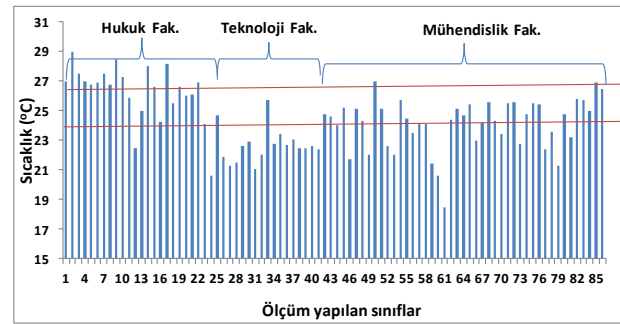
Burada L; iç mekânın derinliğini, W; iç mekânın enini ve H; iç mekânın yüksekliğini ifade etmektedir. Dersliklerin sıcaklık, nem ve CO₂ ölçümleri ise yerden yaklaşık 1,2 m yükseklikte (oturma pozisyonunda) ve bir ders boyunca gerçek zamanlı ölçümler şeklinde gerçekleştirilmiştir. Gürültü ölçümleri ise derslikler boşken, yerden yaklaşık 0,91±0,05m yükseklikte oturan kişiler için okuma düzleminin ortasında, yüzeylerden (duvar, dolap vb.) en az 0,5-1 m, pencere ya da hava alma boşluklarından en az 1-1,5 m uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılacak derslikler belirlendikten sonra, belirlenen alanda eşit olarak dağılmış en az 3 ölçüm noktasında, en az 5 dakikalık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, dersliklerin bulunduğu binaların dışında da iç ortam ölçümleriyle eş zamanlı olarak dış ortam gürültü ve CO₂ ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sınıflarda ölçülen CO₂ değerlerinin öğrenci sayısı ve birim alana düşen öğrenci sayısı ile arasında olan ilişkisini belirlemek için SPSS 20.0 paket programı ile doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her iki modelde F testi anlamlı bulunmuştur (p<0.01). Ayrıca, her iki modelin doğruluğunu test etmek amacıyla elde edilen artıkların (residualların) P-P Grafiği (Predicted-Probability Plot) çizdirilmiş; standardized residualların normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Ayrıca bunu test etmek için Kolmogrov-Smirnov Testi uygulanmış ve her iki modelin çarpıklık (Skewness) değerlerinin birin altında olduğu ve standardized residualların normal dağılım gösterdiği (p>0.05) görülmüştür. Tahmin edilen değerler (predicted) ile standardized residualların dağılım grafikleri çizdirilmiş ve noktaların yaklaşık olarak eşit bir şekilde sıfırın etrafında dağıldığı görülmüştür.

3. Araştırma Bulguları

İç ortam kalitesi parametreleri için elde edilen ortalama değerler ve ölçüm aralıkları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere fakültelerin bina yaşlarının, ısıtma sistemlerinin ve yapı stillerinin farklılığından dolayı ölçülen ortalama değerlerin de farklılık gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda, bina içerisindeki sınıfların konumuna (cephe, kat, büyüklük) ve dersteki öğrenci sayısına da bağlı olarak ölçülen değerlerin geniş bir aralıkta değiştiği yine Tablo 1'den görülmektedir.

3.1. Sıcaklık ve Nem Seviyeleri Ölçüm Sonuçları

Bilimsel yazında; sıcaklık ve nem, eğitim mekânlarında çalışma performansını etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır (Puteh, vd., 2012., Haverinen-Shaughnessy ve Shaughnessy, 2015). Ölçüm yapılan dersliklerde ders süresince ölçülen sıcaklıkların ortalama değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma süresince, 86 dersliğin ortalama sıcaklığı 24,4±2,09 °C olarak bulunmuştur. Avrupa Birliği "İç Hava Kalitesi, Termal Çevre, Aydınlatma ve Akustiğe Hitaben Binalarda Enerji Performansının Değerlendirilmesi ve Dizaynı İçin Gerekli İç Ortam Parametreleri Yönetmeliği'nde (prEN 15251-2006)"; mekânik havalandırmanın olmadığı ve hâlihazırda kullanılmakta olan binalarda, kış mevsiminde kabul edilebilir sıcaklık değerlerinin 19-25 °C aralığında olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1. Ortalama Sıcaklık Değerleri (Kırmızı çizgiler en düşük ve en yüksek sınır değerleri göstermektedir)

Şekil 1'e göre; çalışma dönemi boyunca, sıcaklık derecesi alt sınır olan 19 °C değeri Mühendislik Fakültesi'nde yer alan bir derslikte kaydedilmiştir. Genel olarak Mühendislik Fakültesi'nin sıcak su hattının sonunda bulunan blokta yer alan dersliklerde diğer bloklarda bulunan dersliklere kıyasla daha düşük ortalama sıcaklıklar kaydedilmiştir. Hukuk Fakültesi'nde ise neredeyse ölçümü yapılan tüm dersliklerde, sıcaklık üst sınırının aşıldığı (23 sınıfın 20 tanesinde) gözlenmiştir.

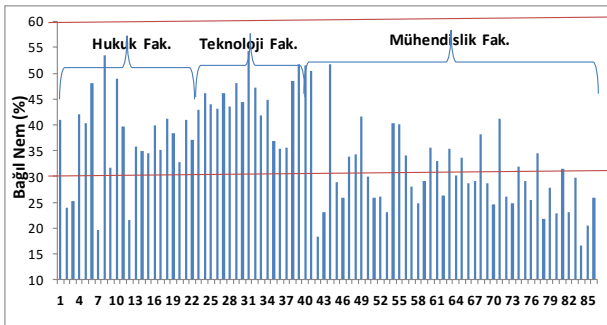
Tablo 1. İç Hava Kalitesi Parametrelerinin Fakülte Bazlı İstatistiksel Değişimi

Fakülte	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	CO ₂ (ppm)	Aydınlatma (lüx)	Gürültü (dBA)	Ölçüm sırası Öğrenci Sayısı	Ölçüm tarihi
Hukuk	26,5±1,5 22,5-29*	36,9±8,5 19,6-53,4*	2233±778 859-3810*	468,5±88 324-670*	35,51±4,7 27,4-42,6*	1375	28.11-05.12 2016
Teknoloji	22,6±1,2 20,6-25,7	45,2±5,4 35,3-54,4	1801±414 918-2546	419,4±86 301-696	45,3±5,3 36,5-53,1	737	18.10-31.10 2016
Mühendislik	24,1±1,7 18,5-27	29,7±6,8 16,6-51,7	1824±704 629-3924	418,9±155 202-866	41,61±5,9 32,1-55,3	1547	13.12-20.12 2016

* Ölçülen en düşük ve en yüksek değeri ifade etmektedir.

Bunun sebebi muhtemelen; Mühendislik Fakültesi binalarının ortalama 30 yıllık olması dolayısıyla; binada bulunan peteklerin ve/veya ısıtma borularının iç yüzeyinde kireç, çamur ve korozyon atıklarının birikmesinden dolayı fakültenin ısıtma tesisatının veriminde bir düşüşe neden olması, Hukuk Fakültesi binasının ise nispeten daha yeni olması sebebiyle tesisatının daha verimli olarak çalışmasıdır.

İç ortamdaki bağıl nemin %30 ile %60 arasında olmasını tavsiye etmektedir (Alberta, 2003). ISO 7730-2015 Termal Çevrenin Ergonomi Standartları'nda ise bağıl nemin minimum ve maksimum değerleri %30 ile %70 aralığında verilmektedir. İngiltere'deki Building Bulletin 101'de okullardaki Efektif Havalandırma İçin Gerekli Tasarım ve İşletme Standartları'nda nem için bir sınır değeri verilmemektedir, İngiltere'deki bina standartlarına (ODPM, 2006) göre, 12 saatlik bir periyotta bağıl nemin iki saatten fazla %70'i geçmemesi veya ısıtma sezonunda herhangi bir 12 saatlik ölçüm periyodunda bağıl nemin bir saatten fazla %90'ı geçmemesi gerekmektedir (Jones ve Kirby, 2012). Bu çalışmada, dersliklerde ölçülen ortalama nem değerlerinin %60'ın altında kaldığı görülmektedir (Şekil 2). 86 dersliğin 31 tanesinde ölçülen değerler alt sınır değerinin altında bulunmuştur. Bu duruma, dersliklerin sadece doğal olarak havalandırılmasının ve mevsimin kış olmasının sebep olduğu düşünülmektedir.



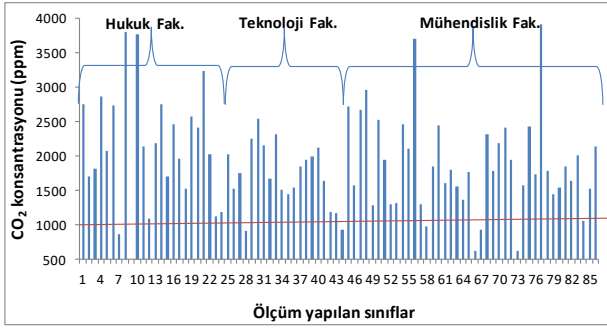
Şekil 2. Çalışma Süresince Dersliklerde Kaydedilen Ortalama Bağıl Nem Değerleri (Kırmızı çizgiler en düşük ve en yüksek sınır değerleri göstermektedir)

3.2. Karbondioksit (CO₂) Seviyesi Ölçüm Sonuçları

Bilimsel yazında iç ortamlarda kabul edilebilir CO₂ değerlerinin çoğu ülkede eski ASHRE standardında (ASHRAE 62-1989) bahsedilen değer (1000 ppm) veya bu değere yakın bir konsantrasyon, sınır değer olarak kabul edilmesine rağmen; ASHRE daha sonraki direktiflerinde değişikliğe gitmiş ve son direktifinde de bu değer 2500 ppm olarak verilmiştir. Yine aynı direktifte (Standard 62.1-2013) insan sağlığı için çok yüksek değerlerin (5000 ppm gibi) risk oluşturduğu belirtilmektedir. Ancak bilimsel yazında, eğitim kurumlarında iç ortamdaki CO₂ seviyesi 1000 ppm'in üzerine çıktığında; öğrencilerin devamsızlıklarında artışa, performanslarında düşüşe, baş ağrısına, yorgunluğa ve yoğunlaşma bozukluğuna yol açtığı bildirilmektedir (Myhrvold vd., 1996; Daisey vd., 2003; Shendell vd., 2004). Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarında (Berkeley Lab) gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, ortamdaki CO₂ seviyesinin insanların karar verme süreci üzerinde oldukça etkili olduğu, çalışmada baz alınan 600 ppm değerinin 1000 ppm ve 2500 ppm'e çıkarıldığında bu sürecin oldukça belirgin bir şekilde düştüğü belirtilmektedir (Satish vd., 2012).

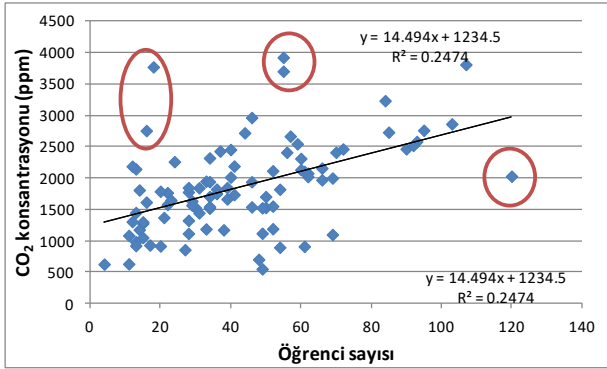
Avrupa Birliği'nin prEN 15251-2006 standardına göre kabul edilebilir üst sınır hali hazırda kullanılan binalarda dış ortam CO₂ değerinden 800 ppm daha fazla olabileceği belirtilmektedir. Çalışma boyunca ortalama CO₂ değeri 305 ppm olarak kaydedilmiştir. Bu durumda, Avrupa Birliği standardına göre çalışma süresince iç ortamdaki CO₂ sınırı yaklaşık olarak 1100 ppm'dir. Yani prEN 15251-2006 standardına göre elde edilen değer, çoğu ülkede kabul edilen limit değer olan 1000 ppm'e oldukça yakın bulunmuştur. Bu yüzden, gerçekleştirilen bu çalışmada CO₂ üst sınır değeri 1000 ppm olarak kabul edilmiştir.

Çalışma süresince, dersliklerde kaydedilen ortalama CO₂ değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ölçüm gerçekleştirilen 86 sınıftan 78 tanesinde yani yaklaşık %91'inde limit değeri geçilmiştir. Anlık olarak ölçülen değerlere bakıldığında sınıflardaki CO₂ değerinin 4806 ppm'e kadar çıktığı görülmüştür.



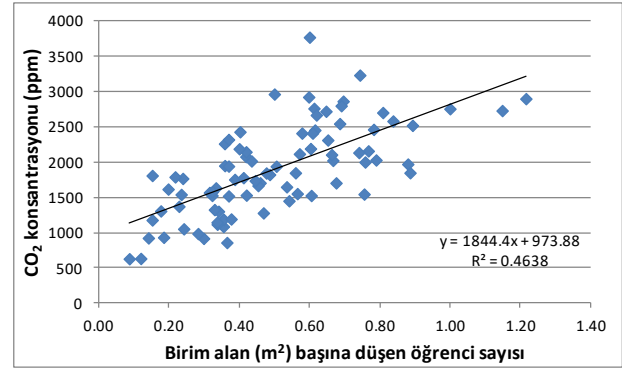
Şekil 3. Çalışma Süresince Sınıflarda Kaydedilen Ortalama CO₂ Konsantrasyonları (Kırmızı çizgiler en düşük ve en yüksek sınır değerleri göstermektedir)

CO₂, metabolik faaliyetin ürünü olduğundan dolayı, öğrenci sayısının ve havalandırmanın bu değer üzerinde etkili olması beklenen bir durumdur. Bu çalışmada da öğrenci sayısı ve dersliklerde ölçülen ortalama CO₂ değerleri arasındaki ilişki, istatistiksel olarak anlamlı (p<0,01) bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Dersliklerde Ölçülen Ortalama CO₂ Seviyesinin Öğrenci Sayısıyla Olan İlişkisi

Çalışma sırasında Hukuk Fakültesi'nde yer alan en kalabalık dersliğin mevcudu 120 kişi olmasına rağmen ölçüm esnasında pencerelerin açık tutulmuş olması genel trende bakıldığında (Şekil 4) daha düşük değerler kaydedilmesini sağlamıştır. Ayrıca öğrenci sayısı (yaklaşık 18) az olmasına rağmen yine Hukuk Fakültesi'nde yer alan TÖMER dersliklerinde ise oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Ancak derslik kapasitelerine bakıldığında bu sınıfların 18 kişilik küçük sınıflar olduğu görülmektedir. Benzer durum yine Hukuk Fakültesi'nde bulunan diğer iki derslikte de gözlenmiştir. Öğrenci sayısı yaklaşık 55 olmasına rağmen genel eğilimin dışında daha yüksek ortalama CO₂ değerleri elde edilmiştir. Yüksek doluluk oranına sahip olan dersliklerde doğal havalandırmanın yetersiz kaldığı ve oldukça yüksek değerlerin elde edilebileceği görülmektedir. Bu durumu daha detaylı incelemek için ayrıca ölçüm yapılan sınıflarda metre kare başına düşen öğrenci sayısının, yine aynı dersliklerde ölçülen ortalama CO₂ değerleri ile olan ilişkisi incelenmiş (Şekil 5) ve öğrenci yoğunluğunun fazla olduğu sınıflarda daha yüksek CO₂ değerlerinin (p<0,01) ölçüldüğü görülmüştür.

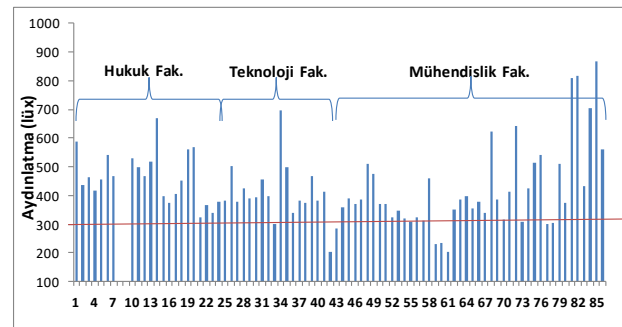


Şekil 5. Dersliklerde Birim Alan Başına Düşen Öğrenci Sayısı ile Ölçülen Ortalama CO₂ Seviyesi Arasındaki İlişki

3.3. Aydınlatma Seviyesi Ölçüm Sonuçları

Aydınlatmada kullanılan ölçü birimi lüx'tür (lüx) ve birim alandaki ışık akısını ifade etmektedir. EN 12464-1:2011 Işık ve Aydınlatma-İş Yerlerinin Aydınlatması Standardına (2011) göre dersliklerdeki en az aydınlık düzeyi 300 lüx olarak verilmiştir. Aydınlatma Yönetmeliği'nde de (2009) genel olarak tavsiye edilen aydınlatma şiddeti tablosunda sınıflarda tavsiye edilen en az aydınlık düzeyi 300 lüx olarak verilmiştir. Ders tahtası (beyaz/siyah/yeşil yazı tahtası) üzerinde (düşey düzlemde) düzgün yayılmış 500 lüx'lük bir aydınlık düzeyinin sağlanması da yine bu yönetmeliklerde limit değer olarak verilmektedir. Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu'nun aydınlatma el kitabının (IES Lighting Handbook, 9th ed.) 9. baskısında tebeşir kullanılan dersliklerde kabul edilebilir aydınlatma değeri 500 lüx olarak verilirken bu değer el kitabının 10. baskısında (IES Lighting Handbook, 10th ed.) enerji tasarrufu amacıyla 200 lüx'e düşürülmüştür.

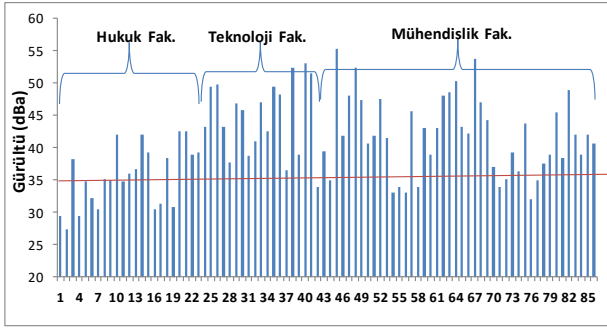
Yapılan ölçümler incelendiğinde genel olarak dersliklerdeki ortalama aydınlatma şiddetinin 300 lüx'ü sağladığı, ancak aydınlatmanın tavandan yapılmadığı bazı derslikler ile önünde ağaçların bulunduğu ve zemin katta bulunan bazı sınıflarda limit değer sağlanamadığı görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Sınıflarda Ölçülen Ortalama Aydınlatma Şiddeti

3.4. Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

Ülkemizdeki Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne (2009), İngiltere'deki okulların akustik tasarımı/performans standardına (2015) ve Avrupa Birliği'nin prEN 15251-2006 İç hava kalitesi, termal çevre, aydınlatma ve akustiğe hitaben binalarda enerji performansının değerlendirilmesi ve dizaynı için gerekli iç ortam parametreleri standardına göre dersliklerdeki iç mekân gürültü sınır değerleri birbirine oldukça benzerlik göstermekle birlikte, sınır değerler 35 ile 40/45 dBA aralığında verilmektedir (2006). prEN 15251-2006 standardına göre sınıflardaki tipik sınır değer ise 35 dB olarak verilmektedir. Yapılan ölçümleri tipik değer 35 dBA ile karşılaştırdığımızda 86 sınıfın 66 tanesinde (%76'sında) limit değerini geçildiği görülmektedir (Şekil 7). Sonuçlar incelendiğinde limit değerin çoğunlukla Mühendislik ve Teknoloji Fakültelerinde aşıldığı görülmektedir. İç ortam ölçümlerine paralel yapılan dış ortam ölçümlerindeki ortalama gürültü eşdeğerinin (Leq) 52.78 ± 6.1 dBA olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Sınıflarda Ölçülen Ortalama Gürültü Seviyeleri

Morova vd. (2010) tarafından SDÜ merkez yerleşkelerinde gerçekleştirilen gürültü ölçümlerinde de ortalama Leq 53,16 dBA değeri elde edilmiştir. Aynı çalışmada yerleşkenin içerisinden geçen Ankara-İstanbul Karayolu kaynaklı gürültü ile yerleşke içerisindeki trafik kaynaklı gürültünün en önemli gürültü kaynakları olduğu belirtilmektedir. Yönetmeliğe göre eğitim kurumlarının bulunduğu bölgelerde gündüz vakti kabul edilebilir limit değerin 60 dBA olduğu göz önüne alındığında dış ortam gürültü değerlerinin çoğunlukla limit değeri sağladığı görülmektedir. Dersliklerin önündeki koridorlarda gerçekleştirilen gürültü ölçümlerinde (gün içerisinde öğrenci sayısına bağlı olarak değişmekle birlikte) ise Mühendislik, Teknoloji ve Hukuk Fakültelerinde sırasıyla $68,8 \pm 7,1$, $65 \pm 4,9$ ve $41,28 \pm 5,9$ dBA değerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla, ölçümlerin gerçekleştirildiği fakültelerin yerleşkede daha ziyade iç kısımlarda yer almasından dolayı; dersliklerde ölçülen değerlerin daha çok bina içerisindeki gürültü kaynaklarından (koridorda ders için bekleyen ve ders çalışan öğrenciler) etkilendiği düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan ölçümler incelendiğinde:

Genel olarak dersliklerdeki ortalama aydınlatma şiddetinin 300 lüx'ü sağladığı, ancak aydınlatmanın tavandan yapılmadığı bazı derslikler ile önünde ağaçların bulunduğu ve zemin katta bulunan bazı sınıflarda minimum aydınlatma değerinin sağlanmadığı görülmektedir.

Ölçümlerin gerçekleştirildiği fakültelerin SDÜ yerleşkesinde daha ziyade iç kısımlarda yer almasından dolayı; bu fakültelerde yer alan dersliklerdeki ölçülen değerlerin trafikten ziyade daha çok bina içerisindeki aktivitelerden etkilendiği düşünülmektedir.

Yüksek doluluk oranına sahip olan dersliklerde doğal havalandırmanın yetersiz kaldığı ve oldukça yüksek CO₂ değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Genel olarak kampüste Mühendislik Fakültesi binalarında bulunan peteklerin ve/veya ısıtma borularının iç yüzeyinde kireç, çamur ve korozyon atıklarının birikmesinden dolayı bazı dersliklerde ısıtma sorunu olduğu ve dersliklerin yeterince ısıtılmadığı, buna karşın Hukuk Fakültesi binası dersliklerinin ise olması gerekenden daha fazla ısıtıldığı görülmüştür; yani her iki durumda da kampüste bir ısıtma sorunu olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FGB-2018-5421 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Abdallah, A.S.H., 2017. Thermal Monitoring and Evaluation of Indoor CO₂ Concentration in Classrooms of Two Primary Governmental Schools in New Assiut City, Egypt, Procedia Engineering, 205, 1093-1099.

Alberta Infrastructure (Government of Alberta Ministry of Infrastructure), 2003. Indoor Air Quality Guideline, Technical Services Branch-2003, Edmonton, 10 pages

Açıkgöz, A. (2013). Bir üniversitedeki adolesan ve erişkinlerde hasta bina sendromu belirtilerinin

- CO₂ ile ilişkisinin incelenmesi. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2, 21-27.
- Akal D., Yurdakul S., Civan M., Tuncel G., Ersan H.Y. 2015. Sources of volatile organic compounds in a university building, Environmental Forensics, 16, 173-185.
- ASHRAE (1989) Standard-62. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- ASHRAE (2013) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Bina Bülteni 101, (2006) Okul Binalarının Havalandırılması, Yönetmelik, Standartlar, Tasarım Kriterleri, Versiyon 1.4.
- Bulgurcu H., Ilten N., Cosgun A., 2006. Okullarda İç hava kalitesi problemleri ve çözümler, Tesisat mühendisliği dergisi, 96, 59-72.
- Daisey, JM, Angell, WJ, Apte, MG 2003. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. Indoor Air. 13(1): 53- 64.
- Dorizas, P.V., Assimakopoulos, M.N., Helmis, C., Santamouris, M., 2015. An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring, Science of the Total Environment 502, 557-570.
- Ekmekcioglu, D., Keskin, S.S., 2007. Characterization of indoor air particulate matter in selected elementary schools in Istanbul, Turkey. Indoor and Built Environment, 16,169-176.
- Ekren, O., Karadeniz, Z.H., Atmaca, I., Cicek , T.U., Sofuoglu, S.C., Toksoy, M., 2017. Assessment and improvement of indoor environmental quality in a primary school, Science and Technology for the Built Environment, 23, 391-402.
- EN 12464-1:2011 Işık ve Aydınlatma-İş Yerlerinin Aydınlatması, Kısım 1: Kapalı Çalışma Alanları Standardı (2011)
- Erlalitepe, İ., Aral, D., Kazanasmaz, T., Eğitim Yapılarının Doğal Aydınlatma Performansı Açısından İncelenmesi, Megaron, 6 (1), 39-51.
- Fadeyi, M.O., Alkhaja, K., Sulayem, M.B., Abu-Hijleh, B. 2014. Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementraz schools' clasrooms in the United Arab Emirates. Frontries of Architectural Research, 3, 166-177.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R.J. 2015. Effects of Classroom Ventilation Rate and Temperature on Students' Test Scores. PLoS One. 10(8):e0136165.
- Jones, BM, Kirby, R. 2012. Indoor air quality in U.K. school classrooms ventilated by natural ventilation windcatchers, International Journal of Ventilation, 10 (4), 323-338.
- Jurado, S.R., Bankoff, A.D.P., Sanchez, A., 2014. Indoor Air Quality in Brazilian Universities, Int. J. Environ. Res. Public Health 2014, 11, 7081-7093.
- Kus, M., Okuyan, C., Bulut, H., Bulgurcu, H. 2008. Üniversite dersliklerinde iç hava kalitesinin Değerlendirilmesi. 8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 12-14 Mayıs, İstanbul, 223-237.
- Lee, S.C., Chang, M. 2000, Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, Chemosphere 41, 109-113.
- Myhrvold, A.N., E. Olsen, and O. Lauridsen 1996. Indoor environment in schools—Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations." Proceedings, Indoor Air '96: The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Nagoya, Japan. 4:369-371.
- Morova, N., Şener, E., Terzi S., Beyhan, M., Harman, B.İ. 2010. Süleyman Demirel Üniversitesi Yerleşkesinin Gürültü Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hazırlanması Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14 (3), 271-278.
- Okulların akustik tasarımı: Performans standartları, 2015. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/400784/B93_February_2015.pdf.
- Okullardaki çocukların zararlılardan ve böcek ilaçlarından korunması 2002. US EPA 735-F-02-014.
- Okullardaki iç mekanların boyanması ve iç ortam hava kalitesi (1994) Bruce Jacobs. Maryland State Department of Education, Division of Business Services, School Facilities Branch, 200 West Baltimore Street, Baltimore.
- Okullarda iç ortam kalitesi, 2003. En iyi yönetim uygulamaları, Washington Eyaleti Sağlık Bakanlığı, <https://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/Pubs/333-044.pdf>.

- prEN 15251-2006. İç hava kalitesi, termal çevre, aydınlatma ve akustiğe hitaben binalarda enerji performansının değerlendirilmesi ve dizaynı için gerekli iç ortam parametreleri yönetmeliği.
- Puteh, M., Ibrahim, M.H., Adnan, M., Ahmad, C.N.C., Noh, N.M., 2012. Thermal comfort in classroom: constraints and issues, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46 (2012) 1834 – 1838.
- Satish, U., Mendell, M.J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., Fisk, W.J., 2012. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect.* 2012, 120 (12),1671-1677.
- Shendell, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D., Faulkner, D., 2004. Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho, *Indoor Air*, 14, 5, 333-341.
- Sofuoglu, S.C., Aslan, G., Inal, F., Sofuoglu, A. 2011. An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 214, 36-46,
- Teli, D., Patrick, A., James, B., Jentsch, M.F. 2013. Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms. *Build Res Inf*, 41(3):301-16.
- Ugranli, T., Toprak, M., Gursoy, G., Cimrin, A.H., Sofuoglu, S.C., 2015. Indoor environmental quality in chemistry and chemical engineering laboratories at Izmir Institute of Technology, *Atmospheric Pollution Research* 6, 147-153.
- Wargoeki, P., Wyon, D.P. 2007. The effects of outdoor air supply rate and supply air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children. *HVAC&R Res*, 13(2):165-91.
- Yurdakul, S., Civan, M., Özden, Ö., Gaga, E., Döğeroğlu, T., Tuncel, G., 2016. Spatial variation of VOCs and inorganic pollutants in a university building, *Atmospheric Pollution Research*, doi:10.1016/j.apr.2016.07.001
- Yurdakul, S., Civan, M., Doğan, G., Üzmez, Ö.Ö., Gaga, E., Döğeroğlu, T., Ayaklı, G., Tuncel, G. 2019. Vertical variation and source evaluation of VOCs and inorganic pollutants in a university building, *Environmental Forensics*, 19, 4. 327-340.



SU TASARRUFUNDA KİTLE İLETİŞİM ARAÇLARININ ETKİSİ

M.Erol KESKİN^{1*}, Tefik ASLANBAŞ²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Su Tasarrufu,
Anova Test,
İstatistiksel Metot,
Kitle İletişim Araçları.*

Öz

Su kaynakları insanlığın hayatta kalması için en değerli kaynaklar arasında bulunmaktadır. Su tasarrufu, mevcut su kaynağının verimli ve ölçülü kullanımı olarak tanımlanabilir. Bu sadece bir politika değildir. Tüketici davranışları gibi büyük sosyal yönleri de kapsamaktadır. Suyun mevcut durumu ve miktarıyla ilgili bilgi edinilebilecek kaynaklar; televizyon (TV), gazete, broşür, internet, kitaplar, bilimsel makale ve dergiler şeklinde sıralanabilir. Bu kaynakların su tüketiminde etkili olup olmadığının belirlenmesi için Isparta İli merkezin de konu ile ilgili bir anket çalışması yapılmıştır. Denekler, eğitim durumuna göre rastgele seçilmiştir. Denekler tarafından verilen cevaplar, istatistiksel metotlar kullanılarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tablo ve grafik olarak verilmiştir.

THE IMPACT OF COMMUNICATIONS TOOLS ON WATER SAVING

Keywords

*Water Saving,
Anova Test,
Statistical Method,
Communications Tools.*

Abstract

Water resources are among the most valuable resources for human survival. Water saving can be defined as the efficient and measured use of the existing water supply. This is not just a policy. It includes major social aspects such as consumer behavior. Sources of information about the current status and amount of water; TV (TV), Newspaper, Brochure, Internet, Books, scientific articles and magazines. In order to determine whether these resources are effective in water consumption, a survey was conducted on the subject in the center of Isparta. Subjects were randomly selected according to their educational status. The answers given by the subjects were evaluated by using statistical methods. The results obtained are given as tables and graphics.

Alıntı / Cite

Keskin, M.E., Aslanbaş, T., (2019). Su Tasarrufunda Kitle İletişim Araçlarının Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 819-824.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.E. Keskin, 0000-0003-3749-5156
T. Aslanbaş, 0000-0001-6501-0419

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	29.11.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Su kaynakları insanlığın hayatta kalması için en değerli kaynaklar arasında bulunmaktadır. Su tasarrufu, mevcut su kaynağının verimli ve ölçülü kullanımı olarak tanımlanabilir. "Bu sadece bir politika veya yöntem değildir. Sadece kural koyma veya kısıtlamalarla tasarrufta etkin sonuç alınamamaktadır. Tüketici davranışları gibi büyük sosyal yönleri de kapsamaktadır. Suyun mevcut durumu ve miktarıyla ilgili bilgi edinilebilecek

kaynaklar; TV, gazete, broşür, internet, kitaplar, bilimsel makale ve dergiler şeklinde sıralanabilir. Su tasarrufunda kitle iletişim araçları, insan davranışlarında ve düşüncelerinin oluşmasında giderek ön plana çıkan etkidir.

Dünya çapında birçok kırsal ve kentsel alan, su temini için zorluklarla karşı karşıyadır. Su kıtlığında kilit yöntem su tasarrufudur. Koruma tedbirlerinin başarısı halk desteği ve davranış değişikliğine bağlıdır. (Gilbertson vd. 2011) incelemelerinde bireysel

* İlgili yazar / Corresponding author: erolkeskin@sdu.edu.tr, +90-246-211-1192

tutumlar ile su tasarrufu davranışında bulunan iki Avustralya bölgesi arasında su durumunda önemli ölçüde farklılıklar olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuçlar da, iki alan arasında tutum ve katılım anlamında önemli farklılıkların görüldüğü, su kıtlığı olan yerde anlamlı derecede fazla kişinin, su tasarruf davranışlarının en çok destekleyicisi olduğu ve önemli ölçüde de su tasarrufu davranışlarına katkıda bulunduğu gözlenmiştir. (Randolph ve Troy 2008) Evsel su talebinin azaltılmasında hangi yollara başvurulacağını ve su tüketiminde hane tutumlarını tartışmışlardır. Neticede su potansiyeline alternatif yerel arz sağlamak veya su tüketimini azaltma kamu politikasında başarılı olunması için, kültürel, davranışsal ve kurumsal açıdan, hanelerin sosyo demografik yapısının anlaşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. (Marinoski vd. 2014) araştırmalarında Florianopolis, (Güney Brezilya) bölgesindeki düşük gelirli evlerin, su tüketim şeklini ve suyun son kullanımını belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, düşün hane en çok su tüketimine sebep olan unsur olduğunu ortaya çıkarmıştır. (Matos vd. 2013) su talebi yönetiminin, halkın işbirliğine ihtiyacı olduğunu, yönetimin; ikamet alanı, yerleşimcilerin sayısı, çocukların ve yaşlıların varlığı veya yokluğu, gelir düzeyi, eğitim düzeyi gibi su kullanımını etkileyen özellikleri bilmesinin önemli olduğunu saptamışlardır. (Trinidad vd. 2011) Melbourne, (Avustralya)'da bekar-aile evlerinde suyun son kullanımını araştırmıştır. Sonuç olarak, çamaşır ve bulaşık yıkamada su tüketiminin hane büyüklüğü arttıkça artmakta olduğu, su kaybının % 5'ini oluşturan sızıntıların tespit edilip, onarılmasının günlük toplam hane su tüketimi ve su tasarrufu açısından ek fayda sağladığı bulunmuştur. (Harlan vd. 2009) bireysel hane su tüketiminin; gelir ve hanelerin yapısından veya bireylerin toplum içindeki tutumlarından, nasıl etkilendiğini ele almıştır. (Russell ve Fielding 2010) özellikle insan ve çevre psikolojisi alanında konut su talebini anlamaya yönelik bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, demografik, psikolojik, davranışsal ve altyapısal değişkenlerin tümünün, hane halkı su kullanımını belirlemede bir rolü olduğunu göstermiştir. (Kim vd. 2007) su tüketim alışkanlıklarını, sosyal ve kültürel faktörlerle, su talebi eğilimlerini yapılandırmak için analize tabi tutmuşlardır. Bu verilerin analizi, evsel su talep tahmin modelinin dizaynında, parametre yapılandırmasının temelini sağlamıştır. (Sadr vd. 2016) Hindistan' da kent alanlarındaki hanelerde, su tüketimi ile su kullanımı davranışı ve tutumları arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Müstakil evlerin apartmanlara nazaran daha fazla su tükettiği görülmüştür. Büyük ailelerin ve geliri yüksek olanların suyu bol miktarda harcadığı görülmüştür. (Cheruseril, 2007) çok değişkenli analiz tekniklerini ve coğrafi bilgi sistemlerini (GIS) kullanarak, sosyo demografik faktörler ile su tüketimi arasındaki ilişkiyi tanımlamayı amaçlamıştır. (Domene ve Sauri' 2006) araştırmalarında; Barcelona Büyükşehir Bölgesinde kentleşme ve konut su tüketimi arasındaki ilişkiyi

araştırmıştır. Daha doğrusu, tanımlayıcı istatistikler ve regresyon analizi kullanarak, tüketimde belirli demografik (yaş, gelir, eğitim, vb. gibi değişkenler ile ilgili), davranışsal ve konut faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak kentsel su tasarrufunun, su kullanıcılarının davranışlarındaki değişikliklere bağlı olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir bulguda, yüksek gelir gruplarının, orta gelirli nazarın daha az su tükettiği görülmüştür. (Schleich ve Hillenbrand 2009) çalışmalarında Almanya'da yaklaşık olarak 600 su tedarik alanını, kişi başı ortalama temiz su ve atık su için birkaç ekonomik, çevresel ve sosyal faktörün etkisini ekonometrik açıdan analiz etmiştir. Fiyatların gelir ve hane halkının genişliğinin yanı sıra, kuyu payının, nüfusun yaşının yaz aylarında yağış ve sıcaklığın, su talebi üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmıştır. Ayrıca, kişi başı su tüketimi konusunda bölgesel farklılıkları da açıklamaya çalışmıştır. Sonuçlar, hanehalkı büyüklüğü, kuyu payı ve yaz yağışlarının, su talebi üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Tahminlerin aksine, yüksek yaş grubu daha yüksek su kullanımı gerçekleştirmiştir.

200.000 nüfusa sahip Isparta ili için su kullanımına etki eden parametreler istatistiksel olarak irdelenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde, tek yönlü varyans analizi (One way ANOVA) testi metodu kullanılmıştır.

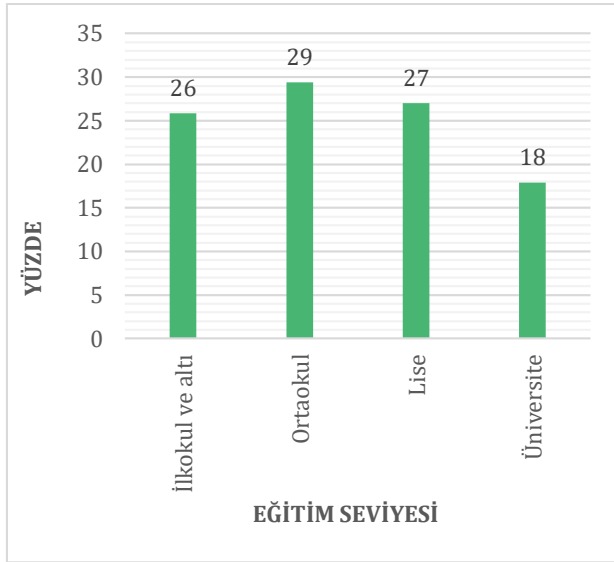
2. Materyal ve Yöntem

Isparta il merkezinin 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 yıllarına ait, nüfusu 2000'den fazla 30 mahallesinin en az 4 yıl boyunca su aboneli aynı kişi olan en az 15 hanesine ait, abone bilgileri temin edilmiştir. Seçilen her bir cadde veya sokak için sistematik örnekleme metodu uygulanarak örneklem seçilmiştir.

Örneklem kümesi olan 455 kişiye anket dağıtılmıştır. Şekil 1'de katılımcıların eğitim seviyelerinin yüzdesel dağılımı gösterilmiştir. Katılımcıların %29'u ortaokul mezunu, %27'si lise mezunu, %25'i ilkököl mezunu ve %17'si üniversite mezunudur.

Katılımcılar ile doğrudan temasta bulunulması, bazı noktaların netleştirilmesinde ve katılımın teşvikinde ideal bir yöntem olduğu görülmüştür. Anketin değerlendirilmesinde aşağıdaki analiz kullanılmıştır.

Çalışmada, veri seti 30'dan büyük olduğu için, öncelikle parametrik yöntemin uygulanabilirliği sınanmıştır. Verilerin sürekli olduğu görülmektedir. Her bir faktörün normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit etmek için istatistiksel analiz yapılmış ve sonuçta verilerin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Katılımcıların eğitim seviyelerinin yüzdesel dağılımı

Katılımcıların su ile ilgili bilgi kaynakları ve tasarruf davranışları ile istatistiksel olarak anlamlı olan (demografik ve ekonomik) özellikler arasındaki ilişki araştırılmıştır. İki den fazla grupta değişkenlerde tek yönlü varyans analizi (One way ANOVA) testi kullanılmıştır.

2.1. Tek Yönlü Anova

Tek yönlü Anova' da iki temel varsayım vardır. Bu varsayımlara göre her bir grup normal dağılımdan gelir ve görece olarak grupların varyansları homojendir. Çalışmalar da genellikle varyansların homojenliğine bakılır (Kalaycı, 2009).

Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) normal dağılım gösteren bir düzende üç veya üçten fazla bağımsız ortalama arasında oluşan fikrin anlamlılığının hesaplanmasında kullanılır. ANOVA testi tek başına veya üç ve üçten daha fazla grubun aritmetik ortalamalarının kümülatif olarak karşılaştırmasıdır. Bu karşılaştırmaların içinde en az bir tanesi anlamlı olduğu zaman ANOVA sonucu anlamlı olur. ANOVA testi sonucunda kullanılacak hipotezler;

$H_0; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_N$ Grup ortalamalarının arasında anlamlı bir fark yoktur. %5 önem seviyesinde varyanslar eşit dağılmamıştır.

$H_1; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_N$ Grup ortalamalarının arasında anlamlı bir fark vardır. %5 önem seviyesinde varyanslar eşit dağılmıştır (Otrar, 2017).

3. Araştırma Bulguları

3.1 Veri Analizi

Su sorunları hakkında temel bilgi sahibi olmaya ve su tasarrufuna ilişkin bilinçliliği arttırmaya yönelik

belirli bilgi kaynakları bakımından, katılımcılar Tablo 1'de görüleceği üzere yedi başlıca kaynaktan oluşan bir listeyi sıraya koymuşlardır.

Tablo 1. Su tasarrufu farkındalığını arttırmak için kullanılan bilgi kaynakları

Sıraya göre Bilgi Kaynakları	Oldukça tercih ederim 3	Kısmen tercih ederim 2	Tercih etmem 1
1)TV programları	74,4	21,4	4,2
2)Radyo programı	4,6	20,0	75,3
3) Gazete	14,6	24,9	60,5
4) Broşür	3,6	31,2	65,2
5) İnternet	22,3	35,6	42,0
6) Kitap, bilimsel makale ve dergi okuma	10,9	22,3	66,8
7)Arkadaş sohbetleri	5,1	50,1	44,8

Genel olarak bakıldığında, kitle iletişim araçlarının en iyi ve en etkili tasarruf bilgi kaynakları olduğu görülmüştür. Televizyon %74,4'lük bir oranla en çok tercih edilen bilgi kaynağıdır. Televizyonu, %22,3'lük bir oranla internet, %14,6'lık bir oranla ise gazete takip etmektedir. Diğer bilgi kaynakları ile ilgili olarak ise katılımcıların %10,9'u kitap, bilimsel makale ve dergi okuma oldukça tercih ettiklerini %5,1' lik bir kısmı ise bu tür bilgilerin en çok arkadaş sohbetlerinden edinmeyi tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Katılımcıların bir kısmı ise (%4,6) en çok tercih ettikleri opsiyon olarak radyo programını belirtirken, %3,6'lık diğer bir kısmı ise broşürü tercih etmektedirler. Bu analiz bizlere, TV'nin açık ara farkla önde olmakla birlikte, belli başlı bilgi kaynaklarının net bir şekilde tercih edildiğini göstermektedir. Katılımcıların su ile ilgili bilgi ve tasarruf davranışlarında etkili olan kitle iletişim kaynakları ile eğitim durumu arasındaki ilişki tek yönlü varyans analizi anova testi ile incelenmiş, ağırlıklı ortalama ve anlamlılık değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda yer alan (Sig.)p parametresi:

Sig." değeri $0.000 < 0.05$ olduğu için tek yönlü varyans analizi için olan H_0 hipotezi reddedilir. Yani " %95 güvenle, grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır." denilebilir.

Sig." değeri $0.000 < 0.01$ olduğu için tek yönlü varyans analizi için olan H_0 hipotezi reddedilir. Yani " %99 güvenle, grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır." denilebilir.

Tablo 2. Eğitim düzeyi değişkeni tek yönlü varyans analizi (anova testi) uygulama sonuçları

Su ile ilgili bilgi kaynakları	Eğitim Grupları				P
	ilk	orta	lise	Üni	
	AO	AO	AO	AO	
(1) TV programları	2,68	2,74	2,81	2,49	,000**
(2) Gazete	1,24	1,59	1,66	1,67	,000**
(3) Broşür	1,14	1,20	1,64	1,68	,000**
(4) İnternet	1,34	1,74	2,02	2,21	,000**
(5) Kitap, bilimsel makale ve dergi okuma	1,13	1,18	1,60	2,06	,000**
(6) Arkadaş sohbetleri	1,52	1,45	1,74	1,77	,000**
Tasarruf ile ilgili etkili olan kaynaklar					
(1) Kişisel okumalardan	1,80	2,11	2,52	2,42	,000**
(2) Sosyal kurumlardan	1,22	1,58	1,60	1,27	,000**
(3) Devlet makamlarından	1,24	1,62	1,63	1,53	,000**
(4) Arkadaşlardan	1,47	1,50	1,83	1,64	,000**
(5) İnternet	1,34	1,60	1,95	1,86	,000**

Tek yönlü varyans analizi anova test p değeri * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$
AO:Ağırlıklı ortalama

Su ile ilgili bilgi kaynakları ve tasarruf davranışlarında etkili olan kaynakların eğitim durumu gruplarına göre karşılaştırmasında tüm maddelerde eğitim gruplarına göre anlamlı farklılık söz konusudur.

Su ile ilgili bilgi kaynaklarında; TV programları maddesinde lise ortalaması (2,81) diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Gazete maddesinde üniversite ortalaması (1,67) diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Broşür maddesinde üniversite ortalaması (1,68) diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Ayrıca lise gurubu ortalaması (1,64), ortaokul grubunun ortalamasından (1,20) ve ilkokul grubu ortalamasından (1,14) yüksek bulunmuştur. İnternet maddesinde üniversite ortalaması (2,21) diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Ayrıca lise gurubu ortalaması (2,02), ortaokul grubunun ortalamasından (1,74) ve ilkokul grubu ortalamasından (1,34) yüksek bulunmuştur. Kitap, bilimsel makale ve dergi okuma maddesinde üniversite ortalaması (2,06) diğer gruplardan yüksek bulunmuştur.

Arkadaş sohbetleri maddesinde üniversite ortalaması (1,77), diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Tasarruf davranışları ile ilgili etkili olan kaynaklarda; kişisel okumalar maddesinde lise mezunlarının ortalaması (2,52) diğer eğitim gruplarından yüksek bulunmuştur. Ayrıca üniversite mezunu ortalaması (2,42) ortaokul ortalamasından (2,11) ve ilkokul ortalamasından (1,80) yüksek bulunmuştur. Sosyal kurumlardan maddesinde lise mezunlarının ortalaması (1,60) ortaokul mezunları hariç (1,58)

diğer eğitim gruplarından yüksek bulunmuştur. Devlet makamlarından maddesinde lise mezunlarının ortalaması (1,63), ortaokul mezunları hariç (1,62) diğer eğitim gruplarından yüksek bulunmuştur. Arkadaşlardan maddesinde lise mezunlarının ortalaması (1,83) diğer eğitim gruplarından yüksek bulunmuştur. İnternet maddesinde lise mezunlarının ortalaması (1,95), üniversite mezunları hariç (1,86) diğer eğitim gruplarından yüksek bulunmuştur. Ayrıca üniversite mezunu ortalaması (1,86) ortaokul ortalamasından (1,60) ve ilkokul ortalamasından (1,34) yüksek bulunmuştur.

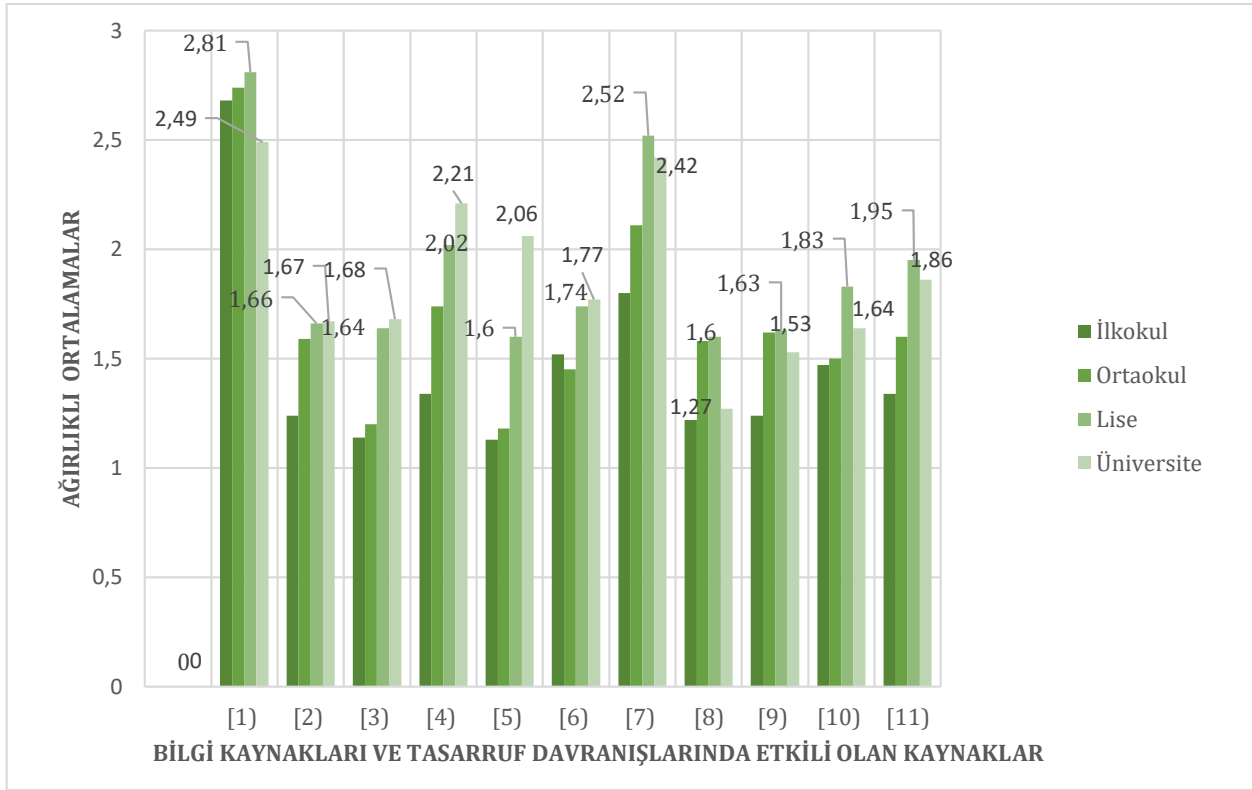
Burada üniversite mezunlarının ve onun hemen arkasından lise mezunlarının, su ile ilgili bilgi kaynaklarına ulaşım, onları daha sık kullanma ve tasarruf davranışlarında etkili kaynaklardan yararlanmada, diğer mezun gruplarına nazaran ön plana çıktığı görülmektedir.

Aynı zamanda Anova testinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 2'de grafiksel olarak gösterilmiş olup, yatay ekseninde belirtilen 11 adet maddenin açıklaması aşağıdaki gibidir.

Bilgi Kaynakları ve Tasarruf Davranışlarında etkili olan kaynaklar;

- 1-TV programları
- 2- Gazete
- 3- Broşür
- 4- İnternet
- 5- Kitap, bilimsel makale ve dergi okuma
- 6- Arkadaş sohbetleri
- 7- Kişisel okumalardan
- 8-Sosyal kurumlardan
- 9- Devlet makamlarından
- 10- Arkadaşlardan
- 11- İnternet

Şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 2. Eğitim düzeyi değişkenine göre ağırlıklı ortalama değerlerinin dağılımı

4. Sonuç ve Tartışma

Çalışmada öncelikle kentsel hanelerin su tüketim eğilimleri ile tasarruf davranışları araştırılmıştır. Hane halklarının su tasarruf davranışlarını nasıl anladıkları ve uyguladıklarını belirlemek adına tüketicilerin su kaynaklarına ilişkin tutum, düşünce ve bilgileri incelenmiştir. Isparta kentsel hane halkının su kullanım alışkanlıkları ile tasarruf davranışlarını etkileyen faktörler ve motivasyonları ele almak amacıyla, su tasarruf davranışlarının edinimini etkilediği bilinen faktörler belirlenmiştir. Çeşitli kitle iletişim araçları, Isparta'nın su sorunlarına ilişkin bilgi kaynaklarına katkıda bulunmuş olmasına rağmen, televizyon ve internet başlıca, iki bilgi kaynağını teşkil etmektedirler. Beş kitle iletişim aracından geriye kalan son üçü ile arasında neredeyse ilişkili bile bulunmamıştır. Tutarlı bağımsız değişken olarak objektif arka plan kriterlerinin (bunlardan ikisi demografik ve sosyo ekonomik kriterdir) Isparta hane halkının su tüketim uygulamaları ve tasarruf davranışlarını açıklayan egemen unsur olarak anlamlılığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak; üniversite ve lise mezunlarının, su ile ilgili kitle iletişim araçlarına (TV ve internet) ulaşım, onları daha sık kullanma ve tasarruf davranışları için etkili kaynaklardan yararlanmada, diğer mezun

gruplarına göre ön plana çıktığı görülmüştür. İlkokul mezunlarının, su ile ilgili kitle iletişim araçlarına ulaşım, onları daha sık kullanma ve tasarruf davranışları için etkili kaynaklardan yararlanmada, yetersiz kaldığı görülmüştür. Ortaokul mezunlarının

ise ilkököl mezunlarının seviyesinin bir miktar üstünde davranış sergilediği görülmüştür. Burada belirtilen tasarruf davranışlarından öne çıkanlardan bazıları; Çamaşır makinesi tam dolunca çalıştırmak, duş alırken ve banyo yaparken suyu sürekli akıtmayıp, musluğu açıp kapatmak, duş alma süresini kısa tutmak olarak sayılabilir. Eğitim düzeyinin yükselmesinin, su tasarrufuna yönelik her türlü eylem ve çabayı arttırdığı belirlenmiştir.

Ayrıca su tasarrufunun artırılması için, daha geniş kitlelere ulaştırılmasında, çalışmada ön plana çıkan TV ve internetin yanında, diğer kitle iletişim araçlarında yaygınlaştırılması ve etkinleştirilmesi gerekmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Cheruseril, J.J., 2007. Determining an Urban Water Consumption Model Based on Socio - Demographic Factors. School Of Mathematical and Geospatial Sciences Science, Engineering and Technology Portfolio. Yüksek Lisans Tezi. Rmit Üniversitesi, Avustralya.

Domene, E., Sauri, D., 2006. Urbanisation and Water Consumption : Influencing Factors in the Metropolitan Region of Barcelona. Urban Studies

- (Routledge), 43 (9), 1605.
- Gilbertson, M., Hurlimann, A., Dolnicar, S., 2011. Does Water Context Influence Behaviour and Attitudes to Water Conservation. *Australasian Journal of Environmental Management*, 18 (1), 47-60.
- Gilg, A., Barr, S., 2006. Behavioural Attitudes Towards Water Saving ? Evidence From a Study of Environmental Actions. *Ecological Economics*, 57 (3), 400-414.
- Harlan, S.L., Yabiku, S.T., Larsen, L., Brazel, A.J., 2009 . Household Water Consumption in an Arid City : Affluence, Affordance, and Attitudes. *Society & Natural Resources An International Journal* 22(8), 691-709.
- Kalaycı, Ş., 2009. SPSS Uygulamalı çok değişkenli İstatistik teknikleri. Asil Yayın Dağıtım. 426 syf.
- Kim, S.H., Choi, S.H., Koo, J.Y., Choi, S.I., Hyun., I.H., 2007. Trend Analysis of Domestic Water Consumption Depending Upon Social , Cultural Economic Parameters. *Water Science & Technology Water Supply*, 7(5-6), 61-68.
- Marinoski, A.K., Vieira, A.S., Silva, A.S., Ghis, E., 2014 . Water End - Uses in Low - Income, Houses in Southern Brazil. *Water*, 6(7).
- Matos, C., Teixeira, C.A., Bento, R., Varajão, J., Bentes, I., 2013. An Exploratory Study on the Influence of Socio-Demographic Characteristics on Water end Uses Inside Buildings. *Science of the Total Environment*, 466-474. ement for wifi devices. in Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services, 91-106.
- Otrar, M., Erişim tarihi 03 / 01 /2017 “ Bağımsız (ilişiksiz)Gruplar T Testi” mustafaotrar.net
- Randolph, B., Troy, P., 2008. Attitudes to Conservation And Water Consumption . *Environmental Science & Policy*, 11(5), 441-455.
- Russell, S., Fielding, K., 2010. Water Demand Management Research : A Psychological Perspective. *Water Resources Manage*, 46-5, 1-12.
- Sadr, M.K.S., Memon, F.A., Jain, A., Gulati, S., Duncan, P.A., Hussein, W., Dragan, Savić A., Butler, D., 2016. Conservation An Analysis of Domestic Water Consumption in Jaipur, India. *British Journal of Environment & Climate Change*, 6 (2), 97-115.
- Schleich, J., Hillenbrand, T., 2009. Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*, 68(6), 1756-1769.
- Trinidad - Gato, S., Jayasuriya, N., Roberts, P., 2011. Understanding Urban Residential end Uses of Water. *Water Science & Technology*, 64(1), 36-42.



DOĞRUDAN TAHRİKLİ ASANSÖR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN SABİT MIKNATISLI SENKRON MOTORLARDA MIKNATIS GEOMETRİSİNİN MOTOR PERFORMANSI VE MALİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Cemil OCAK*

Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Asansör,
Doğrudan Tahrik,
Sabit Mıknatıs,
Senkron Motor,
Maliyet.

Öz

Doğrudan tahrikli sistemler dişli kutusu gibi aktarma organlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırarak daha yüksek verimlilik ve daha küçük bir yapı sunmaktadırlar. Bu çalışmada, doğrudan tahrikli asansör uygulamalarında kullanılan sabit mıknatıslı senkron motorlarda mıknatıs geometrisi değiştirilerek motor performansı ve maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Motorlarda kullanılan mıknatıslara ait maliyet, toplam motor maliyeti üzerinde önemli bir paya sahiptir. Bu sebeple öncelikle 5,5 kW gücünde yüzey yerleştirmeli bir sabit mıknatıslı senkron motor tasarlanıp analiz edilerek parametreleri sunulmuştur. İlk tasarım aşamasını geçen motorda mıknatıs geometrisini belirleyen kutup yayı/kutup adımı oranı, kutup çıkıntı kaçıklığı (ofseti) ve mıknatıs kalınlığı değerleri değişken olarak tanımlanmış ve parametrik çözümler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda motor verimi, vuruş momenti, toplam mıknatıs ağırlığı ve maksimum çıkış gücü değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı kriterleri amaçlayan tasarımlar için motorların toplam maliyetleri karşılaştırılmıştır. Böylelikle motor verimi ve maliyeti arasında en iyi dengeyi sunan mıknatıs geometrisi ve motor tasarımı elde edilerek başlangıç tasarımı iyileştirilmiş ve %30 daha düşük maliyet elde edilmiştir. Bununla birlikte maksimum verimlilik yaklaşık olarak %91 olarak elde edilirken, dengeli tasarım yaklaşık olarak %88 değerinde kabul edilebilir bir verimlilik sunmaktadır.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MAGNET GEOMETRY ON MOTOR PERFORMANCE AND COST IN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS USED IN DIRECT DRIVE ELEVATOR SYSTEMS

Keywords

Elevator,
Direct Drive,
Permanent Magnet,
Synchronous Motor,
Cost.

Abstract

Direct drive systems eliminate the need for drivetrain such as gearboxes to provide higher efficiency and a more compact structure. In this study, magnet geometry of surface mounted permanent magnet synchronous motors used in direct drive elevator applications was changed and its effects on motor performance and total active material cost were investigated. As is known, the cost of magnets used in electric motors has a significant share on total motor cost. Consequently, a 5.5 kW surface mounted permanent magnet synchronous motor has been designed, analyzed and its parameters are presented. For the motor that passes the first design phase, the parameters that constitute the magnet geometry given as pole arc/pole pitch ratio, pole offset and magnet thickness values determined as variable and parametric solutions were implemented. As a result of the analyses, motor efficiency, cogging torque, total magnet weight and maximum output power values were obtained and compared. In addition, the total costs of the motors were compared for designs that aim different design criteria. Thus, the initial design was optimized by obtaining the magnet geometry and motor design that provides an optimal equilibrium between motor efficiency and cost. As a result, 30% lower cost was obtained. However, while the maximum efficiency is obtained as approximately 91%, the optimized design offers an acceptable efficiency of about 88%.

* İlgili yazar / Corresponding author: cemilocak@gazi.edu.tr, +90-312-354-8401

Alıntı / Cite

Ocak, C., (2019). Doğrudan Tahrikli Asansör Sistemlerinde Kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlarda Mıknatıs Geometrisinin Motor Performansı ve Maliyeti Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 825-834.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Ocak, 0000-0001-6542-6350

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.01.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Günümüzde kent nüfusunun artması ile birlikte yüksek binaların sayısı da hızla artmaktadır. Bu binalarda taşımının kolay ve verimli yapılabilmesi önem arz etmektedir. Asansörler binalarda gerekli dikey taşıma işlemini gerçekleştiren cihazlardır. Klasik asansör sistemlerinde dişli kutusu ve ayrı bir makine dairesi kullanılmaktadır. Bu sistemler mekanik düzenekleri ve kullandıkları motor teknolojilerinden dolayı düşük verim, titreşim, akustik gürültü, sık tamir ve bakım ihtiyacı gibi istenmeyen birtakım özelliklere sahiptirler (Das vd., 2016; Cicale vd., 2012). Aktif malzeme ve motor sürücü teknolojilerinde yaşanan gelişmeler doğrultusunda asansör sistemlerinde yüksek performans ve verim sunan sabit mıknatıslı senkron motorların (SMSM) kullanımı artmaktadır. Yüksek kutup sayılarına sahip SMSM'ların doğrudan tahrik imkânı sağlaması neticesinde dişlisiz ve makine dairesiz asansör sistemleri yaygınlaşmaktadır. Böylelikle hem kullanılan SMSM'ların diğer motorlara kıyasla sunduğu verim avantajı, hem de mekanik aktarma organlarında yaşanan kayıpların ortadan kaldırılması ile birlikte sistem verimliliği önemli ölçüde artmaktadır. SMSM'lar diğer motor türlerine kıyasla yüksek verim, maksimum moment üretimi, yüksek birim güç yoğunluğu ve geniş sınırlar içinde hız kontrolü sunmaktadırlar (Hwang vd., 2012; Dalcalı ve Akbaba, 2017; Krasnow vd., 2017). Doğrudan tahrikli SMSM kullanılan asansörler geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptirler. Gelişen sürücü teknolojisinin yardımıyla asansörler kalkış, seyir ve duruş esnasında kullanıcıya konfor sağlamaktadırlar. Yüksek moment kabiliyetine sahip olan SMSM'lar tüm yük koşullarında etkin bir moment-hız denetimi sayesinde kat hizalamasında başarılı performans sergilemektedirler (Demiröz vd., 2010). Bu motorların düşük hızda yüksek momente sahip olmaları dişli kutusunun ortadan kaldırılmasına imkan sağlamıştır. Dişli kutusunun kaldırılması yüksek verime, küçük yapıya, düşük gürültüye, bakım kolaylığına ve çevre dostu teknolojiye öncülük etmektedir (Anand ve Mahesh, 2016).

Literatürde SMSM'ların tasarımı ve performanslarının iyileştirilmesine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar büyük çoğunlukla sürücü denetimine ve motorun fiziksel yapısı üzerine odaklanmıştır. Yetis ve diğerleri dişlisiz asansör sistemlerinde kullanılmak üzere iki farklı stator-rotor

oluk sayısı kombinasyonunda SMSM tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan ilki 36/34 ve ikincisi 36/42 kombinasyonuna sahiptir. Analiz sonucunda ilk tasarımda daha düşük vuru moment, hafif yapı ve düşük mıknatıs maliyeti elde edilmiştir. İkinci tasarımda ise daha düşük moment dalgalanması ve manyetik yüklemeye sahip motor tasarımı gerçekleştirilmiştir (Yetiş vd., 2013). Bu çalışmaya benzer diğer bir çalışmada 6 farklı stator-rotor oluk kombinasyonu analiz edilerek optimum radyal elektromanyetik kuvvetin elde edilmesi amaçlanmıştır (Kim vd., 2017). Diğer bir çalışmada asansörde kullanılan SMSM'larda tam adımlı ve kesirli tip sarım yapısının moment dalgalanmasına etkisinin incelenmesi amacıyla yüzey yerleştirmeli bir motor tasarlanarak deneysel olarak doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Kesirli tip sarımda 5., 7., ve diğer yüksek dereceden harmonik bileşenlerin azaltıldığı belirlenmiştir (Bakhtiarzadeh vd., 2017). Yüksek hızlı asansörlerde kullanılan SMSM'un oluk/kutup oranının etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmada 144 oluk/32 kutup yapısına sahip prototip motor ile 144 oluk/40 kutba sahip optimize edilmiş motor karşılaştırılmıştır. Optimize edilen SMSM'un nominal ve maksimum yük koşullarında 32 kutuplu motora nazaran daha düşük harmoniklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Düşük harmoniğe rağmen artan kutup sayısı ve demir kaybı nedeniyle 40 kutuplu SMSM'un veriminin daha düşük olduğu görülmüştür (Sim vd., 2018). İç ve dış rotorlu doğrudan tahrikli SMSM'ların asansör uygulamaları için karşılaştırıldığı bir çalışmada, motorun tasarımındaki temel sorunları dikkate alan araştırmacılar, iç rotor yapısına sahip SMSM'un dış rotor yapısına sahip motordan daha büyük ve daha ağır olduğunu belirtmişlerdir. Bu dezavantajına rağmen iç rotorlu motorda ısı dağılımının daha iyi olduğu belirtilmiştir (Wang vd., 2005). Farklı mıknatıs yerleşimlerinin dikkate alındığı diğer bir çalışmada ise yüzey yerleştirmeli mıknatıslar ile gömülü tip radyal ve teğetsel manyetize edilmiş mıknatıslara sahip motorlar karşılaştırılmıştır. Yaklaşık olarak aynı verim ve güç yoğunluğu değerlerini sunan her bir motor için en yüksek maliyet yüzey yerleştirmeli mıknatıslara sahip SMSM'da elde edilmiştir (Torrent vd., 2018).

Literatür çalışmalarında özellikle performans iyileştirmelerine yer verildiği bununla birlikte motor maliyetinin ise az sayıda çalışmada irdelendiği görülmektedir. Genel olarak yüksek verimlilik beraberinde yüksek maliyeti de getirmektedir. Bazı

spesifik uygulamalarda maliyet göz ardı edilerek motor tasarımındaki en önemli kriter yüksek verimlilik olabilmektedir. Fakat asansörler, elektrikli araçlar, fan ve pompalar gibi endüstriyel uygulamalarda ideal bir seri üretim motor için verimlilikle birlikte motor maliyetinin de titizlikle ele alınması gerekmektedir. Böyle bir motorun tasarımı mutlak suretle verim, maksimum moment üretimi ve maliyet gibi kriterleri dikkate alan çok amaçlı bir optimizasyon probleminin çözümüne ihtiyaç duymaktadır. Böyle bir problemde genel olarak kullanılan malzemelerin özellikleri, makinanın aktif boyutları, stator ve rotor geometrik parametreleri, sargı özellikleri ve yük davranışı değişken olarak tanımlanır ve belirlenen sınırlar doğrultusunda çözümler elde edilir. Fakat çok fazla değişkenin tanımlanması problemin çözümünü ve giriş çıkış parametrelerinin birbirleri üzerindeki etkilerinin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Literatür çalışmalarında ağırlıklı olarak çok amaçlı optimizasyon problemlerine yer verilmektedir. Bununla birlikte çalışmaların önemli bir kısmı farklı rotor topolojilerine ve mıknatıs malzemelerine sahip motorların verimlerinin ve maliyetlerinin karşılaştırması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda, Torrent ve arkadaşları yüzey yerleştirmeli mıknatıslar ve gömülü tip mıknatıslara sahip cer motorlarının verim ve maliyetlerini karşılaştırmış, yüzey yerleştirmeli mıknatıslara sahip motorların daha yüksek maliyete rağmen daha iyi verimlilik sunmadığını ortaya koymuştur. Doğrudan tahrikli asansör motorları yüksek kutup sayılarından dolayı yüzey yerleştirmeli yapılandırmaya sahip olmak zorundadır. Bu sebeple verim ve maliyet odaklı bir karşılaştırma için mıknatıs geometrisi, stator boyutları sabit kalmak kaydıyla değiştirilerek her bir geometrik değişkenin etkisi gözlemlenmelidir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde her bir değişkenin etkisini takip etmek oldukça zordur. Bu çalışma ile mıknatısa ait her bir geometrik parametrenin etkisi doğrudan gözlemlenebilmektedir.

Yüksek BH_{maks} çarpımına sahip neodimiyum mıknatıslar elektrik motorlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Knebl vd., 2018; Zhao vd., 2018). Bu tür mıknatısların kullanımı ile yüksek hava aralığı akı yoğunluğuna ve küçük boyutlara sahip motorların tasarım ve üretimi yaygınlaşmaktadır (Grunditz vd., 2018; Hu vd., 2017). Diğer taraftan nadir element malzemelerin fiyatları son yıllarda hızla artmakta ve fiyatlarda yaşanan istikrarsızlık motor üreticileri için olumsuz bir tablo meydana getirmektedir. Mıknatıs maliyeti, toplam motor maliyeti üzerinde önemli bir paya sahiptir. Bu sebeple motor üreticileri, mıknatıs kullanımını azaltmaya yönelik tedbirler almakta ve daha az mıknatıs kullanımına imkân sağlayan tasarımlar üzerinde çalışmaktadırlar.

Yukarıda ifade edildiği üzere, mıknatıs geometrisi ve dolayısı ile toplam mıknatıs kullanımı motor

performansı ve maliyeti üzerinde önemli bir yere sahiptir. Bu gerekçeler doğrultusunda bu çalışmada, ilk olarak 5,5 kW (600-700 kg, 8 kişi taşımaya uygun) gücünde bir SMSM'un sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Akabinde mıknatıs geometrisinin ve dolayısı ile toplam mıknatıs miktarının motorun performansı ve maliyeti üzerindeki etkilerinin incelenmesi için mıknatıs geometrisini oluşturan parametreler değişken olarak tanımlanmıştır. Böylelikle farklı mıknatıs geometrileri sonucunda motor verimi, vuruğu momenti, çıkış gücü ve toplam mıknatıs kullanım miktarı değerleri elde edilmiştir. Analiz sonuçları incelenerek maksimum verim, minimum maliyet ve dengeli verim-maliyet tasarımları elde edilmiştir. Her bir tasarım kriterine ait toplam motor maliyetleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Karşılaştırma sonuçlarının doğrudan mıknatıs geometrisi ile ilişkilendirilebilmesi için motorlara ait paket boyu ve çapı, hava aralığı ve sargı özellikleri değiştirilmemiştir. Daha önce ifade edildiği üzere çok amaçlı bir optimizasyon için motora ait tüm değişkenleri içeren bir problem tanımlanmalıdır. Böylelikle daha yüksek performans ve daha düşük maliyet hedeflerine ulaşılabilir.

2. SMSM'un Tasarımı ve Analizi

Elektrik makinalarının tasarımı birçok mühendislik disiplinin birbiri ile ilişkisini içerir. Bir elektrik makinasının tasarımında elektromanyetik, ısıl ve mekanik problemlerin dikkate alınması ve İstenilen özellikleri karşılayan bir tasarıma ulaşılması için bir dizi analizin gerçekleştirilmesi gerekir. Elektrik makinalarının tasarımında ve analizinde kullanılan Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) elektromanyetik tasarım parametrelerinin çok yüksek bir doğrulukla belirlenmesine imkân tanır (Upadhyay, 2008; Duan, 2010; Dalcalı ve Akbaba, 2016). Elektrik makinalarının tasarımı genellikle boyutlandırma eşitlikleriyle başlar. Boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen paket çapı (D) ve boyu (L), çoğu zaman eşitlik içerisinde doğrudan ifade edilemeyen bir takım kabul ve varsayımlarla ilişkilidir. Bu sebeple tasarımcının deneyimi, boyutlandırma hesaplarının, tasarımdan beklenenleri karşılaması açısından önemlidir. Aynı zamanda boyutlandırma hesaplamaları sonucunda elde edilen boyutların, nihai tasarım boyutlarına yakın olabilecek şekilde yüksek doğrulukla belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle optimizasyon sürecinde tanımlanacak aralıklar daraltılarak daha hızlı ve doğru sonuç alınabilmesi mümkün olur. Eşitlik 1'de boyutlandırma için kullanılacak genel bir eşitlik verilmiştir. Eşitlikten görüleceği üzere, motordan alınabilecek güç, manyetik ve elektriksel yüklemeye, stator iç çapına, paket uzunluğuna ve dönme hızına bağlıdır. Tüm bunlara ek olarak soğutma tipi de boyutlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle makinanın soğutma şekline göre boyutlandırma hesaplamaları uygun bir katsayı ile güncellenmelidir. Örneğin daha iyi

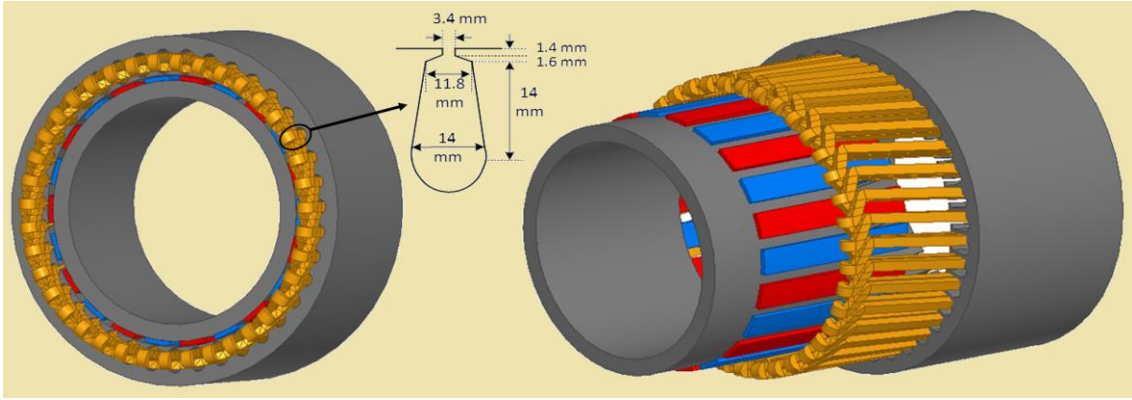
soğutulabilen bir motordan aynı paket hacminde daha fazla sürekli güç alınabilmektedir.

$$S = 11 \cdot K_{wl} \cdot \bar{B} \cdot ac \cdot \left(\frac{D}{1000} \right)^2 \cdot \frac{L}{1000} \cdot n \quad (1)$$

Burada S VA cinsinden güç, B spesifik manyetik yüklemesi, ac spesifik elektriksel yüklemesi, D stator iç çapı, L paket uzunluğu, K_{wl} sargı katsayısı ve n motorun anma hızıdır (Dalcı ve Akbaba, 2017; Ocak vd., 2017). Çalışmanın bu kısmında motorun tasarım detaylarına, içeriğin uzunluğu ve tek başına farklı bir çalışmanın konusunu oluşturması sebebiyle yer verilmeyecektir. Fakat SMSM'a ait matematiksel model ilgili kaynaklarda detaylıca bulunabilir (Çelik, 2012; Öztürk vd., 2017). Boyutlandırma çalışmaları sonucunda elde edilen tasarıma ait parametreler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1 parametreleri doğrultusunda elde edilen başlangıç tasarımına ait 3 boyutlu (3B) motor görünümü ve oluk geometrisine ait detaylar Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Başlangıç tasarımı parametreleri.

Parametre	Değer	Birim
Anma Gücü	5,5	kW
Anma Hızı	185	rpm
Anma Gerilimi	400	V
Mıknatis Malzemesi	N40-UH	-
Nüve Malzemesi	M400-50A	-
Oluk Başına İletken	68	-
İletken Çapı	1,15	mm
Oluk Sayısı	39	-
Stator Dış Çapı	324	mm
Rotor Dış Çapı	252	mm
Paket Uzunluğu	155	mm
Hava Aralığı	1,2	mm
Kutup Sayısı	22	-
Mıknatis Kalınlığı	3	mm
Kutup Yay Ofseti	0	-



Şekil 1. SMSM'un başlangıç tasarımına ait 3B görünümü ve oluk detayları.

Başlangıç tasarımı gerçekleştirilen SMSM'un yüklü ve yüksüz durum analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Analiz sonuçları.

	Parametre	Değer	Birim
Anma Yükte	Endüklenen Faz Gerilimi	448	V
	Faz Akımı	12,05	A
	Toplam Kayıplar	958,67	W
	Çıkış Momenti	283,94	Nm
	Verim	85,19	%
Yüksüz	Stator Dış Akı Yoğunluğu	1,485	T
	Stator Boyunduruğu Akı Yoğunluğu	0,569	T
	Rotor Boyunduruğu Akı Yoğunluğu	0,488	T
	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu	0,774	T
	Mıknatis Akı Yoğunluğu	0,804	T

Yüksüz durumdaki analiz sonuçları başlangıç tasarımında oluşturan nüve geometrisinin ve seçilen manyetik malzemenin uygunluğunu göstermektedir. Genel bir yaklaşım olarak nüvenin çalıştırıldığı akı yoğunluğu değeri, doyum bölgesinin altında ve

geçirgenliğin maksimum olduğu noktaya göre belirlenmelidir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar tasarım öncesi hedeflenen ölçütlere uygundur.

3. Mıknatis Geometrisinin Değişimi

Mıknatis geometrisi motor performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Zarko vd., 2018; Jo vd., 2019; He ve Wu, 2019). Bu çalışmada doğrudan tahrikli uygulamalar hedeflendiğinden 22 kutuplu bir tasarım dikkate alınmıştır. SMSM'larda mıknatislar yüzeye veya rotor içerisine gömülü olarak yerleştirilebilir. Yüksek kutup sayısına sahip tasarımların, daha küçük rotor çapında yüzey yerleştirmeli olarak gerçekleştirilmesi daha kolaydır. Gömülü tip yapılarda mıknatisların rotor içerisindeki etkin yerleşme çapı küçüldüğünden, gömülme miktarı arttıkça kutup sayısını düşürme veya rotor çapının büyütülmesi problemleri ortaya çıkmaktadır. Yüzey yerleştirmeli ve gömülü tip mıknatislara sahip tasarımlarda mıknatisların geometrik değişimleri farklı parametrelerle ifade edilir. Bu çalışmada yüzey yerleştirmeli yapı dikkate alındığından, rotor yüzeyine yerleştirilen mıknatis geometrisini değiştiren

parametreler dikkate alınacaktır. Bu parametrelerden ilki, Şekil 2a'da verilen ve mıknatıslar arasındaki boşluğu belirleyen kutup yayı/kutup adımı oranıdır. Diğer bir parametre ise Şekil 2b'de verilen mıknatis kalınlığıdır. Çalışmada tanımlanan son değişken ise mıknatis kenarlarının basıklık düzeyini ifade eden kutup yay ofset parametresidir. Mıknatisin üst yüzeyini oluşturan yayın merkezi referans alınır, kutup yay ofset parametresi bu merkeze dik olan uzaklık olarak ifade edilir. Kutup yay ofset değeri sıfır iken, mıknatis ve stator arasındaki hava aralığı sabit bir değer olacaktır. Kutup yay ofset değeri arttıkça, mıknatisin kenarlarındaki basıklık artacak ve buna bağlı olarak mıknatis ve stator arasındaki hava aralığı merkezde minimum, kenarlarda ise maksimum değer olarak değişken bir hava aralığı elde edilmesine sebep olacaktır. Şekil 2c'de kutup yay ofset değeri değişiminin mıknatis geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Tablo 3'te mıknatısların geometrisini oluşturan ve değişken olarak tanımlanan parametreler için belirlenen sınır aralıkları ve çözüm adımları verilmiştir. Bu kapsamda toplamda 1302 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Kutup yayı/kutup adımı değerinin alabileceği üst sınır değeri 1'dir. Montaj gereksinimlerinden dolayı bu çalışmada maksimum 0,95 ve minimum 0,65 olarak belirlenmiştir. Minimum olarak belirlenen değerden daha küçük değerler genellikle daha küçük birim güç yoğunluğuna sahip makineler elde edilmesine sebep olur. Kutup yay ofset değerinin alt sınırı 0, diğer bir ifadeyle ofset tanımlanmadığı durumu ifade eder. Bu değer üst sınırı ise kutup yayı/kutup adımı değerini fiziksel olarak etkilemeyecek en büyük değer olarak belirlenmiştir. Aksi halde daha fazla ofset verilmesi mıknatıslar arasındaki boşluğun artmasına sebep olacaktır.

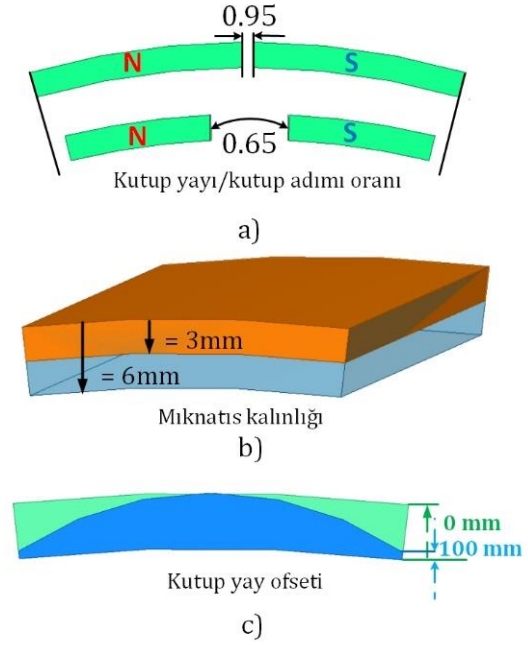
Tablo 3. Parametrelere ait çözüm aralıkları ve adımları.

Parametre	Tanımlanan Aralık	Adım
Kutup Yayı/Kutup Adımı Oranı	$0,65 \leq P1 \leq 0,95$	0,01
Kutup Yay Ofseti (mm)	$0 \leq P2 \leq 100$	20
Mıknatis Kalınlığı (mm)	$3 \leq P3 \leq 6$	0,5

$P1$ değeri değişiminin motor performansı üzerindeki etkileri kestirmek zordur. Bu sebeple ilgili değişken için çözüm adımları olabildiğince küçük tanımlanmıştır.

Burada daha küçük adım değerleri tanımlanabilir fakat mıknatısların imalat toleransı dışında kalacağından gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Diğer taraftan $P2$ ve $P3$ değişkenlerinin etkileri çoğu zaman doğrusal bir bant içerisinde kalır ve kestirilebilir. Bu sebeple $P2$ ve $P3$ değişkenlerine ait çözüm adımları toplam analiz miktarını ve süresini azaltmak adına nispeten daha büyük adımlara sahip

olacak şekilde belirlenmiştir. Şekil 2'de değişken olarak belirlenen parametrelerin minimum ve maksimum değerleri ve bu değerlerdeki mıknatıslara ait görünüm vermiştir.



Şekil 2. Değişkenlerin minimum ve maksimum değerlerinde mıknatıslara ait görünüm a) Kutup yayı/kutup adımı oranı değişimi, b) Mıknatis kalınlığı değişimi c) Kutup yay ofseti değişimi.

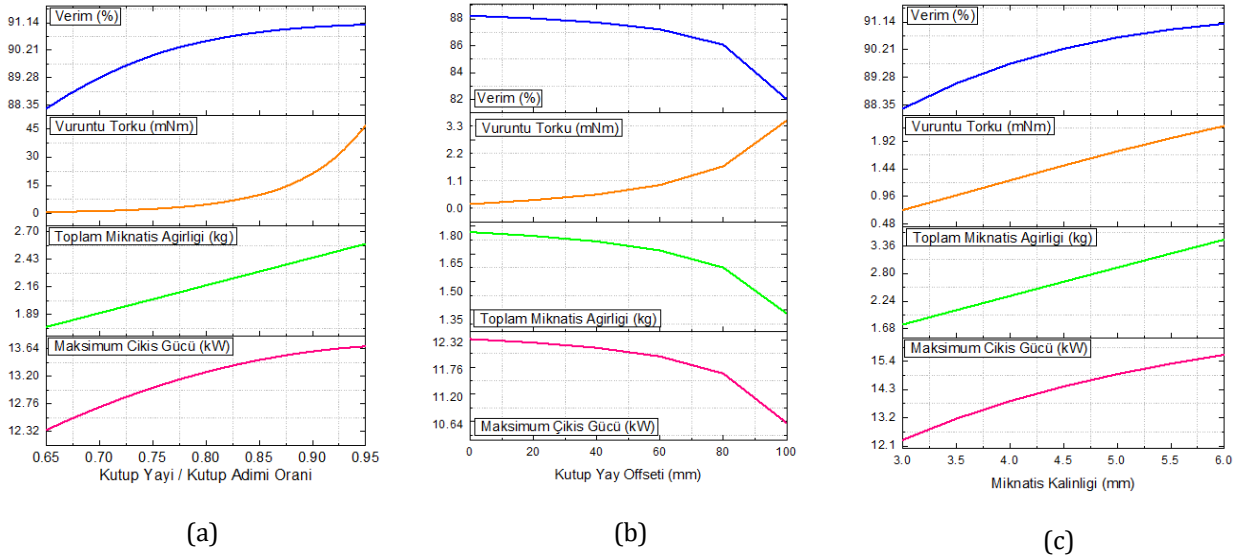
4. Performans ve Maliyet Çıktılarının Karşılaştırılması

Tanımlanan parametrelerin değişimi, hava aralığı akı yoğunluğunu ve dalga formunu önemli ölçüde değiştirerek indüklenen gerilimler ve moment gibi motor performans çıktılarının değişimine yol açar. Aynı zamanda tüm bu parametrelere motorda kullanılan toplam mıknatis miktarını belirler ve motorun toplam maliyetini değiştirir. Motor verimliliğinin maksimum, maliyetinin ise minimum olması tüm tasarım çalışmalarının ortak hedefidir. Ancak, hem maliyetin düşürülmesi hem de verimin artırılması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Motor verimliliğinin arttıran etkenler (daha güçlü mıknatıslar, düşük kayıplı nüve malzemeleri, daha yüksek sargı iletkenliği vb.) aynı zamanda motor maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple verim ve maliyet arasında kabul edilebilir bir denge yakalanmalıdır. İfade edilen gerekçeler ve tanımlanan değişkenler doğrultusunda toplam 1302 adet farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Her bir analizde değişkenlere göre vuruş momenti değeri, motor verimi, kullanılan mıknatis miktarı ve motorun verebileceği maksimum çıkış gücü değerleri elde edilmiştir. Sabit mıknatıslı makinelerde vuruş momenti, faz akımları sıfır iken mıknatıslar ile stator olukları arasındaki etkileşimden meydana gelen momenttir. Bu istenmeyen bir etkidir ve makinede titreşime ve akustik gürültüye neden olmaktadır

(Saygın vd., 2015). Bu sebeple çıkış parametrelerinden vuruğu momenti değeri minimuma indirebilmek gerekir. Motora ait verim değeri ise hedeflenen maliyetler dikkate alınarak arttırılmalıdır. Diğer taraftan motor maliyetinin düşürülebilmesi için mıknatis kullanımının azaltılması gerekir. Asansör sistemleri gibi kısa süreli (S5 – %40) çalışma rejimine sahip değışken hız ve güç uygulamalarında motora ait anma çıkış gücünü dikkate almak tek başına yeterli olmayabilir. Bu sebeple motorun soğutma tipi de dikkate alınarak maksimum çıkış gücünün dikkate alınması gerekir. Çalışmada, öncelikle her bir değışkenin tek başına motor çıkış parametreleri üzerindeki etkileri elde edilerek sırasıyla Şekil 3a, 3b ve 3c’de verilmiştir. Analizlerde bir değışkenin etkisi incelenirken diğer iki değışken için başlangıç tasarımlarına ait değerler referans alınmıştır. Böylelikle her bir değışkenin motor performansı ve toplam mıknatis kullanımı üzerindeki etkilerini incelemek mümkün olmaktadır.

Şekil 3a’da kutup yayı/kutup adımı oranının değışimi verilmiştir. Bu değerin artması ile birlikte çıkış gücü artmakta, bununla birlikte benzer bir profil sergileyen verim değeri de artmaktadır. Toplam mıknatis ağırlığı ise beklenildiği üzere doğrusal bir artış sergilemektedir. Vuruğu momenti değeri stator ve rotor geometrisi ile doğrudan ilişkilidir. Stator geometrisinin sabit tutulduğu dikkate alınırca, böyle bir tasarım için 0,8 kutup yayı/kutup adımı oranı üzerinde önemli ölçüde vuruğu momenti meydana gelmektedir. Şekil 3b’de kutup yay ofseti değeri değışimi verilmiştir. Bu değer mıknatis kullanımını 80mm’ye kadar yavaş, sonrasında ise hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Azalan mıknatis miktarı ile birlikte çıkış gücü de aynı şekilde azalmaktadır. Azalan çıkış

gücü ise verimin düşmesine sebep olmaktadır. Vuruğu momenti değeri ise mıknatis kenarlarının statordan uzaklaşması ile birlikte artmaktadır. Farklı bir stator oluk sayısı değeri vuruğu momentinde artış yerine azalma da gözlemlenebilir. Bu sebeple stator oluk sayılarının değışimleri de ayrıca dikkate alınmalıdır. Şekil 3c’de ise mıknatis kalınlığının değışimi verilmiştir. Mıknatis kalınlığının genel olarak motor çıkış parametreleri üzerinde doğrusal bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu değerin artışı çıkış gücünü ve buna paralel olarak verimlilik değeri arttırmaktadır. Diğer taraftan mıknatis kalınlığının minimum ve maksimum değerleri arasında toplam mıknatis ağırlığı iki kat değışmektedir. Dolayısı ile artan verim değeri kıyasla kullanılan mıknatis miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Vuruğu momentindeki artış ise diğer iki değışkenin aksine kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Maksimum çıkış gücü, mıknatis kalınlığının en fazla olduğu noktada elde edilebilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen analizler doğrultusunda, kullanılan farklı mıknatis miktarlarının motorun toplam maliyeti üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Motor maliyetinin önemli bir bölümünü mıknatisler oluşturmaktadır. Bu sebeple mıknatislere ait değışkenlerin minimum ve maksimum değerlerinde elde edilen mıknatis maliyetleri ve toplam aktif malzeme maliyetleri Tablo 4’de verilmiştir (N40UH: 95 \$/kg, M400-50A: 1,9 \$/kg ve Bakır: 7 \$/kg olarak değerlendirilmiştir). Böylelikle performans çıktıları ile birlikte mıknatis geometrilerinin motor maliyetini nasıl ve ne kadar değıştirebileceği ifade edilebilmektedir. Tablo 4’de verilen her bir değışkenin minimum ve maksimum değerlerinde, ilgili diğer iki değışken başlangıç tasarımındaki belirtilen değerlerdir.



Şekil 3. Mıknatislere ait değışkenlerin motor verimi, vuruğu momenti, toplam mıknatis ağırlığı ve maksimum çıkış gücü üzerindeki etkileri a) Kutup yayı/kutup adımı oranının değışimi, b) Kutup yay ofseti değeri değışimi, c) Mıknatis kalınlığının değışimi.

Çalışmada her bir tasarım için aynı tip mıknatıslar dikkate alındığından mıknatıs kullanımı kg olarak ifade edilmiştir. Şayet tasarımlar arasında farklı mıknatıs malzemeleri kullanılacaksa, örneğin ferit ve neodimiyum, maliyet hesaplamalarında mıknatıs ağırlığı yerine mıknatıs hacminin dikkate alınması daha doğru olacaktır. Tablo 4'ten görüldüğü üzere değişen mıknatıs geometrileri toplam malzeme maliyetleri arasında önemli farklara sebep olmaktadır. Mıknatıs maliyeti, aktif malzemelere ait maliyetler arasında en büyük paya sahip olduğundan motor performansını önemli ölçüde etkilemeksizin düşürülmelidir. Yüksek verimlilik ve performans beraberinde yüksek maliyetleri de getirmektedir. Benzer şekilde en düşük maliyete sahip tasarımlar da çoğu zaman en kötü performansı sunmaktadır. Tasarımcı verim ve maliyet arasında uygulamaya uygun bir kriter belirlemeli ve tasarımı bu kriter doğrultusunda sonuçlandırmalıdır. Bazı özel uygulamalarda verimlilik tek ve en önemli kriter olabilir. Diğer taraftan endüstriyel uygulamalara bakıldığında maliyet de en az verimlilik kadar önemli bir parametredir. Gerçekleştirilen çözümler içerisinde maksimum verimlilik değerini sunan mıknatıs geometrisi ile birlikte toplam maliyetin minimum olduğu mıknatıs geometrisine ait değerler elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmadaki değişkenler parametrik olarak çözdürülerek tanımlanan aralıklara uygun tüm ihtimaller dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen performans ve maliyet değerleri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda mıknatıs parametrelerine dayalı üç farklı tasarım kriteri belirlenmiştir. Bunlardan ilki maksimum verimliliğinin sağlandığı tasarım, diğeri minimum maliyetinin elde edildiği tasarım ve sonuncusu da verim/maliyet oranının maksimum olduğu dengeli tasarımdır. Analiz sonuçlarında verim/maliyet oranının daha yüksek olarak elde edildiği tasarımlar bulunmasına rağmen, maksimum çıkış gücü ve vuruş momenti diğer etkenler olarak dikkate alınmıştır. Bu sebeple maksimum verim/maliyet oranıyla birlikte en iyi maksimum çıkış gücü ve vuruş momenti değerine sahip olan tasarım dengeli tasarım olarak belirlenmiştir. Maksimum verim tasarımı, minimum maliyet tasarımı ve dengeli tasarıma ait performans ve maliyet değerleri

tasarımlara ait mıknatıs parametreleriyle birlikte Tablo 5'te verilmiştir.

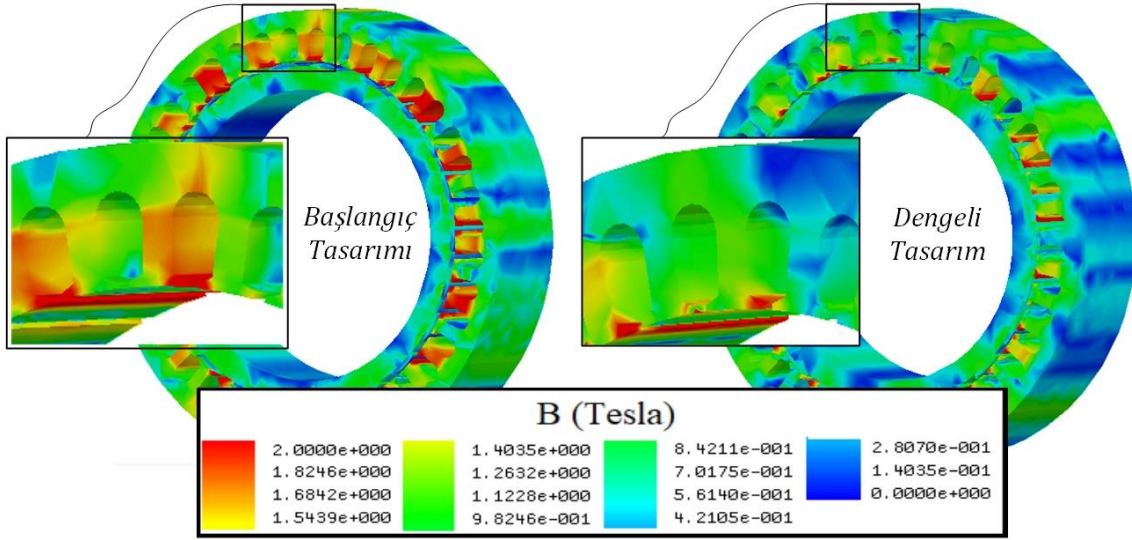
Tablo 5'teki sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki maksimum verimliliği sağlayan mıknatıs parametrelerinin kullanıldığı motor ile minimum maliyetin elde edildiği motor verimliliği arasında %9,31'lik önemli bir fark ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan maksimum veriminin sağlandığı motorun maliyeti ise minimum maliyet kriterine sahip motordan yaklaşık olarak %65 daha maliyetlidir. En yüksek verimlilik değeri genel olarak en büyük mıknatıs kalınlığı, en büyük kutup yayı/kutup adımı oranı ve en düşük kutup yayı ofseti değeri ile elde edilebilmektedir. Özellikle belirli verim değerlerinden sonra verimliliği %1 oranında arttırabilmek için yaklaşık olarak %50 daha fazla mıknatıs kullanımı söz konusu olmaktadır. Bu noktalar itibarıyla verim/maliyet oranı hızla düşmekte ve sadece tek kriter olarak verimliliği dikkate alan uygulamalarda bir seçenek olarak sunulabilmektedir. Asansör gibi endüstriyel uygulamalar dikkate alındığında verim değerinin yanında maliyet ve diğer performans değerleri de ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple maksimum verim/maliyet oranının sağlanabildiği, bununla birlikte kabul edilebilir performans değerleri sunan tasarımlar dikkate alınmalıdır. Bu amaçla belirlenen dengeli tasarım kriteri sonucunda elde edilen tasarım ile en yüksek verimliliğin elde edildiği tasarım karşılaştırıldığında, verim değerleri arasında yaklaşık olarak %3, maliyetler arasında ise yaklaşık olarak %44 gibi oldukça büyük bir farkın meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan dengeli tasarıma ait vuruş momenti değeri, en yüksek verimliliğin elde edildiği tasarımdan oldukça küçüktür. Maksimum çıkış güçleri ve güç yoğunlukları arasındaki fark ise her tasarım için aynı stator yapısı kullanıldığından dolayı birbirlerine yakın sayılabilecek düzeydedir ve kutup sayısının arttırılmasıyla daha büyük iyileştirmeler gerçekleştirilebilir (Torrent vd., 2018). Böylelikle dengeli tasarım kriterine göre elde edilen tasarım sonucunda verimlilik, maliyet ve performans beklentilerinin karşılanabildiği en uygun motorun geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Tablo 4. Değişkenlerin minimum ve maksimum değerlerine göre kullanılan toplam aktif malzeme miktarları ve maliyeti.

Parametre		Mıknatıs (N40UH)		Nüve Malzemesi (M400-50A)		Bobin Teli (Bakır)		Toplam Maliyet (\$)
		Miktar (kg)	Toplam (\$)	Miktar (kg)	Toplam (\$)	Miktar (kg)	Toplam (\$)	
Kutup Yayı/Kutup Adımı Oranı	Min=0,65	1,766	167,81	38,89	73,89	11,38	79,70	321,40
	Maks=0,95	2,581	245,26	38,89	73,89	11,38	79,70	398,85
Kutup Yayı Ofseti (mm)	Min=0	1,766	167,81	38,89	73,89	11,38	79,70	321,40
	Maks=100	1,329	126,32	38,89	73,89	11,38	79,70	279,91
Mıknatıs Kalınlığı (mm)	Min=3	1,766	167,81	38,89	73,89	11,38	79,70	321,40
	Maks=6	3,489	331,54	36,32	69,00	11,38	79,70	480,24

Tablo 5. Belirlenen tasarım kriterlerine göre elde edilen performans ve maliyet değerleri.

Tasarım Kriteri	Parametreler	Verim (%)	Toplam Malzeme Maliyeti (\$)	Vuruntu Momenti (Mnm)	Maksimum Çıkış Gücü (W)
Maksimum Verim	Kutup Yayı Ofseti = 0 mm Kutup Yayı/Kutup Adımı Oranı = 0,8 Mıknatıs Kalınlığı = 4,5 mm	91,34	461,51	6,87	15332
Minimum Maliyet	Kutup Yayı Ofseti = 100 mm Kutup Yayı/Kutup Adımı Oranı = 0,65 Mıknatıs Kalınlığı = 3 mm	82,03	279,91	4,06	10605
Dengeli Tasarım	Kutup Yayı Ofseti = 40 mm Kutup Yayı/Kutup Adımı Oranı = 0,67 Mıknatıs Kalınlığı = 3 mm	88,17	320,79	0,45	12299

**Şekil 4.** Başlangıç tasarımı ve dengeli tasarımı ait akı yoğunluklarının dağılımı

Ayrıca Şekil 4'te başlangıç tasarımı ile analizler sonucunda önerilen dengeli tasarıma ait akı yoğunluklarının dağılımları verilmiştir. Dengeli tasarım, başlangıç tasarımına kıyasla daha kabul edilebilir (doyum noktasının altında) bir akı yoğunluğu dağılımına sahiptir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, dişli kutusuz asansör sistemleri gibi doğrudan tahrik uygulamaları için yüzey yerleştirmeli mıknatıslara sahip 5,5 kW gücünde bir SMSM'nin tasarımı gerçekleştirilerek, mıknatıs geometrisinin değişiminin motorun performansı ve maliyeti üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Mıknatısları meydana getiren parametreler değişken olarak tanımlanarak farklı mıknatıs geometrileri için motor performans ve maliyet değerleri elde edilmiştir. Bu kapsamda maksimum verimlilik, minimum maliyet ve dengeli tasarım olarak adlandırılan üç farklı tasarım kriterine göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Dengeli tasarım neticesinde maksimum verim/maliyet oranı elde edilerek, maksimum verimliliği sunan tasarıma kıyasla %30 daha düşük maliyet elde edilmiştir. Bununla birlikte maksimum verimlilik yaklaşık olarak

%91 olarak elde edilirken, dengeli tasarım yaklaşık olarak %88 değerinde kabul edilebilir bir verimlilik sunmaktadır. Tasarımlara ait mıknatıs geometrileri ve toplam mıknatıs kullanımları verilmiştir. Maksimum motor verimliliğini hedefleyen tasarımların, yüksek mıknatıs kullanımına ve dolayısı ile yüksek malzeme maliyetlerine sahip olacağı görülmektedir. Mıknatıs maliyeti motorun toplam maliyeti içerisinde önemli bir paya sahiptir. Bu sebeple verim ve maliyet arasında diğer motor performans çıktılarına da gözetilen dengeli bir tasarıma gerçekleştirecek mıknatıs parametreleri elde edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, motor maliyetinin daha fazla düşürülebilmesi için farklı mıknatıs malzemeleri, stator yapıları ve kutup sayılarını dikkate alan optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar

- Anand, R., Mahesh, M., 2016. Analysis of elevator drives energy consumptions with permanent magnet machines", 4th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering, 186-190.
- Bakhtiarzadeh, H., Polat, A., Ergene, L. T., 2017. Design and analysis of a permanent magnet synchronous motor for elevator applications. Optimization of Electrical and Electronic Equipment Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, 293-298.
- Cicale, S., Albin, L., Parasiliti, F., Villani, M., 2012. Design of a permanent magnet synchronous motor with grain oriented electrical steel for direct-drive elevators. XXth International Conference on Electrical Machines, 1256-1263.
- Çelik E., 2012. Sürekli mıknatıslı senkron motor hız denetiminin genetik tabanlı bulanık mantık denetleyici ile arayüz destekli simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-49.
- Dalcalı, A., Akbaba, M., 2016. Comparison of 2D and 3D magnetic field analysis of single-phase shaded pole induction motors. Engineering Sciences and Technology, an International Journal, 19(1), 1-7.
- Dalcalı, A., Akbaba, M., 2017. Optimum pole arc offset in permanent magnet synchronous generators for obtaining lowest voltage harmonics. Scientia Iranica D, 24(6), 3223-3230.
- Das, D., Kumaresan, N., Nayanar, N., Navin Sam, K., Ammasai Gounden, N., 2016. Development of BLDC motor-based elevator system suitable for DC microgrid. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 21(3), 1552-1560.
- Demiröz, R., Göngür, M., Duru, H. T., 2010. Asansör sistemlerinde dişlisiz tahrik uygulamaları. Asansör Sempozyumu, 90-95.
- Duan, Y., 2010. Method for design and optimization of surface mount permanent magnet machines and induction machines. Ph.D, Dept. Electrical and Comp. Eng., Georgia Ins. of Technology.
- Grunditz, E. A., Lundmark, S. T., Nodelöf, A., 2018. Three Traction Motors with Different Magnet Materials - Influence on Cost, Losses, Vehicle Performance, Energy Use and Environmental Impact. Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies.
- He, C., Wu, T., 2019. Analysis and Design of Surface Permanent Magnet Synchronous Motor and Generator. CES Transactions on Electrical Machines and Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 94-100.
- Hu, X., Guo, H., Qian, H., Ding, X., Yang, Y., 2017. Development of a high-power-density motor for formula SAE electric race car. 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 6618-6622.
- Hwang, J. C., Liu, C. S., Chen, P. C., 2012. Design of permanent-magnet synchronous gear motor with high efficiency for elevators. IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies. 205-210.
- Jo, I-H., Lee, H-W., Jeong, G., Ji, W-Y., Park, C-B., 2019. A Study on the Reduction of Cogging Torque for the Skew of a Magnetic Geared Synchronous Motor. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 55, No. 2.
- Kim, D. Y., Park, M. R., Sim, J. H. and Hong, J. P., "Advanced Method of Selecting Number of Poles and Slots for Low-Frequency Vibration Reduction of Traction Motor for Elevator", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 22, No. 4, pp. 1554-1562, August 2017.
- Knebl, L., Ondrusek, C., Kurfürst, J., 2018. Ferrite Assisted Synchronous Reluctance Motor Design, Manufacturing and Material Influence on Motor Characteristics. 18th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME).
- Krasnov, I. Y., Langraf, S. V., Odnokopylov, I. G., Krokhta, Y. V., Natalinova, N. M., Galtseva, O. V., Rogachev, A. A., 2017. Sensorless determination of initial position of the rotor of permanent-magnet synchronous motor of the gearless elevator hoist. International Siberian Conference on Control and Communications.
- Ocak, C., Dalcalı, A., Çelik, E., Uygun, D., 2017. FEA-Based Design Improvement of Small Scale BLDCMs Considering Magnet Thickness and Pole Embrace. Int'l Journal of Computing, Communications & Instrumentation Engg. 4(2), 31-35.
- Öztürk, N., Dalcalı, A., Çelik, E., Sakar, S., 2017. Cogging torque reduction by optimal design of PM synchronous generator for wind turbines. International Journal of Hydrogen Energy, 42, 17593-17600.
- Saygın, A., Ocak, C., Dalcalı, A., Çelik, E., 2015. Optimum rotor design of small pm bldc motor based on high efficiency criteria. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 10(19), 9127-9132.
- Sim, J-H., Ahn, D-G., Kim, D-K., Son, D-K., Kim, S., Hong, J-P., Lee, T. H., 2018. Multiphysics Design of Triple 3-Phase PMSM for Ultra-High Speed Elevator Applications. XIII International Conference on Electrical Machines. 284-290

- Torrent, M., Perat, J. I., Jimenez, J. A., 2018. Permanent Magnet Synchronous Motor with Different Rotor Structures for Traction Motor in High Speed Trains. *Energies*, Vol. 11, No. 6.
- Upadhyay, K.G., 2008. Design of electrical machines. New age international limited publishers.
- Wang, J. H., Tan, F. W., Jin, R. L., 2005. Research on low-speed gearless permanent magnet synchronous motor for elevator drive. Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems.
- Yetiş, H., Boztepelı, H., Yaşa, Y., Meşe, E., 2013. Comparative design of direct drive PM synchronous motors in gearless elevator systems. 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems.
- Zarko, D., Stipetic, S., Martinovic, M., Kovacic, M., Jercic, T., Hanic, Z., 2018. Reduction of Computational Efforts in Finite Element-Based Permanent Magnet Traction Motor Optimization. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 65, No. 2, pp. 1799-1807.
- Zhao, W., Shen, H., Chai, W., Wang, X., Kwon, B., 2018. Optimal Design and Experimental Test of a SPM Motor with Cost-Effective Magnet Utilization to Suppress Torque Pulsations. *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 54, No. 11.



YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE DOĞRULUK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bekir AKSOY*

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Görüntü İşleme, Yüz Tanıma, LDA Algoritması, PCA ve SVD Algoritması, LBP Algoritması.</i>	Yüz tanıma sistemlerinin güvenlik açısından önemi son yıllarda oldukça artmıştır. Çalışmada, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesindeki gönüllü öğrenci ve öğretim üyelerinden oluşan 41 kişiye ait ön, yan, üst ve alt yüz görüntüleri alınarak LDA, LBP ve PCA ile SVD yüz tanıma algoritmaları uygulanarak her birine ait model elde edilmiştir. Elde edilen modeller test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılarak, RMSE ve MAPE performans ölçüt kriterlerine göre değerlendirilerek ön ve yan yüz tanıma sisteminde PCA ve SVD algoritması, üst ve alt yüz tanıma sisteminde ise LBP Algoritmasının en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

EVALUATION OF ACCURACY PERFORMANCE IN FACE RECOGNITION SYSTEMS

Keywords	Abstract
<i>Image Processing, Face Recognition, LDA Algorithm, PCA and SVD Algorithm, LBP Algorithm.</i>	The importance of face recognition systems has increased in recent years. In this study, front, side, upper and lower facial images of 41 people consisting of volunteer students and faculty members from Isparta University of Applied Sciences were taken and LDA, LBP-PCA and SVD facial recognition algorithms were applied and their model was obtained. The obtained models were classified on the test face images and evaluated according to the RMSE and MAPE performance criteria. In the front face and side face recognition system, PCA and SVD algorithm, in the upper and lower face recognition system LBP algorithm were found to give the best results.

Alıntı / Cite

Aksoy, B., (2019). Yüz Tanıma Sistemlerinde Doğruluk Performanslarının Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 835-842.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Aksoy, 0000 0001 8052 9411

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.05.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Yüz tanıma, önemli biyometri tekniklerden birisidir. Görüntü işleme, bilgisayarlı görü, güvenlik gibi farklı bilim dalları kapsamaktadır (Becerra vd., 2019). Bu alanlardan güvenlik son yıllarda uluslararası bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunu çözebilmek için farklı veri işleme teknikleri kullanılmaktadır. Biyometri kullanılan tekniklerinin içerisinde oldukça sık kullanılmaktadır. Biyometri, kişinin fizyolojik özellikleri (parmak izi, yüz tanıma vb) veya davranışları (imza, yürüyüş vb.) olarak tanımlanmaktadır (Hamdan ve Liu, 2018; Zhi ve Liu, 2019). Yaygın biyometri teknikleri parmak izi tanıma (Goljan vd., 2016), avuç izi tanıma (You vd., 2002), iris tanıma (Micheva vd., 2005), DNA (Gonzalez vd., 2009),

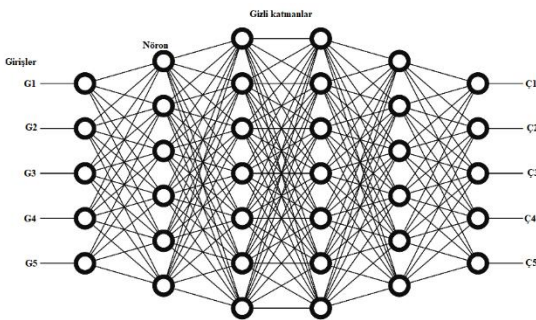
Yüz tanıma (Smith vd., 2015) vb. gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Yüz tanıma, yüz görüntülerinin birbirine benzerliğinden dolayı sınıflandırma işlemlerinin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir (Aburomman vd., 2019). Bu nedenle yüz tanıma sınıflandırmasında poz, renk, ışık gibi etmenler doğru bir sonuç elde edebilmek için oldukça önemli etmenlerdir. Bu etmenlerden renk ile, farklı renk uzaylarında RGB(Red Green Blue), HSV, YUV, YCbCr, XYZ, YIQ, L*a*b*, U*V*W*, L*u*v*, I1I2I3 ve HSI veya tek renk kullanarak yüz tanıma performansı ölçülerek değerlendirilmektedir (Shih ve Liu, 2005). Farklı renk uzayında YUV içerisinde yer alan YV, YIQ içerisinde yer

* İlgili yazar / Corresponding author: bekiraksoy@isparta.edu.tr , +90-246-211-1460

alan YI'nın daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Lu vd., 2018; Shih ve Liu, 2005) Farklı poz açılarında alınan görüntülerde yüz tanıma işleminin gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Yüz tanıma sistemindeki veri setinden, yüksek kaliteli yüz dokusuna ait eğitim verileri analiz edilerek poz normalizasyon işlemi performans iyileştirmesi gerçekleştirilmektedir (Ding ve Tao, 2017). Yüz tanıma sistemlerinde aydınlatmanın düşük olması, parlaklığın yüksek olması ve resmin çekildiği arka plan rengi gibi ışığa etki eden etmenler sınıflandırma doğruluğuna etki etmektedir (Yang vd., 2019). Bu sorunlardan, düşük aydınlatma koşulları için OTSU segmentasyon algoritması kullanılarak performans artışı gerçekleştirilmiştir (Yang vd., 2019).

Yüz tanıma sistemlerinin sınıflandırılmasında sistemden alınan verileri analiz etmede genellikle derin öğrenme modelleri kullanılmaktadır. Derin öğrenme, yüksek ile düşük seviye hiyerarşinin özelliklerinin bileşimiyle oluşan öğrenme metodudur (Bengio,2019). Bu metotla yüksek seviyedeki hiyerarşik yapıda sınıflandırma, kümeleme gibi işlemler kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Bu üstünlüklerinden dolayı derin öğrenme tıp (Tiwari vd, 2018; Litjens vd., 2017; Gibson vd., 2018; Lundervold ve Lundervold, 2018), tarım (Zhang vd., 2019; Singh vd., 2018; Barbedo, 2018), hava araçları (Guo vd., 2018; Liu vd., 2018), şehir planlaması (Madu vd., 2017) vb. gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi derin öğrenme çoklu sinir ağı katmanları ve bu katmanların en küçük birimi olan nöronlardan oluşur. Nöronlara gelen girdiler belli ağırlık değerleri ile çarpılıp isteğe bağlı belirlenmiş bir bias değeri ile toplanmaktadır. Diğer katmanlar içinde hesaplamalar gerçekleştirilerek son nöron katmanından sonuç değerleri alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar kıyaslanarak hata değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan hata değeri kısmi türev alınıp tüm nöron katmanlarına geri yayılarak ağırlık değerleri güncellenmektedir. İstenilen hata değeri bulununcaya kadar veya belirtilen döngü sayısı kadar işlemler devam ettirilerek matematiksel bir model elde edilmektedir.



Şekil 1. Derin öğrenme yapısı

(<https://medium.freecodecamp.org/want-to-know-how-deep-learning-works-heres-a-quick-guide-for-everyone-1aedca88076> Accessed April 24, 2019).

Son yıllarda derin öğrenme, görüntü işleme ve yüz

tanıma sistemlerinde kullanılarak önemli ölçüde başarılar elde edilmiştir (Schmidhuber, 2015; Litjens vd., 2017; Szegedy vd., 2017; Greenspan vd., 2016; Mairal vd., 2014). Yüz tanıma sistemlerinde, konvolsiyonel sinir ağı (Convolutional Neural Network CNN), çekışmeli üretici ağlar (Generative Adversarial Networks GANs) gibi derin öğrenme teknikleri veya temel bileşen analizi (Principal Component Analysis/PCA), doğrusal diskriminant analizi (Linear Discriminant Analysis /LDA, Yerel ikili örüntü (LBP Local Binary Pattern) ve tekil değer ayrışımı (SVD singular value decomposition) gibi algoritmalar kullanılmaktadır (Parkhi vd., 2015; Shi vd., 2014; Zhang vd., 2010; Hu, 2017). Yüz tanıma sistemlerinde bu algoritmalar içerisinde performans olarak GANs algoritması ile gerçek dünya şartlarında 90% oranında doğruluk elde edilmiştir (Banerjee ve Das, 2018).

Çalışmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesindeki gönüllü öğrenci ve öğretim üyelerinden oluşan 41 kişiye ait farklı ön, yan, üst ve alt yüz görüntüleri alınarak LDA, LBP ve PCA ile SVD algoritmaları uygulanarak üç farklı yüz tanıma modeli oluşturulmuştur. Elde edilen modeller ön, yan, üst ve alt test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılıp, RMSE ve MAPE performans ölçüt kriterlerine göre değerlendirilerek ön ve yan yüz tanıma sisteminde PCA ve SVD algoritması, üst ve alt yüz tanıma sisteminde ise LBP algoritmasının en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

2 Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi gönüllü öğrenci ve öğretim üyelerinden oluşan 41 kişiye ait farklı pozlarda yüz görüntüleri alınarak etiketlenmiştir. Etiketlenen veriler üzerinde yüz tanıma sistemleri için kullanılan LDA, LBP ve PCA ile SVD algoritmalarının performansları değerlendirilecektir.

2.1.1. PCA Algoritması

PCA algoritması yüz tanıma sistemlerinde sınıflandırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Oh vd., 2013). PCA algoritması, M adet I_1, I_2, \dots, I_M şeklindeki yüz görüntüsünü $N \times N$ boyutunda vektöre dönüştürerek, denklem 1 ile görüntülerin piksellerini toplanarak ortalama değerlerden yeni bir vektör (Ψ) oluşturmaktadır (Borade vd., 2016).

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i \quad (1)$$

Denklem 2' de, denklem 1'de hesaplanan vektör, tüm görüntülerden tek tek çıkartılarak yeni bir vektöre kaydedilip, denklem 1'de hesaplanan vektör ile yeni vektörün transpozunu çarpılıp toplanarak, kovaryans

matris (C) elde edilmektedir (Aburomman ve Reaz, 2016).

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (I_i - \Psi) (I_i - \Psi)^T \quad (2)$$

Denklem 3'de Eigen vektörleri (V) ve karşılıklı Eigen değerleri (λ) hesaplanmaktadır (Kamencay vd., 2016).

$$CV = \lambda V \quad (3)$$

Denklem 2 ve denklem 3'de Eigen vektör ve değerler büyükten küçüğe doğru sırayla kaydedilerek eğitim ve test görüntülerine benzeyen görüntüler tespit edilmektedir (Kamencay vd., 2016).

2.1.2. LDA Algoritması

LDA algoritması PCA algoritmasına ek olarak verilen sınıf içi dağılım matrisi ve sınıf dağılım matrisi arasında bir sınıflandırma oluşturmaktadır (Zhao vd., 1998). Denklem 4 ve denklem 5'de sınıf içi dağılım matrisi ve sınıf dağılım matrisi verilmiştir (Zainuddin ve Laswi, 2017).

$$S_W = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{N_i} N_i (x_i^j - \Psi_j) (x_i^j - \Psi_j)^T \quad (4)$$

$$S_b = \sum_{i=1}^n N_i (\psi_i - \psi) (\psi_i - \psi)^T \quad (5)$$

Denklem 4 ve denklem 5 verilen n , sınıf sayısını, N_i i sınıfındaki eğitim veri sayısı, Ψ i örneğine göre vektör toplamlarının ortalaması, ψ i örneklerinin ortalamasını ve x_i^j ise PCA'nın i vektörü ve j sınıfıdır (Zainuddin ve Laswi, 2017). Denklem 6'da S_b değeri en aza ve S_W değeri maksimuma getirilip Fisher diskriminant temel matrisinden (Z) Eigen vektörleri çıkartılarak hesaplanmaktadır (Jain vd., 2018).

$$Z = S_W^{-1} S_c \quad (6)$$

En son aşamada ise Öklid mesafesi hesaplanarak eğitim ve test görüntülerine benzeyen sınıflar tespit edilmektedir (Jain vd., 2018).

2.1.4. LBP Algoritması

LBP, uzamsal olarak geliştirilen bir metot vasıtasıyla yüz tanıma alanında bulunan bir pozisyona yerleşerek farklı birçok yüz analiz yöntemi geliştirmek için kullanılmaktadır (Yang ve Chen, 2013). Denklem 7'da LBP algoritmasında M eleman sayısına göre minimum simetri seviyesi (L_{sym}) değeri hesaplanmaktadır (Lahdenoja vd., 2005).

$$L_{sym} = \min \left[\sum_{i=1}^M B(i), \sum_{i=1}^M \overline{B(i)} \right] \quad (7)$$

Denklem 7'da $B(i)$ LBP'nin ve komplementinin her bir ikili elemanını ifade etmektedir (Lahdenoja vd., 2005).

2.1.5. SVD Algoritması

SVD, sıklıkla matris işlemleriyle birlikte genellikle farklı algoritma ve metotlarla (PCA, LDA gibi) birleştirilerek yüz tanıma için kullanılan bir algoritmadır (Fronckova vd., 2018). SVD, LDA veya PCA gibi algoritmalarından elde edilen gerçek veya karmaşık bir yapıya sahip olan vektör matrisleri için kullanılmaktadır. Denklem 8'de SVD algoritmasının değer ayrışım matrisi (M) değeri hesaplanmaktadır (Vinay vd., 2016).

$$M = U \Sigma V^* \quad (8)$$

Denklem 8'de U birimsel matrisi, V^* ise, eğer vektör matrisi (V) gerçek değerlerden oluşuyorsa matrisin transpozisini, karmaşık değerlerden oluşuyor ise eşlenik tranpozisi alınarak hesaplanmaktadır (Vinay vd., 2016).

2.1.6. Yüz tanıma Algoritmalarının Performans Değerlendirilmesi

Yüz tanıma sistemlerinde kullanılan LDA, PCA algoritmaları ve CNN modellerinden elde edilen sonuçların performans değerlendirmeleri için RMSE (Root Mean Square Deviation) ve MAPE (Mean Absolute Percentage Error) kullanılmıştır. Denklem 9'de sonuçların performans değerini belirlemede kullanılacak olan RMSE yönteminin denklemi verilmiştir (Chai ve Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (9)$$

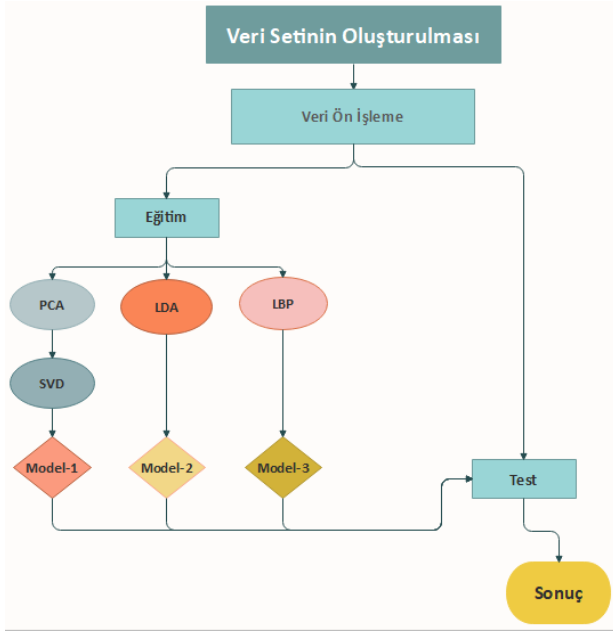
Denklem 9'da, n deneysel veri sayısını, e_1 ise i örneğinin hata değerini temsil etmektedir (Chai ve Draxler, 2014). Çalışmada kullanılan diğer performans değerlendirme yöntemi olan MAPE denklem 10'da verilmiştir (Kim ve Kim 2016).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (10)$$

Denklem 10'da n deneysel veri sayısını, A_t gerçek değeri ve F_t 'de deneysel değeri temsil etmektedir (Kim ve Kim 2016).

2.2. Yöntem

Çalışmada, numpy, opencv, pillow, os gibi temel Python kütüphaneleri ile PCA, LDA, SVD ve LBP algoritmaları uygulanarak en uygun yüz tanıma modeli için Şekil 2'deki gibi bir iş akış diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 2. İş akış diyagramı

Şekil 2’de verilen iş akış diyagramında ilk olarak 41 kişiden toplanan beş farklı yüz pozisyonu için 814 adet görüntü alınarak veri seti oluşturulmuştur. Bunun akabinde veri ön işleme aşamasına geçilmiştir. Veri ön işlemede, ilk olarak elde edilen resimlerin boyutları çok büyük olduğundan oluşturulacak modelde görüntü analizleri hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için Python programlama dilindeki pillow ve os kütüphaneleri kullanılarak hazırlanacak bir program ile görüntülerin boyutları küçültülecektir. Veri ön işleminin ikinci aşamasında ise küçültülen görüntüler üzerinde haar cascade yöntemi kullanılarak görüntülerin yüz görüntüsü olup olmadığı tespit edilmeye çalışılıp yüz görüntüsü olmayan görüntüler veri setinden çıkarılacaktır. Üçüncü aşamada ise hazırlanan veri setindeki görüntülerin %75’i eğitim, %25 ise test görüntüsü olarak ayrılacaktır. Eğitim veri seti üzerinde üç farklı yöntem için Python programlama dilinde hazırlanacak programlar ile üç farklı model elde edilmeye çalışılacaktır. İlk yöntemde numpy kütüphanesi kullanılarak PCA ve SVD algoritmaları birlikte kullanılarak ilk model elde edilecektir. İkinci ve üçüncü yöntemde ise opencv kütüphanesi kullanılarak LDA ve LBP algoritmalarının modelleri elde edilecektir. Elde edilen modeller test verileri üzerinde test edilerek en uygun sonuçlar RMSE ve MAPE ile değerlendirilerek en uygun sonuç veren model belirlenecektir.

3. Araştırma Bulguları

Çalışmada, 41 kişiden alınan 2594x1944 piksel boyutunda 814 adet yüz görüntüsünün büyüklüğü 11.4 GB ve ortalama bir resmin büyüklüğü ise yaklaşık olarak 14.34 MB olarak tespit edilmiştir. Bu büyüklükteki yüz görüntüleri üzerinde analiz yapmanın zorluğundan dolayı görüntü boyutlarını

küçültmek için hazırlanmış program ile her bir yüz görüntüsü 500x375 piksel boyutuna düşürülerek yüz görüntü dosyasının boyutu 549 KB düşürülerek yüz tanıma analizlerinde zaman açısından kazanç sağlanmıştır. Veri ön işleme ikinci aşamasında haar cascade sınıflandırıcısı kullanılarak, boyutu düşürülen yüz görüntülerin içerisinde yüz görüntüsü olmayan görüntüler veri setinden çıkarılarak yüz tanıma sisteminde oluşturulacak model için hatalı veri gelme durumu önlenmiştir.

Görüntülerin %75 eğitim ve %25 test görüntüsü olarak ayrılmıştır. İlk olarak 41 farklı sınıf için ön, yan, üst ve alt eğitim yüz görüntülerinden PCA ve SVD algoritmaları kullanılarak bir model elde edilmiştir. Elde edilen model test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılarak ön yüz görüntülerinde MAPE’ye göre doğruluk oranı %97.53 RMSE’ye göre hata değeri 0.156 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %84,4 olarak bulunmuştur. Yan yüz görüntülerinde MAPE’ye göre %5,4 RMSE’nin hata değeri ise 0.9745 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre RMSE’nin doğruluk oranı %2.5 olarak bulunmuştur. Üst ve alt görüntülerde ise MAPE’ye göre doğruluk oranı %20.95, RMSE’nin hata değeri 0.883 olarak tespit edilmiştir. RMSE’nin doğruluk oranı göre %11.7 olarak bulunmuştur. Tablo 1’de ilk beş sınıf örnek olarak verilmiştir.

Tablo 1. PCA ve SVD algoritmaları ile yüz tanıma sistemi sınıflandırma örneği

Sınıf_ID	Görüntü Tespiti		
	Ön	Yan	Üst ve Alt
1	Doğru	Yok	Doğru
2	Doğru	Yok	Yanlış
3	Doğru	Doğru	Yanlış
4	Doğru	Yok	Doğru
5	Doğru	Yok	Yok

PCA ve SVD algoritmalarıyla elde edilen modelde, yüz tanıma sisteminin ön yüz görüntülerindeki tespit doğruluk oranı yüksek iken yan, üst ve alt yüz görüntülerinde ise düşük olduğu tespit edilmiştir.

İkinci model olarak aynı veri seti üzerinde LDA algoritması uygulanarak bir model oluşturulmuştur. Elde edilen model test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılarak ön yüz görüntülerinde MAPE’ye göre doğruluk oranı %70.73 RMSE’ye göre hata değeri 0.541 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %45.9 olarak bulunmuştur. Yan yüz görüntülerinde MAPE’ye göre doğruluk oranı %0 RMSE’ye göre hata değeri 0 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %0 olarak bulunmuştur. Üst ve alt görüntülerde ise MAPE’ye göre doğruluk oranı %26.83 RMSE’ye göre hata değeri 0.855 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %14.5 olarak

bulunmuştur. Tablo 2’de ilk beş sınıf örnek olarak verilmiştir.

Tablo 2. LDA algoritması ile yüz tanıma sistemi sınıflandırma örneği

Sınıf_ID	Görüntü Tespiti		
	Ön	Yan	Üst ve Alt
1	Doğru	Yok	Yanlış
2	Doğru	Yok	Yanlış
3	Doğru	Yok	Doğru
4	Doğru	Yok	Yanlış
5	Doğru	Yok	Yok

LDA algoritmasıyla elde edilen modelde, yüz tanıma sisteminin ön yüz görüntülerindeki tespit doğruluk oranı yüksek iken yan, üst ve alt yüz görüntülerinde ise başarısız olduğu görülmüştür.

Çalışmada son model olarak aynı veri seti üzerinde LBP algoritması uygulanarak bir model oluşturulmuştur. Elde edilen model test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılarak ön yüz görüntülerinde MAPE’ye göre doğruluk oranı %80.5 RMSE’ye göre hata değeri 0.442 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %55.8 olarak bulunmuştur. Yan yüz görüntülerinde MAPE’ye göre doğruluk oranı %0 RMSE’ye göre hata değeri 0 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %0 olarak bulunmuştur. Üst ve alt görüntülerde ise MAPE’ye göre doğruluk oranı %39.02 RMSE’ye göre hata değeri 0.781 olarak tespit edilmiştir. Bulunan hata değerine göre, RMSE’nin göre doğruluk oranını %21.9 olarak bulunmuştur. Tablo 3’de ilk beş sınıf örnek olarak verilmiştir.

Tablo 3. LBP algoritması ile yüz tanıma sistemi sınıflandırma örneği

Sınıf_ID	Görüntü Tespiti		
	Ön	Yan	Üst ve Alt
1	Doğru	Yok	Yanlış
2	Doğru	Yok	Yanlış
3	Doğru	Doğru	Yanlış
4	Doğru	Yok	Yanlış
5	Doğru	Yok	Yok

LBP algoritmasıyla elde edilen modelde, yüz tanıma sisteminin ön yüz görüntülerindeki tespit doğruluk oranı yüksek iken yan, üst ve alt yüz görüntülerinde ise başarısız olduğu görülmüştür.

Tablo 4’de oluşturulan üç modelin yüz tanıma performans değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Yüz tanıma algoritmalarının performans değerlendirme sonuçları

Performans Değerlendirme Ölçütü	Yüz Tanıma Algoritmaları	Görüntü Tespit Yönü		
		Ön	Yan	Alt ve Üst
R^2	PCA ve SVD	0.156	0.975	0.883
	LDA	0.541	0	0.855
	LBP	0.442	0	0.781
MAPE(%)	PCA ve SVD	97.531	5.4	20.95
	LDA	70.73	0	26.83
	LBP	80.50	0	39.02

Tablo 4’de görüldüğü gibi yüz tanıma sistemlerinde ön yüz görüntülerinde RMSE’ye göre PCA ve SVD algoritması, MAPE’ye göre ise PCA ve SVD algoritması, yan yüz görüntülerinde RMSE’ye göre PCA ve SVD algoritması, MAPE’ye göre ise PCA ve SVD algoritması ve alt ve üst yüz görüntülerinde RMSE’ye göre LBP algoritması, MAPE’ye göre ise LBP algoritmasının başarılı olduğu görülmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Günümüzde teknolojideki gelişmesi ile birlikte güvenlik sistemlerinin önemi de artmıştır. Güvenlik sistemleri içerisinde parmak izi, yüz tanıma gibi sistemler büyük önem taşımaktadır. Çalışmada 41 farklı kişiye ait yüz, ön, yan, alt ve üst yüz görüntüleri alınarak, yüz görüntülerin boyutları yüz tanıma analizlerinin hızını arttırmak için küçültülmüştür. Küçültme işleminden sonra yüz görüntüleri haar cascade sınıflandırıcısı kullanılarak yüz görüntüsü olup olmadığı tespit edilerek, yüz olmayan görüntüler veri setinden çıkarılmıştır. Görüntüler %75 eğitim ve %25 test verisi olmak üzere ayrılarak LDA, LBP, PCA ile SVD algoritmaları uygulanarak yüz tanıma modeller RMSE ve MAPE performans değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilip sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Ön yüz görüntülerinde hem RMSE hem de MAPE performans değerlendirme ölçütüne göre PCA ve SVD algoritmasının en doğru sonucu verdiği tespit edilmiştir.
- Yan yüz görüntülerinde hem RMSE hem de MAPE performans değerlendirme ölçütüne göre PCA ve SVD algoritmasının en doğru sonucu verdiği tespit edilmiştir.
- Üst ve alt yüz görüntülerinde hem RMSE hem de MAPE performans değerlendirme ölçütüne göre LBP algoritmasının en doğru sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Yapılacak farklı çalışmalarda, yüz tanıma sistemlerindeki doğruluk oranı CNN, GANs gibi derin öğrenme modelleri kullanılarak arttırılabileceği düşünülmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar

- Abudarham, N., Shkiller, L., & Yovel, G., 2019. Critical features for face recognition. *Cognition*, 182, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.09.002>.
- Aburomman, A. A., & Reaz, M. B. I., 2016. Ensemble of binary SVM classifiers based on PCA and LDA feature extraction for intrusion detection. In 2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), 636-640, IEEE. DOI: 10.1109/IMCEC.2016.7867287
- Banerjee, S., & Das, S., 2018. LR-GAN for degraded Face Recognition. *Pattern Recognition Letters*, 116, 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.10.034>
- Barbedo, J. G. A., 2018. Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.013>
- Becerra-Riera, F., Morales-González, A., & Méndez-Vázquez, H., 2018. Facial marks for improving face recognition. *Pattern Recognition Letters*, 113, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2017.05.005>.
- Bengio, Y., 2009. Learning deep architectures for AI. *Foundations and trends in Machine Learning*, 2(1), 1-127.
- Borade, S. N., Deshmukh, R. R., & Ramu, S., 2016. Face recognition using fusion of PCA and LDA: Borda count approach. In 2016 24th Mediterranean conference on control and automation (MED) 1164-1167, IEEE.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?-Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
- Ding, C., & Tao, D., 2017. Pose-invariant face recognition with homography-based normalization. *Pattern Recognition*, 66, 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.11.024>
- Fronckova, K., Prazak, P., & Slaby, A., 2018. Singular Value Decomposition and Principal Component Analysis in Face Images Recognition and FSVDR of Faces. In *International Conference on Information Systems Architecture and Technology*, 105-114. Springer, Cham.
- Gibson, E., Li, W., Sudre, C., Fidon, L., Shkir, D. I., Wang, G., ... & Whyntie, T., 2018. NiftyNet: a deep-learning platform for medical imaging. *Computer methods and programs in biomedicine*, 158, 113-122.
- Greenspan, H., Van Ginneken, B., & Summers, R. M., 2016. Guest editorial deep learning in medical imaging: Overview and future promise of an exciting new technique. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(5), 1153-1159. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2553401>.
- Goljan, M., Chen, M., Comesaña, P., & Fridrich, J., 2016. Effect of compression on sensor-fingerprint based camera identification. *Electronic Imaging*, 2016(8), 1-10. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2016.8.MWSF-086>.
- Gonzalez, M. A., Baraloto, C., Engel, J., Mori, S. A., Pétronelli, P., Riéra, B., ... & Chave, J., 2009. Identification of Amazonian trees with DNA barcodes. *PLoS one*, 4(10), e7483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007483>
- Guo, D., Zhong, M., Ji, H., Liu, Y., & Yang, R., 2018. A hybrid feature model and deep learning based fault diagnosis for unmanned aerial vehicle sensors. *Neurocomputing*, 319, 155-163.
- Hamdan, B., & Mokhtar, K., 2018. Face recognition using angular radial transform. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(2), 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.006>.
- <https://medium.freecodecamp.org/want-to-know-how-deep-learning-works-heres-a-quick-guide-for-everyone-1aedeca88076> Accessed April 24, 2019.
- Hu, J., 2017. Discriminative transfer learning with sparsity regularization for single-sample face recognition. *Image and vision computing*, 60, 48-57.
- Jain, U., Choudhary, K., Gupta, S., & Privadarsini, M. J. P., 2018. Analysis of Face Detection and Recognition Algorithms Using Viola Jones Algorithm with PCA and LDA. In 2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 945-950. IEEE. doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553811
- Kamencay, P., Trnovszky, T., Benco, M., Hudec, R., Sykora, P., & Satnik, A., 2016. Accurate wild animal recognition using PCA, LDA and LBPH, 62-67, IEEE. DOI: 10.1109/ELEKTRO.2016.7512036

- Kim, S., & Kim, H., 2016. A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 669-679. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>.
- Lahdenoja, O., Laiho, M., & Paasio, A., 2005. Reducing the feature vector length in local binary pattern based face recognition. In *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, 2, II-914. IEEE.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. 2017. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*, 42, 60-88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>.
- Liu, Y., Wang, H., Su, Z., & Fan, J., 2018. Deep learning based trajectory optimization for UAV aerial refueling docking under bow wave. *Aerospace Science and Technology*, 80, 392-402.
- Lu, Z., Jiang, X., & Kot, A., 2018. Color Space Construction by Optimizing Luminance and Chrominance Components for Face Recognition. *Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2018.06.015>
- Lundervold, A. S., & Lundervold, A., 2018. An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 29,102-127. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2018.11.002>.
- Madu, C. N., Kuei, C. H., & Lee, P., 2017. Urban sustainability management: A deep learning perspective. *Sustainable cities and society*, 30, 1-17.
- Mairal, J., Bach, F., & Ponce, J., 2014. Sparse modeling for image and vision processing. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 8(2-3), 85-283. <http://dx.doi.org/10.1561/06000000058>.
- Micheva, I., Ziros, P., Pherson, L., Giannakoulas, N., Symeonidis, A., & Zoumbos, N., 2005. Involvement of ERK, p38 and NFκB Signalling in the Maturation Defects of Monocyte Derived Dendritic Cells in Patients with Myelodysplastic Syndrome. <https://doi.org/10.5272/jimab.2014206.542>
- Oh, S. K., Yoo, S. H., & Pedrycz, W., 2013. Design of face recognition algorithm using PCA-LDA combined for hybrid data pre-processing and polynomial-based RBF neural networks: Design and its application. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1451-1466. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.046>.
- Parkhi, O. M., Vedaldi, A., & Zisserman, A., 2015. Deep face recognition. In *BMVC* 1(3),6.
- Schmidhuber, J., 2015. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
- Shi, X., Yang, Y., Guo, Z., & Lai, Z., 2014. Face recognition by sparse discriminant analysis via joint L2, 1-norm minimization. *Pattern Recognition*, 47(7), 2447-2453. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2014.01.007>
- Shih, P., & Liu, C., 2005. Comparative assessment of content-based face image retrieval in different color spaces. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 19(07), 873-893. <https://doi.org/10.1142/S0218001405004381>
- Singh, A. K., Ganapathysubramanian, B., Sarkar, S., & Singh, A., 2018. Deep learning for plant stress phenotyping: trends and future perspectives. *Trends in plant science*, 23, 883-898. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.07.004>.
- Smith, D. F., Wiliem, A., & Lovell, B. C., 2015. Face recognition on consumer devices: Reflections on replay attacks. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4), 736-745.
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. A., 2017. Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. In *AAAI* 4, 4278-4284.
- Tiwari, P., Qian, J., Li, Q., Wang, B., Gupta, D., Khanna, A., ... & de Albuquerque, V. H. C., 2018. Detection of subtype blood cells using deep learning. *Cognitive Systems Research*, 52, 1036-1044.
- Vinay, A., Vasuki, V., Bhat, S., Jayanth, K. S., Murthy, K. B., & Natarajan, S., 2016. Two dimensionality reduction techniques for surf based face recognition. *Procedia Computer Science*, 85, 241-248.
- Yang, A., Wang, Q., & Cao, J., 2019. Research on Adaptive Face Recognition Algorithm Under Low Illumination Condition. In *Advances in Graphic Communication, Printing and Packaging*(pp. 266-272). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3663-8_37
- Yang, B., & Chen, S., 2013. A comparative study on local binary pattern (LBP) based face recognition: LBP histogram versus LBP image. *Neurocomputing*, 120, 365-379.

- You, J., Li, W., & Zhang, D., 2002. Hierarchical palmprint identification via multiple feature extraction. *Pattern recognition*, 35(4), 847-859. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(01\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(01)00100-5)
- Zainuddin, Z., & Laswi, A. S., 2017. Implementation of the LDA algorithm for online validation Based on face recognition. In *Journal of Physics: Conference Series*, 801 (1), 12-47). IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/801/1/012047.
- Zhang, B., Gao, Y., Zhao, S., & Liu, J., 2019. Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor. *IEEE transactions on image processing*, 19(2), 533-544.
- Zhang, B., Gao, Y., Zhao, S., & Liu, J., 2010. Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor. *IEEE transactions on image processing*, 19(2), 533-544.
- Zhao, W., Krishnaswamy, A., Chellappa, R., Swets, D. L., & Weng, J., 1998. Discriminant analysis of principal components for face recognition. In *Face Recognition*, 73-85, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zhi, H., & Liu, S., 2019. Face recognition based on genetic algorithm. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 58, 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2018.12.012>.
- Zhong, L., Hu, L., & Zhou, H., 2019. Deep learning based multi-temporal crop classification. *Remote Sensing of Environment*, 221, 430-443.



RENYİ ENTROPI İLE ÜLKELERİN HAVA TRAFİĞİNİN ANALİZİ

İhsan TUĞAL^{1*}, Ali KARCI²

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Havayolu,
Kompleks Ağlar,
Çizgeler,
Renyi Entropi,
Düğüm Merkeziliği.

Öz

Merkezlilik sosyal ağ analizi yapan kişilerin en çok çalıştığı konulardan biridir. Bir ağdaki en etkili ve sisteme etkisi olan varlıkların tespiti merkezlilik ölçüleri ile bulunabilir. Bu çalışmada Renyi entropi ile havayolu trafiği verileri kullanılarak bu alandaki en etkili ülkeler çizge yapısında analiz edildi. Hava trafiğinde en merkezi ülkeler tespit edildi. Ağırlıklı ve yönlü bir ağda Renyi entropi ile merkezlilik ölçümlerinin yapılabileceği gösterildi. Bir ağdaki hayati öneme sahip düğümlerin tespiti için bir yöntem önerildi. Shannon'dan farklı olarak Renyi'de α katsayısı kullanılarak farklı durumlar için sonuç elde edilebileceği görüldü. Sadece kenar ağırlıklarının veya düğüm derecelerinin etkisinin ölçülmesi bazen doğru sonuçlar vermediği için α 'nın bu etkiyi ayarlamak için kullanılması daha doğru sonuçlar almamızı sağladı.

AIR TRAFFIC ANALYSIS OF COUNTRIES WITH RENYI ENTROPY

Keywords

Air Traffic,
Complex Networks,
Graphs,
Renyi Entropy,
Node Centrality.

Abstract

Centrality is one of the most frequently studied subjects of social network analysis. The identification of the most effective entities in a network or system can be found by measures of centrality. In this study, using the data of air traffic with Renyi entropy, the most influential countries in this field were analyzed in the graph structure. The most effective countries in air traffic were identified. It has been shown that centrality measurements can be made with Renyi entropy in a weighted and directional network. A method for the detection of vital nodes in a network was proposed. Difference from Shannon, it was observed that results could be obtained for different situations by using the α coefficient in Renyi. Sometimes measuring only the effect of edge weight or node degree does not yield accurate results. Using α to adjust this effect has enabled us to get more accurate results.

Alıntı / Cite

Tuğal, İ., Karcı, A., (2019). Renyi Entropi ile Ülkelerin Hava Trafiklerinin Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 843-853.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Tuğal, 0000-0003-1898-9438
A. Karcı, 0000-0002-8489-8617

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.12.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Hava taşımacılığının etkin yönetimi, ağdaki havayolu rollerinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Bir ülkenin hava trafiğinin kritik olup olmadığını tespit etmek için önerilmiş evrensel yöntem veya kriterler yoktur. Hub (merkez) dediğimiz köprü görevi gören havaalanları vardır. Ülkeler arasındaki hava bağlantısını oluşturan noktalardır. İki ülke arasındaki uçuş mesafesi uzun olduğunda ve yolcu sayısı az olan

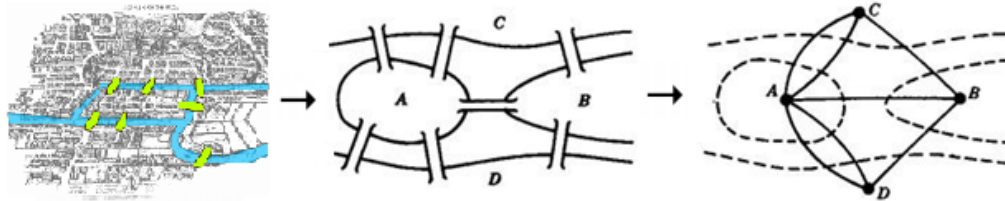
bölgelere ulaşım bu ortak noktalar üzerinden sağlanır. Yolcu yoğunluğuna göre uçuş sayısı ve yeni rotalar oluşur. Ülkelerin ekonomisi ve stratejik konumunu güçlendirmek için havayolu taşımacılığı önemli bir etkidir. Bir ülkenin prestiji açısından havaalanlarında verilecek hizmetin kalitesi ve yolcuların memnuniyeti çok önemlidir. Bu yüzden havayolu ağlarının iyi analiz edilmesi, doğru ve etkin kararların alınmasına yardımcı olur. Yerinde ve zamanında yapılacak yatırımların önünü açar.

* İlgili yazar / Corresponding author: i.tugal@alparslan.edu.tr, +90-436-249-4949

Verilerin geleneksel yöntemlerle analizi dışında, verideki gözle görülemeyen işe yarar bilgilerin elde edilmesi için farklı yaklaşımlarda denenmeli ve kullanılmalıdır. Verinin değerlendirilmesinde, alınan sonuçlarda kullanılan metodoloji de önemli bir etkidir. Bu çalışmada mevcut veri üzerinden yani uçuş noktası bilgileri ve uçuş sayısına göre oluşan ağda bu merkezi noktalar tespit edilmeye çalışıldı. Ağdaki kritik havaalanlarının (ülkelerin) tespiti sadece istatistiki bilgilerle yapıldığında eksik durumların oluşacağı kesindir. İlişkisel yapıdaki kompleks verilerde sosyal ağ analiz yöntemleri kullanılarak analizler yapılabilir. Analizler, dünyadaki hava taşımacılığı ağlarının küçük dünya ağları olduğunu göstermektedir (Cong vd., 2016). Bilindiği üzere bir ağdaki hayati öneme sahip düğümlerin tespiti merkezilik hesaplamaları ile yapılabilir (Du vd., 2014; Everett ve Borgatti, 2005; Freeman, 1978; Wang vd., 2017). Dünyadaki merkezi havaalanlarının tespiti de merkezilik ölçümleri ile elde edilebilir. Bu çalışmada geleneksel merkezilik ölçümleri yerine entropi tabanlı merkezilik kullanılarak analizler yapıldı (Fei ve Deng, 2017; Nie vd., 2016; Tutzauer, 2007). Entropi genelde fizikte kullanılan bir kavramdır. Burada havayolu ve buna benzer sosyal ağlarda analiz için kullanılabilir entropi tabanlı bir yöntem önerildi. Shannon entropiyi içinde barındıran Renyi entropi kullanıldı. Elde edilen sonuçlar farklı bir bakış açısı sağladı. 2. Bölümde sosyal ağlar kısaca açıklandı. 3. Bölümde Entropi kavramından bahsedildi. Çizge entropi, Shannon ve Renyi entropi açıklandı. 4. Bölümde çözüm için bir yöntem önerildi ve bu yöneme göre elde edilen uygulama sonuçları gösterildi. 5. Bölümde ise sonuçlar değerlendirildi.

2. Sosyal Ağlar

Sosyal ağların temeli çizge teorisine dayanmaktadır. 1736 yılında Leonhard Euler, Königsberg'teki 7 köprü problemine çözüm ararken çizge teorisinin temellerini atmıştır. Probleme, "4 kara parçasını birbirine bağlayan 7 köprüden bir kere geçmek şartıyla bütün şehri dolaşabilir miyiz?" sorusuna cevap aranmıştır. Bunun mümkün olmadığını Euler matematiksel yöntemlerle göstermiştir (Alexanderson, 2006).



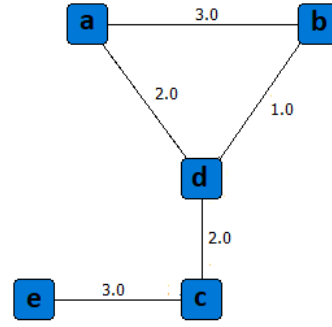
Şekil 1. Königsberg köprüleri

Moreno ve Jennings, bir kız yetiştirme yurdunda kalan kızlardan bazılarının okuldan kaçmasının sebeplerinin kişisel özelliklerden daha çok kızların ilişki ağından kaynaklandığını fark ettiler (Moreno, 1934). Bu çalışmadan bir topluluğu anlamının yolunun resmin tamamına bakmaktan geçtiği anlaşıldı. Bu çalışmalar sosyal ağ analizi dediğimiz yeni bir disiplinin ortaya çıkmasına sebep oldu. İlişkili/bağlantılı yapılar her yeni günde daha da gelişen yeni sosyal ağ analizi yöntemleri ile incelenmekte; psikoloji, fizik, biyoloji, kimya, tıp, ekonomi, işletme, sosyal medya, ulaşım ağları ve daha birçok alanda uygulamaları geliştirilmektedir.

Ağ yapısı $G = (V, E)$ şeklinde tanımlansın. G çizge, V düğümler, E kenarlar olarak ifade edilebilir. Matematiksel olarak bu yapıyı ifade etmek için matrisler kullanılabilir. Şekil 2'de örnek bir çizge yapısı oluşturuldu.

Düğümler kümesi $V = \{a, b, c, d, e\}$ ve kenarlar kümesi $E = \{\{a, b, 3\}, \{a, d, 2\}, \{b, d, 2\}, \{c, d, 2\}, \{c, e, 3\}\}$ olur. Oluşturduğumuz ağda kenarların ağırlığı var. Ağırlıksız ağlarda iki düğüm arasında ilişki varsa kenar 1 değerini alır, yoksa 0 değerini alır. Bu ilişki yönlü de olabilir. Örneğin a düğümü b düğümünü telefon ile aramışsa bir yönlü yapı vardır denilebilir. İlişkinin yönü matriste belirtilebilir. İlişkiye olan düğümler komşu düğümlerdir. Bu ilişkiye farklı anlamlar yüklenebilir. Arkadaşlık, ticari bağlantı, haberleşme, ortak bilgi gibi (Leskovec vd., 2014).

		Düğümler				
		a	b	c	d	e
Düğümler	a	0	3	0	2	0
	b	3	0	0	1	0
	c	0	0	0	2	3
	d	2	1	2	0	0
	e	0	0	3	0	0



Şekil 2. Örnek ağ

3. Entropi

Entropi kavramı ilk defa Alman Fizikçi Rudolf Clausius tarafından kullanıldı. Yunanca kökenli olup "Bir sistemin düzensizlik derecesinin ölçüsü" anlamını ifade eder. Termodinamiğin ikinci yasasında bahsedilen enerjinin korunumu ilkesini açıklamak için kullanıldı (Wikipedia.org, n.d.). Daha sonraları Shannon (Shannon, 1951) iletişimdeki belirsizliği ölçmek için entropiyi önerdi. Shannon'un önerdiği yöntem olasılıksal belirsizliğe dayandığı için birçok farklı alanda da kullanılmaya başlandı. Bilindiği üzere bir sistemde olasılıksal belirsizlik varsa, buradan bilgi elde edilebilir. Olasılığı düşük olaylar daha fazla bilgi barındırır. Belirsizlik ile bilgi arasında ters orantı vardır. Belirsizliği ölçen fonksiyonlara entropi fonksiyonu denir. Rashevsky (Rashevsky, 1955), Trucco (Ernesto, 1956) ve Mowshowitz (Mowshowitz, 1968), çizgelerde Shannon entropisini ilk kullanan kişilerdir (Dehmer ve Mowshowitz, 2011).

Shannon entropiye göre bir olayın olasılık dağılımı (p_1, p_2, \dots, p_n) olursa, olayın entropisi Denklem 1 ile hesaplanır.

$$I(p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

Alfred Renyi, bağımsız olayların katkısını koruyacak, olasılık aksiyomlarıyla uyumlu en genel bilgi hesaplama yönteminin tanımını araştırıyordu (Rényi, 1961). Çözüm geliştirmeye Cauchy'nin işlevsel denklemiyle başladı. Eğer p ve q , I 'den bağımsız ise $I(pq) = I(p) + I(q)$ olur. Normalleştirici bir sabitin dışında bu, Hartley'in bilgi içeriği $I(p) = -\log p$ ile uyumludur (Hartley, 1928). $X = \{x_1, \dots, x_N\}$ olaylarının farklı olasılıklara sahip olduğunu varsayarsak (p_1, \dots, p_N) ve her biri bilgi bitlerini iletirse, küme için toplam bilgi miktarı:

$$I(p) = \sum_{k=1}^N p_k I_k \quad (2)$$

Bu Shannon entropisi olarak kabul edilebilir. Fakat bu denklemde bir örtülü varsayım var. Alternatifsiz olmayan doğrusal ortalama kullanılmış. Genel ortalama teorisinde, ters g^{-1} ile $g(x)$ 'in herhangi bir fonksiyonu için, ortalama, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$g^{-1} \sum_{k=1}^N p_k g(x_k) \quad (3)$$

Bu tanım $I(P)$ 'ye uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$I(P) = g^{-1}(\sum_{k=1}^N p_k g(I_k)) \quad (4)$$

Bağımsız olaylar için bir eklenebilirlik (additivity) varsayımı uygulandığında, sadece iki olası $g(x)$ elde edilir.

$$g(x) = cx \quad (5)$$

$$g(x) = c^{-2(1-\alpha)x} \quad (6)$$

İlki Shannon bilgisini verir. İkincisi de negatif olmayan ve 1'den farklı değeri olan α için aşağıdaki denklemi verir.

$$I_\alpha(P) = \frac{1}{1-\alpha} \log(\sum_{k=1}^N p_k^\alpha) \quad (7)$$

Bu parametrik bir bilgi ölçümü sunar ve Renyi entropisi olarak adlandırılır. α 'nın aldığı değere göre özel durumlar oluşabilir. α değeri 0 olduğunda maksimum, sonsuza gittiğinde minimum entropi değeri oluşur. 1 değerini aldığı anda ise Shannon entropi ile aynı değeri alır. Dikkat edilirse α , 1 değerini aldığı anda $1/0$ gibi bir belirsizlik oluşur. Bu tür durumlara çözüm üreten L'Hospital's Teoremi kullanılarak denklem çözüldüğünde Shannon denkleminin elde edildiği görülür (Bromiley vd., 2004).

$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} \frac{1}{1-\alpha} \log \sum_{k=1}^N p_k^\alpha = -\sum_{k=1}^N p_k \log p_k \quad (8)$$

4. Yöntem ve Uygulamalar

Çizgelerde de entropi hesaplanırken p_i olasılık değeri kullanılır. Bu çalışmada kullanılan veri seti ağırlıklı bir ağ olduğu için, olasılık değerleri Denklem 9'a göre hesaplandı. w_{ij} değeri iki düğüm arasındaki kenar ağırlıklarını ifade eder. Bu değerlere göre ağın toplam entropisi Renyi ve Shannon entropiye göre hesaplandı. Her bir düğümün ağa etkisini ölçmek için ağdaki değişime etkisi dikkate alınabilir. Değişim ölçüsü olan

entropi ile bu yapılabilir. Bu çalışmada entropiyi yani değişim ölçüsünü hesaplamak için sırasıyla düğümlerden biri ağdan çıkarılarak toplam entropi yeniden ölçüldü. Ağdan çıkarıldığında toplam entropi değerini en çok düşüren düğümler ağın kritik öneme sahip düğümleridir. Bu çalışmada Renyi entropi ölçüsü ile en merkezi düğümler bulunmaya çalışıldı.

$$p_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j \in E} w_{ij}} \quad (9)$$

Havayolu ağı analizi için kullandığımız veri seti (<http://www.visualizing.org/datasets/global-flights-network>, n.d.)'den alındı. Bu veri setinde ülkeden ülkeye uçuş sayısını belirten veriler bulunmaktadır. Yönlü çizge yapısındadır. Uçuş sayısı iki ülke arasındaki ilişkinin ağırlığı olarak tanımlandı. Veri seti incelendiğinde gidiş dönüş uçuş sayıları arasında çok fazla fark olmadığı görüldü. O yüzden p_{ij} hesaplanırken sadece gidiş yönüne göre ağırlık hesaplamaları yapıldı. Önerilen yöntemle dönüş uçuş sayıları için de hesaplamalar yapılabilir. Hesaplama maliyetine etkisi nedeniyle bu çalışmada yapılmadı.

Renyi Entropi ve Shannon Entropi ile yapılan hesaplamalarda hava trafiğinde kritik öneme sahip ülkeler Tablo 1'deki gibi çıktı. Renyi ile farklı α değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalarla α değerinin etkisi anlaşılmalı çalışıldı. α değeri küçük seçildiğinde United States (ABD) ilk sırada çıktı. α değeri yükseltildiğinde Tablo 2'deki hesaplamalara uygun olarak bu sıralamanın değiştiği görüldü.

α değeri 0.1 olarak seçildiğinde görülen en merkezi ülkelerin istatistiki bilgileri incelendiğinde uçuş sayısı yani kenar ağırlıkları sayısı en fazla olan ülkenin United States (ABD), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya), Spain (İspanya) olduğu görülmektedir. Uçuş noktası sayısına yani düğüm derecesine bakıldığında ise France (Fransa), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya) en yüksek değerlere sahip ülkelerdir.

Tablo 1. Renyi entropi ile havayolu en merkezi 20 ülke

No	Ülke	Renyi $\alpha=0.1$	Ülke	Renyi $\alpha=0.5$	Ülke	Shannon=Renyi $\alpha=1$	Ülke	Renyi $\alpha=1.5$
1	United States (ABD)	774,97	France (Fransa)	724,28	France (Fransa)	659,79	France (Fransa)	606,80
2	France (Fransa)	776,51	Kenya	726,78	Kenya	660,78	Kenya	606,85
3	United Kingdom (Birleşik Krallık)	778,23	Germany (Almanya)	727,11	Turkey (Türkiye)	661,56	Turkey (Türkiye)	607,79
4	Germany (Almanya)	779,28	United Kingdom (Birleşik Krallık)	727,19	Netherlands (Hollanda)	661,67	Netherlands (Hollanda)	607,81
5	Kenya	780,92	Turkey (Türkiye)	727,61	Germany (Almanya)	662,23	Thailand (Tayland)	608,43
6	Turkey (Türkiye)	781,10	Netherlands (Hollanda)	727,84	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	662,33	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	608,58
7	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	781,12	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	728,43	Thailand (Tayland)	662,54	Switzerland (İsviçre)	608,74
8	Australia (Avustralya)	781,16	United States (ABD)	728,58	Switzerland (İsviçre)	662,60	Belgium (Belçika)	608,84
9	China (Çin)	781,23	Switzerland (İsviçre)	728,71	Belgium (Belçika)	662,99	Ethiopia (Etiyopya)	608,98
10	Netherlands (Hollanda)	781,41	Thailand (Tayland)	728,79	United Kingdom (Birleşik Krallık)	663,11	Denmark (Danimarka)	609,13
11	Canada (Kanada)	781,61	Australia (Avustralya)	728,92	Denmark (Danimarka)	663,14	Germany (Almanya)	609,13
12	Italy (İtalya)	781,85	Canada (Kanada)	728,98	Italy (İtalya)	663,19	Austria (Avusturya)	609,41
13	Spain (İspanya)	782,11	China (Çin)	729,24	Ethiopia (Etiyopya)	663,20	Spain (İspanya)	609,50
14	Thailand (Tayland)	782,22	Denmark (Danimarka)	729,32	Austria (Avusturya)	663,37	Italy (İtalya)	609,90
15	Switzerland (İsviçre)	782,22	Spain (İspanya)	729,34	Spain (İspanya)	663,56	Singapore (Singapur)	610,26
16	Russia (Rusya)	782,32	Belgium (Belçika)	729,39	Canada (Kanada)	664,12	Fiji	610,28
17	Denmark (Danimarka)	782,76	Italy (İtalya)	729,50	Qatar (Katar)	664,31	United Kingdom (Birleşik Krallık)	610,34
18	Austria (Avusturya)	782,93	Austria (Avusturya)	729,51	Singapore (Singapur)	664,33	Qatar (Katar)	610,34
19	Belgium (Belçika)	782,99	Ethiopia (Etiyopya)	729,56	Morocco (Fas)	664,34	Egypt (Mısır)	610,51
20	Ethiopia (Etiyopya)	783,10	Morocco (Fas)	729,95	Egypt (Mısır)	664,41	Morocco (Fas)	610,80

Şekil 8'de görselleştirilen havayolu ağı incelendiğinde elde edilen sonuçların doğru olduğu görülebilmektedir. Dikkat çeken noktalardan biri düğüm derecesi düşük ve uçuş sayısı az olan ülkelerde etkinliğinin yüksek çıkmasıdır. Bunun sebebi Tablo 2'de de görüldüğü üzere uçuş noktasının uçuş sayısına göre çok olmasıdır. Bundan kenar ağırlığı düşük ama çok fazla bağlantı kurduğu ülkelerin olduğu anlamı çıkar. Sosyal ağdaki anlamı kenar ağırlığı toplamda düşük ama bu sayıya göre düğüm derecesi yüksektir. Renyi entropi ile bu durumdaki düğümler α değeri büyük seçildiğinde tespit edilebildi. Sıralamada kenar ağırlıklarının etkisinin daha fazla görülmesi istenildiğinde α değeri küçük seçilmez. Kenar ağırlıkları ve düğüm derecelerinin etkilerinin beraber görülmesi istendiğinde α değeri orta bir değer olmalıdır. α değeri arttırıldıkça zaten ağırlığa göre düğüm derecelerinin etkisi daha fazla görülebilmektedir.

Uçuş sayısı hub olma ve ülke nüfusu ile ilgili bir durumdur. Uçuş noktası sayısı fazla olan ve aynı zamanda uçuş sayısı çok olan ülkeler etkinliği fazla olan ülkelerdir. France (Fransa), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya) istatistikî bilgilere göre en merkezi olması gereken ülkelerdir. Tablo 3'te düğüm dereceleri en yüksek ülkeler olarak görülmektedirler. Aşağıdaki şekillerde merkezi çıkan ülkelerin rotaları görsel olarak gösterildi. Bu çalışmada gizli kalan ve istatistikî bilgilerle keşfedilemeyen merkezi ülkeler görselleştirme ve önerilen yöntem ile tespit edilebildi.

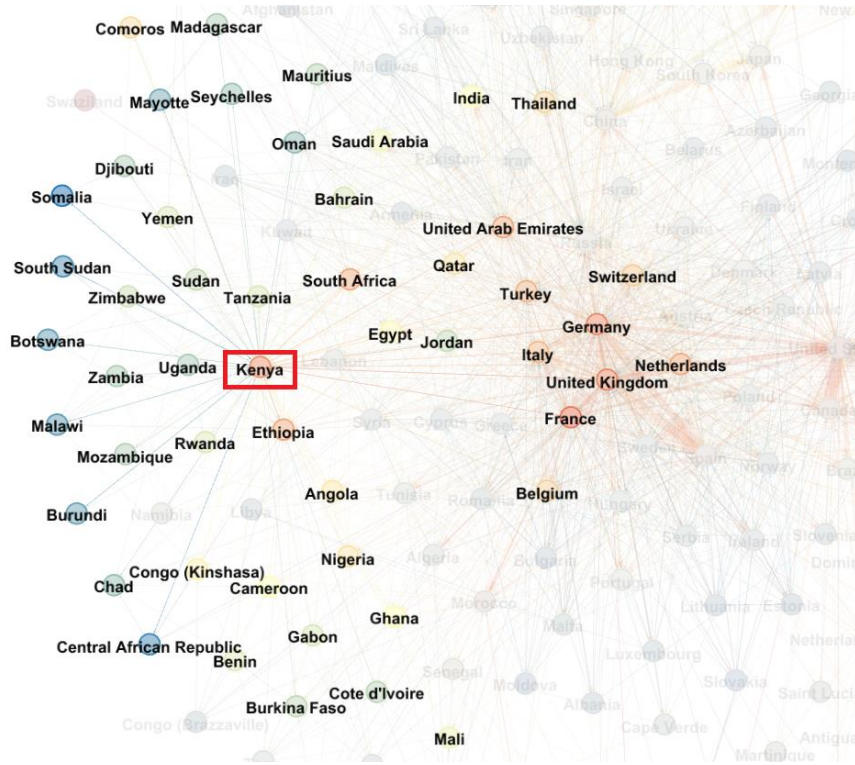
Aşağıdaki şekillerde elde edilen sonuçlara göre hava trafiği merkezi olan ülkelere bazılarının ağ görselleştirmesi gösterildi. Şekil 3'te görüldüğü gibi Kenya'nın daha çok Afrika ülkelerine uçuş rotası var. Şekil 4'teki France (Fransa)'ın dünya ülkelerine uçuş yayılımı daha fazladır. Özellikle Afrika ülkelerine daha çok rotası var. Şekil 5'teki United States (ABD)'de diğerlerinden farklı olarak Amerika Kıtasındaki ülkelere uçuşlar daha yoğun olmaktadır. Şekil 6'taki Turkey (Türkiye)'den ise Avrupa ve Ortadoğu ülkelerine daha yoğun uçuş yapıldığı, Şekil 7'de gösterilen China (Çin)'den ise yakın komşularına ve Avrupa'ya daha çok seyahat olduğu görülmektedir. Şekil 8'de ağın tamamı yani Dünya Havayolu trafiği gösterildi. Analiz sonuçları bir anlamda ülkelerin ilişki ağını göstermektedir. Düğüm derecesine göre merkezilikte 20. sırada olan Kenya önerilen yöntemde ilk sıralarda çıktı.

Tablo 2. Havayolu en merkezi 20 ülke ($\alpha=0.1$)

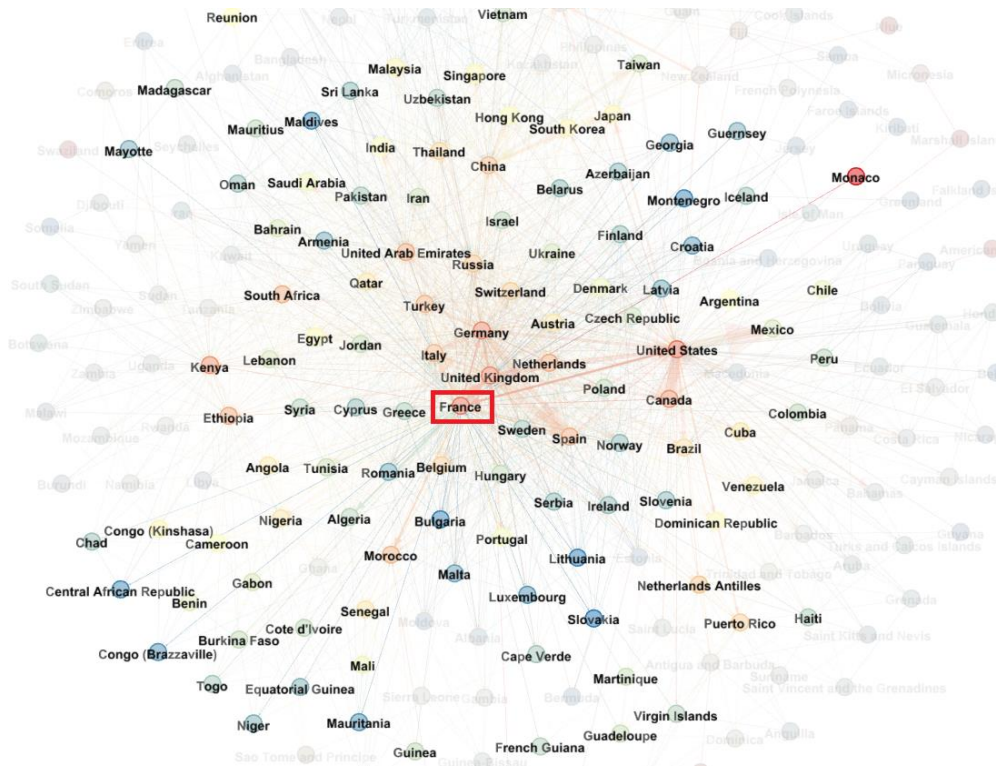
Ülke Adı	Uçuş Noktası Sayısı	Uçuş Sayısı	Nokta Sayısı/Uçuş Sayısı
United States (ABD)	92	2362	0,0390
France (Fransa)	111	999	0,1111
United Kingdom (Birleşik Krallık)	103	1716	0,0600
Germany (Almanya)	100	1651	0,0606
Kenya	49	147	0,3333
Turkey (Türkiye)	81	383	0,2115
United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	81	589	0,1375
Australia (Avustralya)	32	334	0,0958
China (Çin)	62	1010	0,0614
Netherlands (Hollanda)	80	451	0,1774
Canada (Kanada)	60	770	0,0779
Italy (İtalya)	80	949	0,0843
Spain (İspanya)	71	1280	0,0555
Thailand (Tayland)	57	362	0,1575
Switzerland (İsviçre)	65	416	0,1563
Russia (Rusya)	73	766	0,0953
Denmark (Danimarka)	47	241	0,1950
Austria (Avusturya)	61	357	0,1709
Belgium (Belçika)	60	327	0,1835
Ethiopia (Etiyopya)	41	99	0,4141

Tablo 3. Düzüm derecesine göre havayolu en merkezi 25 ülke

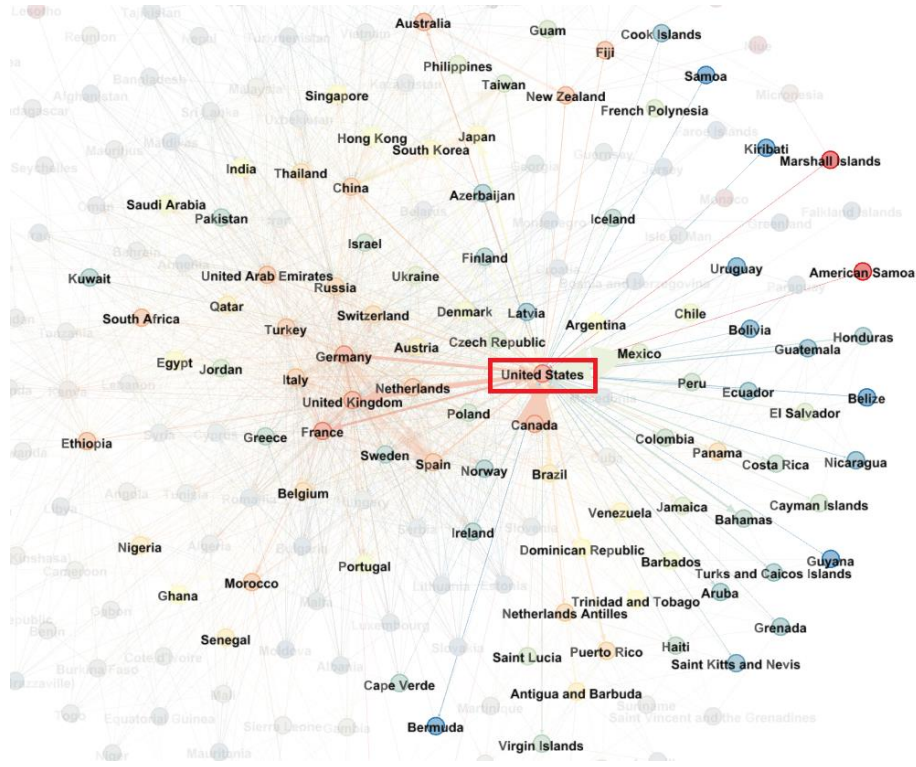
No	Ülke	Gidiş	Dönüş	Derece	Ağırlıklı Gidiş	Ağırlıklı Dönüş	Ağırlıklı Derece
1	France (Fransa)	111	112	223	999	1003	2002
2	United Kingdom (Birleşik Krallık)	103	103	206	1716	1718	3434
3	Germany (Almanya)	101	104	205	1655	1664	3319
4	United States (ABD)	92	94	186	2362	2365	4727
5	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	81	83	164	589	595	1184
6	Turkey (Türkiye)	81	81	162	383	381	764
7	Italy (İtalya)	80	79	159	949	946	1895
8	Netherlands (Hollanda)	80	78	158	451	453	904
9	Russia (Rusya)	73	73	146	766	768	1534
10	Spain (İspanya)	71	70	141	1280	1285	2565
11	Switzerland (İsviçre)	65	68	133	416	418	834
12	China (Çin)	62	62	124	1010	1010	2020
13	Austria (Avusturya)	61	60	121	357	358	715
14	Canada (Kanada)	60	61	121	770	771	1541
15	Belgium (Belçika)	60	58	118	327	335	662
16	Thailand (Tayland)	57	57	114	362	359	721
17	Qatar (Katar)	56	56	112	148	149	297
18	Egypt (Mısır)	50	50	100	298	285	583
19	India (Hindistan)	49	49	98	419	416	835
20	Kenya	49	48	97	147	139	286
21	Denmark (Danimarka)	47	47	94	241	242	483
22	Morocco (Fas)	46	46	92	207	209	416
23	South Africa (Güney Afrika)	44	44	88	141	141	282
24	Ukraine (Ukrayna)	44	44	88	201	203	404
25	Malaysia (Malezya)	42	42	84	274	272	546



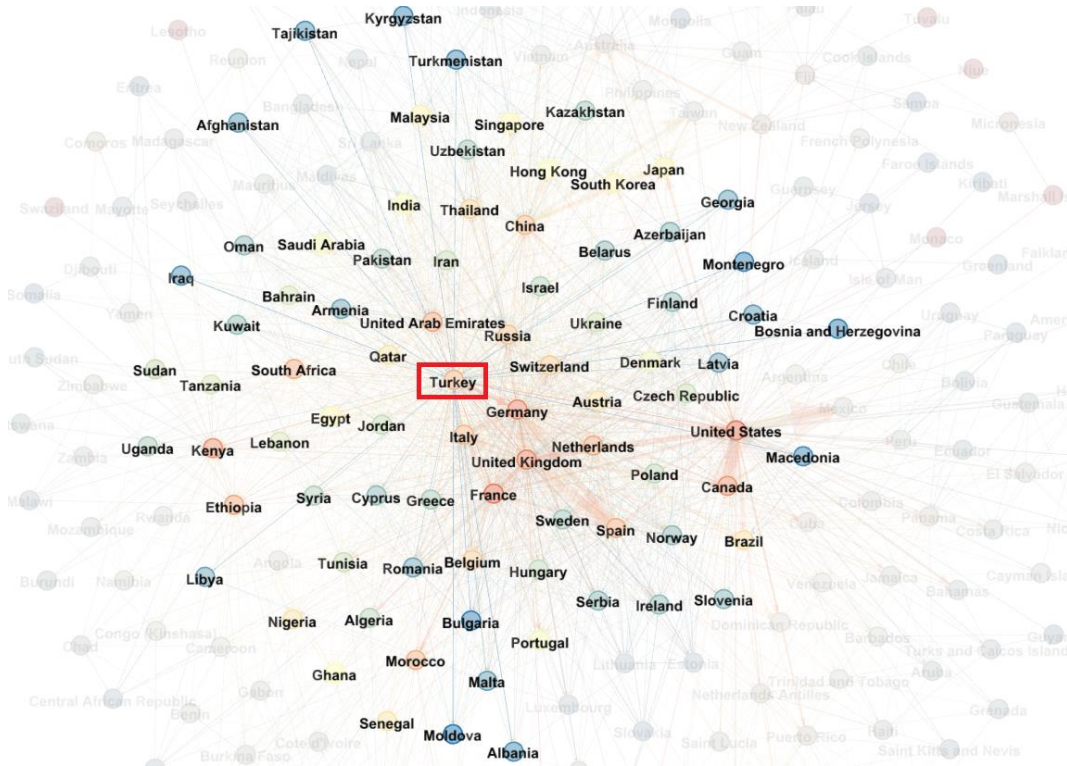
Şekil 3. Kenya havayolu trafiği



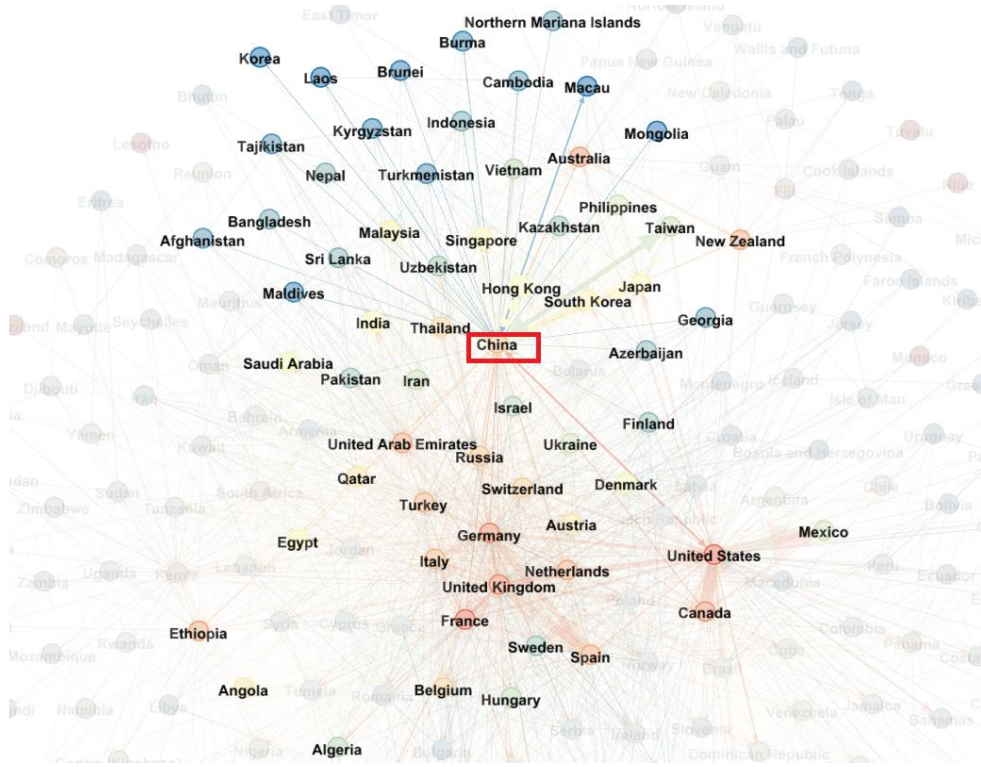
Şekil 4. France (Fransa) havayolu trafiği



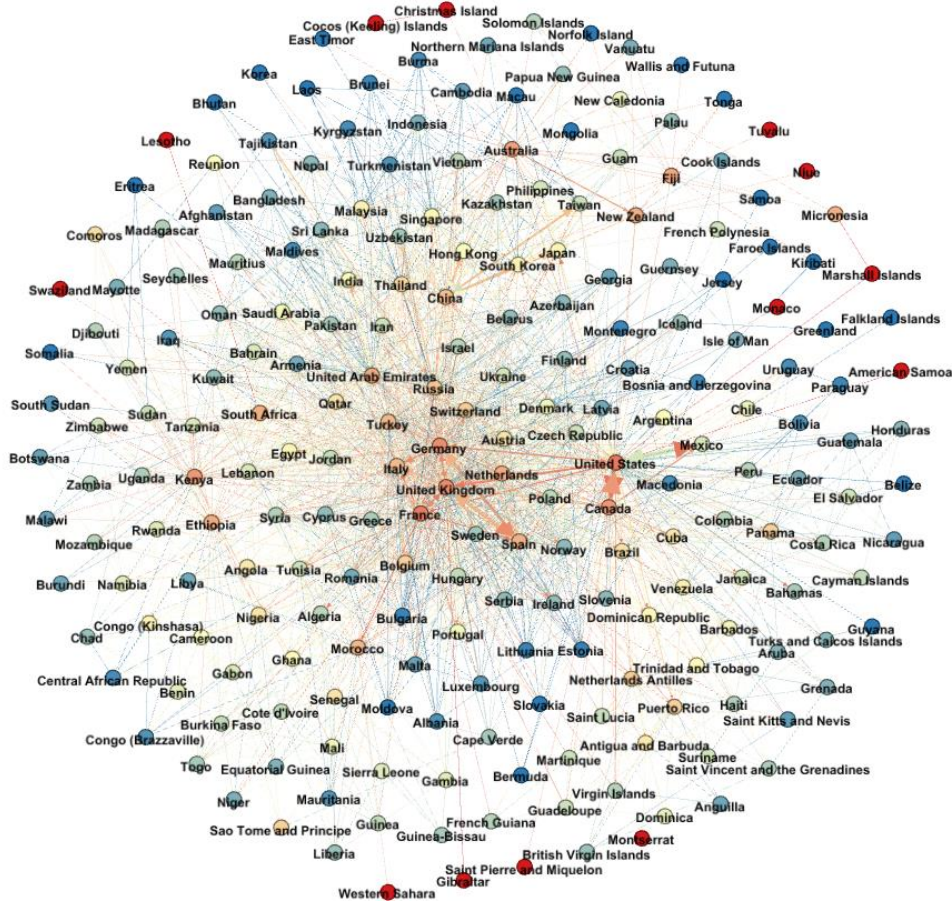
Şekil 5. United States (Amerika Birleşik Devletleri) havayolu trafiği



Şekil 6. Turkey (Türkiye) havayolu trafiği



Şekil 7. China (Çin) havayolu trafiği



Şekil 8. Dünya Havayolu ağıının görsel gösterimi

5. Tartışma ve Sonuçlar

Gelecek stratejilerimizi belirlerken iyi analizler yapmamız gerekir. Bu şekilde yapılan işlerden azami verim ve yarar sağlanmış, tasarruf edilmiş olur. Yapılan bu analizler matematiksel temele dayanıyorsa doğruluğu kesindir. Bu çalışmada istatistik verilerden oluşan ilişkisel yapı sosyal ağ analizi yöntemleri ile analiz edildi. Bir sistemdeki bilgi miktarı ve belirsizlik ölçüsü olan entropi temel alınarak yeni bir yöntem önerildi. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu göstermek için ülkelerin hava trafiği veri seti kullanıldı. α değeri 1 olduğunda Shannon entropi davranışı gösteren Renyi entropi kullanılarak merkezi noktalar tespit edildi. Elde edilen sonuçlara bakıldığında α değeri küçük seçildiğinde kenar ağırlıkları baskın bir merkezilik elde edildi. Bu ölçümde düğüm dereceleri de etkisini sürdürdü. α değeri arttırıldığında ise ağırlığa göre düğüm derecelerinin etkisi daha çok hesaplamaya dâhil oldu. Kullanılan veri setinde düğüm derecesi en yüksek olan France (Fransa)'dır. Bu durum France (Fransa)'nın α büyük seçildiğinde en üste çıkmasına sebep oldu. Yaptığımız analizde literatürde çok da göz önünde olmayan Kenya, South Africa (Güney Afrika) ve Qatar (Katar) gibi ülkelerde üst sıralarda çıktı. Bunun sebebi çok yoğun uçuşları olmasa da bu ülkelerin uçuş noktalarının uçuş sayısına oranla çok olmasıdır. Birçok ülkenin ağa dahil olmasına köprü olmalarıdır. Bunlar hub olma potansiyeli yüksek ülkelerdir. Türkiye ise yapılan hesaplamalarda hep üst sıralarda çıktı. Uçuş rotasının çok olması bunda etkili olmuştur.

Yapılan çalışma Renyi entropi ile merkezilik ölçümlerinin yapılabileceğini ve doğru sonuçların alınabileceğini gösterdi. α değerinin doğru seçilmesi halinde merkezilik hesaplamalarında alternatif yöntem olarak kullanılabilir. Kenar ağırlıklarının ve düğüm derecelerinin etkisinin ihtiyaç ve probleme göre ayarlanabilmesi ağa birçok farklı açıdan bakılmasına olanak tanır. Renyi entropi α değeri ile bunu sağladı. Farklı problem barındıran veri setlerinde bu yöntem kullanılabilir. Bir sonraki çalışmamızda Renyi entropinin farklı kullanım alanlarını ve farklı veri setlerine uygulamasını gerçekleştirmek istiyoruz.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Alexanderson, G. L. (2006). About the cover: Euler and Königsberg's bridges: A historical view. *Bulletin of the American Mathematical Society*. <https://doi.org/10.1090/S0273-0979-06-01130-X>

Bromiley, P. A., Thacker, N. A., & Bouhova-Thacker, E.

(2004). Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Erişim Tarihi: 14 Aralık 2018, website: <http://www.tina-vision.net/docs/memos/2004-004.pdf>

Cong, W., Hu, M., Dong, B., Wang, Y., & Feng, C. (2016). Empirical analysis of airport network and critical airports. *Chinese Journal of Aeronautics*, 29(2), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2016.01.010>

Dehmer, M., & Mowshowitz, A. (2011). A history of graph entropy measures. *Information Sciences*, 181(1), 57–78. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.041>

Du, Y., Gao, C., Hu, Y., Mahadevan, S., & Deng, Y. (2014). A new method of identifying influential nodes in complex networks based on TOPSIS. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 399, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.031>

Ernesto, T. (1956). A note on the information content of graphs. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 18(2), 129–135.

Everett, M. G., & Borgatti, S. P. (2005). Extending Centrality. In P. J. Carrington, J. Scott, & S. Wasserman (Eds.), *Models and Methods in Social Network Analysis* (pp. 57–76). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811395.004>

Fei, L., & Deng, Y. (2017). A new method to identify influential nodes based on relative entropy. *Chaos, Solitons and Fractals*, 104, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.08.010>

Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215–239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)

Hartley, R. V. L. (1928). Transmission of Information. *Bell System Technical Journal*, 535. <https://doi.org/10.1109/83.748891>

<http://www.visualizing.org/datasets/global-flights-network>. (n.d.). Global Flight Network Data. Erişim Tarihi: 11 Ekim 2018, from <https://github.com/gsmnu007/Complex-network-analysis-of-Airport-network-data>

Leskovec, J., Rajaraman, A., & Ullman, J. D. (2014). *Mining of massive datasets: Second edition. Mining of Massive Datasets: Second Edition*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139924801>

Moreno, J. L. (1934). *Who Shall Survive? A New Approach to the Problem of Human Interrelations. Nervous and Mental Disease Publishing* (Vol. 58). <https://doi.org/10.2307/2084777>

Mowshowitz, A. (1968). Entropy and the complexity of graphs: I. An index of the relative complexity of a graph. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 30(1), 175–204.

<https://doi.org/10.1007/BF02476948>

- Nie, T., Guo, Z., Zhao, K., & Lu, Z. M. (2016). Using mapping entropy to identify node centrality in complex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 453, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.02.009>
- Rashevsky, N. (1955). Life, information theory, and topology. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 17(3), 229–235. <https://doi.org/10.1007/BF02477860>
- Rényi, A. (1961). On measures of entropy and information. In *Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (p. 547). <https://doi.org/10.1021/jp106846b>
- Shannon, C. E. (1951). Prediction and Entropy of Printed English. *Bell System Technical Journal*, 30(1), 50–64. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1951.tb01366.x>
- Tutzauer, F. (2007). Entropy as a measure of centrality in networks characterized by path-transfer flow. *Social Networks*, 29(2), 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2006.10.001>
- Wang, S., Du, Y., & Deng, Y. (2017). A new measure of identifying influential nodes: Efficiency centrality. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 47, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.11.008>
- Wikipedia.org. (n.d.). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termodinamik>
Erişim Tarihi 19 Temmuz 2018.



SÜPERPİKSEL TABANLI SATIR BÖLÜTLEME

Ali Alper DEMİR, Ufuk ÖZKAYA*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Süperpiksel,
Satır Bölütleme,
El Yazımı Belge,
Doküman İmgesi Analizi,
Havza Bölütleme.*

Öz

Satır bölütleme tarihi doküman analizi uygulamalarının en temel aşamalarından birisidir. Satır bölütleme başarısı, daha sonraki doküman analizi yöntemlerinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Matbu belgelerde kayıpsız satır bölütleme işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak, el yazımı belgeler için satır bölütleme işlemi metin satırlarının eğik, eğri, dalgalı olması, satırlar arası boşlukların darlığı, örtüşen ve temas eden bileşenlerden dolayı hala zorlayıcı bir problemdir. Bu çalışmada, el yazımı dokümanlar için süperpiksel tabanlı yeni bir satır bölütleme yöntemi önerilmiştir. Yöntem ardışık satırları bölütleyebilen en güvenli sınırın elde edilmesini hedeflemektedir. Önerilen yöntem 853 adet Çince el yazımı doküman imgesi içeren HIT-MW veri seti üzerinde uygulanmıştır. Veri setinin en önemli özelliği eğik, temas eden ve örtüşen satır davranışlarına sahip imgelerden oluşmasıdır. Önerilen yöntem ile % 98.03 tespit oranı, % 97.66 tanıma doğruluğu elde edilmiş ve yöntemin başarısı literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında önerilen yöntemin el yazımı metinlerde satır bölütleme uygulamalarındaki başarısı ve potansiyeli ortaya konmuştur.

SUPERPIXEL BASED TEXT LINE SEGMENTATION

Keywords

*Supapixel,
Text Line Segmentation,
Handwritten Document,
Document Image Analysis,
Watershed Segmentation.*

Abstract

Text line segmentation is one of the essential stages of historical document analysis applications. The accuracy of text line segmentation affects directly the success of following document analysis steps. For printed documents, lossless text line segmentation can be done readily. But, for handwritten documents, unfortunately it is still a challenging problem because of the skewed, curved, fluctuated text lines, narrow gaps between the text lines, overlapping and touching components. In this paper, a novel superpixel-based text line segmentation method for handwritten documents is proposed. This method aims to extract the most reliable boundary to segment consecutive text lines. This method is implemented HIT-MW dataset containing 853 Chinese handwritten document images. The most important feature of this dataset is to be composed of documents having skewed, overlapping and touching text lines. A detection rate of 98.03% and a recognition accuracy of 97.66% is obtained and these results are compared with the ones of existing state of the art methods. With these results, segmentation success and potential of our method for handwriting text line segmentation is pointed out.

Alıntı / Cite

Demir, A. A., Özkaya, U., (2019). Süperpiksel Tabanlı Satır Bölütleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 854-868.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. A. Demir, 0000-0001-5250-0590
U. Özkaya, 0000-0002-3520-1975

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.06.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: ufukozkaya@sdu.edu.tr, +90-246-211-1910

1. Giriş

Dünyanın birçok yerinden tarihçiler ve araştırmacılar tarihi belgeler üzerinde araştırmalar, çalışmalar yapmaktadırlar. Arşivlerde çok sayıda el yazımı ile yazılmış tarihi doküman bulunmakta ancak bu dokümanların indekslenmesi ve çevirisi insan gücüyle yapılan ve oldukça zaman alan bir işlemdir. Bu işlemlerin otomatik bir şekilde yapılmasının zorluğundan dolayı bu tip dokümanlar araştırmacılar tarafından etkili bir şekilde kullanılamamaktadır. Zaman geçtikçe tarihi belgeler yıpranarak eskimektedir. Bu durum ise belgelerin okunmasını zorlaştırmaktadır. Bu problemin önüne geçmek amacıyla son yıllarda el yazımı ve tarihi dokümanlar taranarak imge formatında dijital ortama aktarılmaktadır. Dijital ortama aktarılan bu belgelerdeki kelimeleri otomatik bir şekilde teker teker ayrıştırmak bu belgelere hızlı ve kolay bir şekilde erişilerek araştırmacılar için büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Böylece araştırmacılar istedikleri anahtar kelimeleri doküman imgeleri üzerinde aratarak belgelerdeki ilgili kısmı bularak araştırmalarını hızlandıracaktır.

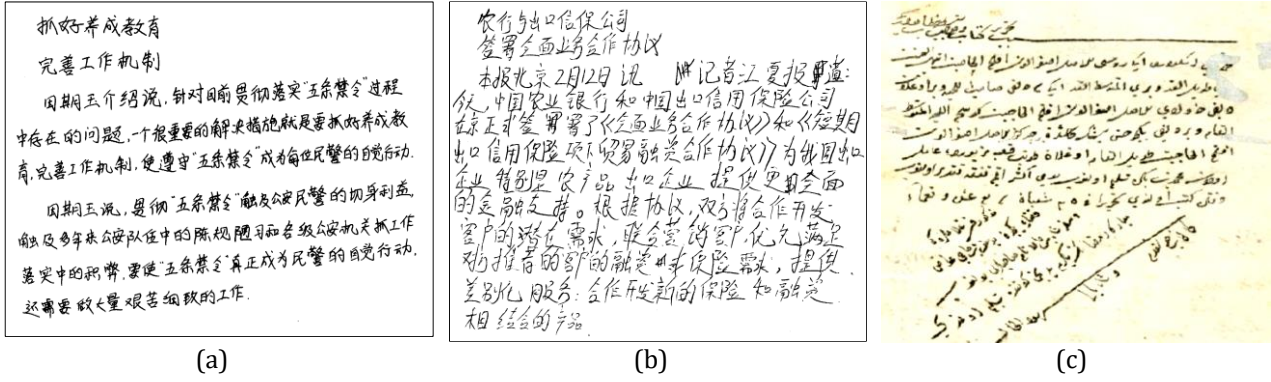
Günümüzde özellikle tarihi ve el yazımı metinlerin taranıp indekslenmesi ayrıca bu belgelerin transkripsiyonlarının yapılması oldukça güncel bir problemdir. Optik karakter tanıma, doküman imgelerinin bilgisayar ortamında düzenlenebilecek şekilde sayısal bir metine çevrilmesi işlemidir. Optik karakter tanıma sistemlerinde genellikle sırasıyla ön işleme, bölütleme, öznitelik çıkarımı, eğitim ve tanıma şeklinde aşamalar bulunmaktadır. Ön işleme, bölütleme için kolay veri üretmeyi amaçlamaktadır. Ön işleme aşamasında gürültü azaltma, verilerin normalleştirilmesi, renk dönüşümü, histogram eşitleme gibi işlemler bulunmaktadır. Bölütleme, doküman imgesinin paragraflara, metin satırlarına, cümlelere, kelimelere veya harfler gibi daha küçük parçalara ayrılması işlemidir. Öznitelik çıkarma aşamasında, tanıma aşamasında metni tanıyabilmek için doküman imgesinden en alakalı bilgileri çıkarma işlemi yapılmaktadır. Bu bilgiler her bir sembolü diğer sembollerden ayırmak için gerekli öznitelikleri içerir. Tanıma aşaması, karakter tanıma sisteminde son ve ana karar verme aşamasıdır. Bilinmeyen her bir sembolü tanımlayan ve daha önceden tanımlanmış bir sınıfa atayan bir sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Bu sınıflandırma, bir önceki aşamanın çıktısı olan özniteliklere dayanmaktadır.

Doküman analizi uygulamalarından biri olan optik karakter tanıma sistemlerinde bölütleme aşaması en

önemli aşamalardan biridir. Satır bölütleme bu işlemler arasında ilk sıralarda yer aldığı için hataların minimize edilip metin satırlarının yüksek doğrulukta bölütlenmesi gerekmektedir. Böylece devam eden diğer işlemlere daha doğru bir giriş verisi sağlanmış olur. Metin satırı bölütlenmesi işleminin karakterin tanıma başarısı üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Yazarların yazma şekillerindeki farklılıklardan dolayı karakter tanıma sistemindeki hataların çoğu bölütleme aşamasında meydana gelmektedir. Bu nedenle daha iyi bir karakter tanıma sisteminin oluşturulabilmesi için bölütleme aşamasında doküman imgelerinin satırlara bölütlenmesi işleminin yüksek doğrulukta yapılması gerekmektedir.

Matbu doküman imgelerinde satırlar arası örtüşme olmadığından metni oluşturan satırlar kayıpsız bir şekilde kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ancak el yazımı doküman imgelerinde satırlar düz bir şekilde gitmemekte; eğiklikler, dalgalanmalar, satırlar arası örtüşmeler, iki komşu satırın birbirine temas etmesi gibi durumlar olabilmektedir (Şekil 1). Bu nedenle, standart satır bölütleme yöntemleri el yazımı doküman imgelerinde başarılı sonuçlar elde edememektedir.

Literatürde el yazımı dokümanların satırlarının bölütlenmesi için birçok algoritma bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları iz düşüm tabanlı yöntemler (Ataer ve Duygulu, 2006; Adıgüzel vd., 2012), hough dönüşümü tabanlı yöntemler (Likforman-Sulem vd., 1995; Louloudis vd., 2006; Louloudis vd., 2008) ve bağlı bileşen tabanlı (Ryu vd., 2014) yöntemlerdir. İzdüşüm tabanlı yöntemler genellikle matbu doküman imgeleri üzerinde uygulanmakta ve bu tip dokümanlarda başarılı sonuçlar elde etmektedir. İzdüşüm tabanlı yöntemler bir metin satırının düz bir şekilde olduğu varsayımına dayanmakta, komşu metin satırları arasındaki boşluk bilgisinden faydalanarak bölütleme işlemini gerçekleştirmektedir. İzdüşüm tabanlı yöntemler doküman imgesinin dikey hatlara bölünüp metin satırlarının o dikey hat boyunca da düz bir şekilde ilerlediği varsayımını kullanarak çok fazla eğikliğin bulunmadığı doküman imgelerinde de kullanılabilir. Ancak izdüşüm tabanlı yöntemler kısıtlı sayıda dokümana uygulanabilmektedir. İzdüşüm tabanlı yöntemler el yazımı metinlerde bölütlemeyi zorlaştıran eğimli ve temas eden satırlar nedeniyle başarılı sonuçlar vermemektedir.



Şekil 1. El yazımı doküman örnekleri (a) Eğik satır içeren metin (HIT-MW veri seti), (b) Temas eden ve örtüşen satır içeren metin (HIT-MW veri seti), (c) Düzensiz satır içeren metin (Kadı Sicilleri)

Hough dönüşümü tabanlı yöntemler de metin satırını oluşturan bileşenlerin düz veya belli bir eğiklik açısında bulunduğu varsayımını kullandığından, izdüşüm tabanlı yöntemlere benzer durumlardan dolayı matbu doküman imgelerinde başarılı sonuçlar verirken el yazımı doküman imgelerinde başarı oranı düşmektedir. Hough tabanlı yöntemlerde doküman imgesinde satırların farklı eğiklik açılarında olması durumunda da başarılı olabilirken, metin satırının içerisinde kelimelerin farklı eğiklik açılara sahip olması durumunda doğru bir satır bölütlemesi elde edilememektedir. Özellikle hough dönüşümü tabanlı yöntemlerde satırlar arasında eğrilik olması durumunda, Arapça gibi noktalama ve vurgu için kullanılan küçük bileşenlerin yoğun olduğu dillerde bölütleme başarısı oldukça düşmektedir.

Bağlı bileşen tabanlı yöntemlerde genellikle her piksel eşit öneme sahip olduğundan dolayı doküman imgesindeki herhangi bir pikselin değişmesi durumunda farklı bir bölütleme sonucu elde edilebileceğinden dolayı çok fazla uygulanabilir değildir.

Bu çalışmada süperpiksel algoritmalarından biri olan havza bölütleme tabanlı bir satır bölütleme algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin Çince el yazımı doküman imgelerini içeren HIT-MW veri seti üzerinde uygulanmış ve performans metrikleri elde edilmiştir. Elde edilen performans metrikleri literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sırasıyla literatürde bulunan doküman imgeleri için satır bölütleme yöntemlerinin özetleri, önerilen el yazımı doküman imgeleri için süperpiksel tabanlı satır bölütleme yöntemi, yöntemin işlem adımları ve algoritmanın uygulanması, yöntemin başarısının test edilebilmesi için kullanılan veri setinin özellikleri ve performans metriklerini açıklanmıştır. Daha sonra önerilen yöntemin veri seti üzerinde uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilip diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Nagy vd. (1992), bir çeşit izdüşüm tabanlı yukarıdan aşağıya bölütleme algoritması olan X-Y kesme algoritmasını kullanmışlardır. Parçalanmış bölgelerin yatay ve dikey izdüşüm profilleri tekrar tekrar analiz edilerek dokümanın yapısal bir ağacı oluşturulmaktadır. Ağacın kökü tüm doküman sayfasını temsil etmektedir. Tüm yaprak düğümleri ise son bölütlemeyi temsil etmektedir. Algoritma belgeyi yinelemeli olarak ağacın düğümlerini temsil eden iki veya daha küçük dikdörtgen bölgelere böler. İşlem, hiçbir yaprak düğümü daha fazla bölünemeyene kadar devam eder. Paralel metin satırları varsayımı ve satırlar arası büyük boşluklardan dolayı bu yöntem sadece matbu belgelerde iyi sonuçlar vermektedir. İki komşu metin satır arasında önemli bir boşluğun olduğunu ve metin satırlarının izdüşümünün x ve y yönünde kolayca bölütlenebileceğini varsaymaktadır. Ancak, iki komşu satır arasındaki boşluklar çok fazla olmadıkça ya da el yazımı metin satırları düz olmadıkça, el yazımı dokümanlarda doğrudan kullanılamamaktadır.

O’Gorman (1993), tarafından geliştirilen Docstrum yöntemi bir çeşit aşağıdan yukarıya gruplama yöntemidir. Yöntem, satır içindeki ve satırlar arasındaki boşlukları ve eğikliği ölçer, metin bloklarını ve metin satırlarını bulur. Eğiklik açısından bağımsızlık, farklı metin boşluklarından bağımsızlık ve aynı imgedeki farklı metin yönlerine sahip yerel bölgeleri işleme yeteneğinden dolayı avantajlıdır. K-en yakın komşu birimler arasındaki geometrik ilişkiye dayanan kuralları kullanarak bağlı bileşenleri birleştirir. Matbu dokümanlar ve çok az eğrilğin bulunduğu satırlarda iyi performans sergilemektedir.

Arivazhagan vd. (2007), doküman imgesini birkaç dikey şeride bölerek parçalı projeksiyon yaklaşımını kullanmışlardır. Metin satırlarının bir şerit boyunca yaklaşık olarak düz olduğu varsayılarak, bu şeritlerdeki yatay projeksiyon profilleri çıkarılmaktadır. Daha sonra sezgisel kurallar kullanılarak bunlar birleştirilerek metin satırları bölütlenmektedir. İngilizce, Arapça ve çocuk el

yazılarından oluşan toplam 11581 metin satırı içeren 720 doküman üzerinde test edilen yöntem % 97.31 başarı oranıyla metin satırlarını bölütlemektedir. 78.902 bağlı bileşen içeren 200'den fazla el yazımı imge üzerinde test edilen yöntem metin satırlarının % 97.65'ini doğru bir şekilde tespit edebilmiştir.

Su vd. (2007), el yazımı ile yazılmış Çince dokümanların eğikliğini tespit etmek için yatay vuruş histogramını kullanmışlardır. Vuruş eğikliği düzeltme algoritması yatay vuruş histogramından satırların eğiklik açısını bulur ve eğikliği düzelttikten sonra izdüşüm profilleri kullanarak metin satırlarını bölütler. Ayrıca bu çalışma ile Çince el yazımı tanıma alanındaki ilk veri seti olan HIT-MW veri seti oluşturulmuştur. 780'den fazla katılımcı tarafından yazılan 853 adet doküman imgesi bulunmaktadır. Veri setinde kesin referans olarak 8673 adet metin satırı bulunmaktadır. Basit bir hesapla her bir doküman imgesinde ortalama 10.16 metin satırı bulunmaktadır.

Li vd. (2008), satırların tespit edilmesi işlemini bir görüntü bölütleme problemi olarak ele almışlardır. Yoğunluk kestirimine ve seviye kümesi bölütleme yöntemine dayanan bir yaklaşım önerilmiştir. İkili imge anizotropik (yönbağımlı) bir Gauss çekirdeği kullanılarak gri seviyeli imgeye dönüştürülmektedir. Doküman imgesi üzerinden her bir elemanın bir metin satırına ait olma ihtimalini temsil ettiği olasılık haritası hesaplanmaktadır. Daha sonra, başlangıç tahmini geliştirilerek komşu metin satırlarının sınırlarını belirlemek için seviye kümesi yöntemi kullanılmaktadır. Yöntem Arapça, Korece, Çince ve Hintçe gibi çeşitli harfler içeren serbest el yazımı dokümanlar üzerindeki test edildiğinde iyi bir performans göstermektedir. Yapılan farklı deneyler önerilen algoritmanın ölçek değişikliği, dönüş ve gürültüye karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir. Önerilen yöntem toplam 100 adet Arapça el yazımı doküman imgesi içeren bir veri seti üzerinde test edildiğinde % 85.6 başarı oranıyla 2691 satırın 2303'ü tespit edilmiştir. 100 Çince el yazımı doküman imgesinden oluşan başka bir veri seti üzerinde uygulandığında ise önerilen yöntem 1672 satırın 1532'sini bularak % 92 oranında bir başarı elde etmiştir. Çalışmada iki satırın birbirine önemli ölçüde temas etmesinden dolayı büyük hataların olduğu belirtilmektedir.

Louloudis vd. (2008), üç farklı adımdan oluşan bir yöntem önermişlerdir. İlk adım imge ikilileştirmesi ve iyileştirmesini, bağlı bileşen çıkarımını, bağlı bileşenlerin üç ayrı alt kümeye ayrıştırılmasını ve ortalama karakter yüksekliğinin hesaplanmasını içermektedir. İkinci adımda potansiyel metin satırlarının tespiti için blok tabanlı Hough dönüşüm yöntemi kullanılmaktadır. Üçüncü adım ise bir önceki adımda ortaya çıkarılamayan metin satırlarını tespit etmek için, olası bölünmeleri düzeltmek ve son olarak dikey olarak bağlı karakterleri ayırmak ve onları ilgili metin satırlarına atamak için kullanılmaktadır.

Önerilen yöntem Atina Üniversitesi'nin tarihi arşivlerinden, Dallas kütüphanesinden ve ICDAR2007 el yazımı bölütleme yarışmasından alınan İngilizce, Yunanca, Fransızca ve Almanca el yazımından oluşan 152 adet doküman üzerinde test edilmiştir. Tüm doküman imgeleri için manuel olarak metin satırı tespiti için kesin referans oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti toplam 3382 metin satırı içermektedir. Önerilen yöntem % 95.8 tespit oranı ve % 93.8 tanıma doğruluğu başarıları elde etmiştir.

Du vd. (2009), Mumford-Shah modeline dayanan bir yöntem tanımlamışlardır. El yazımı metin satırlarını bölütlemek için Mumford-Shah modeli ve düzey kümesi yöntemi kullanılmıştır. Metin satırlarını bölütlemek için öncelikle pencere boyutu yatay yönde geniş olan Gauss filtresi kullanılarak doküman imgesi bulanıklaştırılmaktadır. Düzey kümesi fonksiyonu iç, dış ve metin satırı bölgelerinde farklı değerlere sahiptir. Yöntemde Mumford-Shah modelinin enerji fonksiyonunun minimize edilmesi, böylece imgenin iyi bir şekilde bölgelere bölütlenmesi gereklidir. Son olarak metin satırlarını ayırtmak ve bazı gürültüleri gidermek amacıyla aşındırma ve genişleme gibi bazı morfolojik işlemler yapılmaktadır. Algoritma dilden bağımsızdır. Komşu metin satırları arasındaki örtüşmeleri kaldırmak ve kırık olanları bağlamak için işlem sonrası adım olarak morfolojik işlemler kullanılmaktadır. Yöntem farklı eğiklik açıları durumunda metin satırlarını doğru bir şekilde elde edememektedir.

Yin ve Liu (2009), kümeleme tabanlı bir yöntem olan asgari tarama ağacı yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem çoklu eğiklik durumu içeren satırları bölütleyebilirken, temas eden metin satırlarında başarısızdır. Bağlı bileşenler ilk olarak birkaç geometrik kısıtlamaya dayalı olarak bölünür, daha sonra gözetimli öğrenme tarafından tasarlanan uzaklık metriği ile asgari tarama ağacı aracılığıyla bir ağaç yapısına gruplanır. Seçilen kenarlar dinamik olarak ağaçtan kesilerek metin satırları elde edilir. Yapay parametrelerden kaçınmak ve bölütleme doğruluğunu artırmak için, gözetimli öğrenme aracılığıyla uzaklık metriği tasarlanmıştır. Çince el yazımı dokümanlar içeren HIT-MW veri setinden rastgele seçilen ve 508 metin satırı içeren 50 adet doküman imgesi kullanılarak uzaklık metriği öğrenimi ve parametre ayarlaması yapılmıştır. Daha sonra önerilen yöntem veri setindeki 8169 metin satırı içeren 803 adet doküman imgesi üzerinde test edilmiş ve % 98.02 tespit oranı ve % 2.47 hata oranı elde edilmiştir.

Ziaratban ve Faez (2010), doküman imgesini uyarlanabilir bloklara bölen aşağıdan yukarıya gruplama algoritması kullanmışlardır. Her bir bloğun eğikliği hesaplanmıştır. Yöntemi farklı yazarlara uyarlamak için üç parametre tanımlanmıştır. HIT-MW veri seti üzerinde uygulanan yöntem % 98.34 oranında tespit oranı başarıları elde etmiştir. 282 kişi

tarafından yazılan 7186 yazar içeren 1129 adet Farsça doküman imgesi içeren FHT veri seti üzerinde test edildiğinde ise % 91.22 tespit oranı elde edilmiştir. FHT veri setinde bulunan zor metin satırlarını içeren 371 imgelik bir grup imge üzerindeki tespit oranı ise % 86.26 olarak elde edilmiştir.

Alaei vd. (2011), doküman imgesinin ön plan bölümünü lekelemek için yeni bir boyama tekniği kullanmışlardır. Öncelikle imgedeki bileşenlerin ortalama genişlikleri hesaba katılarak imge dikey hatlara bölünmektedir. Boyama tekniği, metin satırlarının kolayca algılanmasını sağlayan ön ve arka plan bölümlerin ayrılabilmesini kolaylaştırmaktadır. Her bir metin satırı için tek bir bileşen elde etmek için boyanmış imgenin ön plan bölümünde bir genişleme işlemi uygulanmıştır. Aday çizgi ayırıcıları adı verilen bir dizi ayırıcı çizgi elde etmek için genişletilmiş imgenin arka bölümünün inceltilmesi ve daha sonra bazı düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aday çizgi ayırıcılarının başlangıç ve bitiş noktaları kullanılarak ve aralarındaki uzaklıklar analiz edilerek bölütlenmiş metin satırlarının elde edilmesi için ilgili aday çizgi ayırıcıları birleştirilir. Önerilen satır bölütleme yöntemi üç farklı veri setine uygulanmıştır. İlk olarak 152 adet İngilizce, Yunanca, Fransızca ve Almanca el yazımı dokümanlardan oluşup toplam 3382 satır içeren veri seti kullanılmıştır. Dokümanlar Atina Üniversitesi, Dallas kütüphanesi ve ICDAR2007 el yazımı bölütleme yarışmasından alınmıştır. Önerilen yöntem daha sonra toplam 4034 satır içeren 200 el yazımı doküman imgesinden oluşan ICDAR2009 el yazımı bölütleme yarışmasında kullanılan veri setine uygulanmıştır. Yöntem son olarak 78 el yazımı metin sayfasından oluşan ve toplam 1044 satır içeren Bangla, Oriya dili ve Farsça yazılardan oluşan gri seviyede taranmış doküman imgelerine uygulanmıştır. İlk veri setinde ortalama doğru tespit edilen satır oranı % 95.17 iken, ikinci veri setinde bu oran % 98.35 olarak elde edilmiştir. Son veri setinde ise ortalama doğru tespit edilen satır oranı % 95.87'dir. Önerilen yöntem -10 ve +10 eğiklik aralığında iyi çalışmaktayken -20 ve +20 arası eğiklik durumunda hatalı sonuçlar vermektedir. Ayrıca karmaşık ve düzensiz arka plan olduğu durumlarda yöntem hatalı ikileme nedeniyle başarısızdır.

Adıgüzel vd. (2012), satır bölütleme işleminde karşılaşılan problemlerin üstesinden gelebilmek için bağlı bileşen ve projeksiyon tabanlı bilgileri birleştiren bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen yöntem, her bir bağlı bileşenin taban çizgilerini bulmaktadır. Satırlar, her bir satıra ait olan bağlı bileşenlerin taban çizgilerinin projeksiyon bilgisi kullanılarak gruplanmasıyla tespit edilmektedir. Bileşenler, boyutlarıyla ilgili olarak farklı mesafe ölçümlerine göre satırlara atanmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan dikey izdüşüm yöntemi geliştirilerek tarihi dokümanlarda karşılaşılan sorunları çözebilecek şekilde değiştirilmiştir. Ayrıca dikey izdüşüm profillerindeki

tepe noktalarının tespiti için yeni bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada bir projeksiyon profilindeki tepeleri saptamak için yeni bir yöntem olan Fourier eğri uydurma yöntemi önerilmektedir. Küçük bileşenler çıkarılıp, kırık karakterler birbirine bağlandıktan sonra yatay projeksiyon profiliyle Fourier eğri uydurma yöntemi kullanılarak satırları ayırma noktası bulunmaktadır. Farklı komşu satırlar arasındaki kesme noktasının yerini belirleyen bağlı bileşenin taban çizgisini çıkarmak için kontur bilgisi kullanılır. Bileşenler, taban hatlarındaki piksellere uyan bir polinom eğrisi ile yaklaşık olarak en yakın hatta göre atanır. Başlangıçta kaldırılan küçük boyutlu bileşenler dört yöndeki en yakın komşu bağlı bileşene yeniden atanır. Algoritma, farklı basılı ve el yazımı Osmanlı veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Bu çalışmada bir bölgenin birden fazla metin satırı içermesine rağmen tek bir metin satırı olarak algılanması durumu bulunmaktadır. Ayrıca metin satırları arasında bulunan küçük boyutlu bileşenlerin ayrı bir metin satırı olarak algılanması durumu da bulunmaktadır. Çalışma 6 farklı el yazımı kitap üzerinde test edildiğinde yaklaşık %93 doğruluk oranıyla satırlar bölütlenmiştir. Ayrıca yöntem matbu belgeler üzerinde test edildiğinde % 96.56 oranında F1-skoru elde etmiştir. Hataların büyük bir kısmı küçük boyutlu bileşenlerin ait oldukları satırlara atanamamasından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, yöntemin hem matbu hem de el yazımı belgelerinden, farklı yazma koşullarında en az % 92 doğrulukta satırları ayırmayı başardığını göstermektedir.

Koo ve Cho (2012), düzensiz karakter boyutları, uzamsal değişiklik gösteren yazı yönelimi ve satırlar arasındaki girişimden dolayı satır bölütlemenin serbest el yazımı dokümanlar için hâlâ zorlu bir problem olduğunu belirtmektedirler. Satır çıkarımı işlemi bağlı bileşenlerin gruplanması problemi olarak düşünülmüştür. Satır bölütlemeye karşılaşılan problemlerin üstesinden gelinmesi için satırlar arasındaki etkileşimi ve her bir satırın eğriselliğini göz önünde bulunduran bir maliyet fonksiyonu önerilmiştir. Maliyet fonksiyonunun minimize edilmesi sonucunda metin satırları elde edilmektedir. Maliyet fonksiyonunun minimizeasyonu iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak aşağıdan yukarı gruplama ile kaba bir çözüm elde edilir. Daha sonra kaba çözüm iteratif bir şekilde küçük değişiklikler yapılarak iyileştirilir. Bu değişiklikler dört şekilde yapılmaktadır: birleştir, ayır, birleştir-ayır ve birleştir-birleştir-ayır. Birleştirme işleminde iki komşu satır bir satır olacak şekilde birleştirilir. Ayırma işleminde tek bir satır iki ayrı satır olacak şekilde ayrılır. Diğer işlemler de benzer şekilde tanımlanmıştır. Bitişik el yazımı ve Hintçe yazılarında çok yaygın bir durum olan az sayıda bağlı bileşen olduğunda yöntem başarısız olmaktadır. Bir satırda çok az sayıda karakterin bulunması durumunda iki komşu satır tek bir satır olarak algılanmakta ve hatalı bölütlenmektedir. Önerilen yöntem Çince el yazımı doküman imgeleri içeren HIT-MW veri seti üzerinde

test edilmiştir. Buna göre tespit oranı % 99.52 iken hata oranı % 0.32 olarak elde edilmiştir.

Ryu vd. (2014), el yazımı dokümanlar için dile bağımlı olmayan bir metin satırı çıkarımı algoritması önermişlerdir. Yöntem bağlı bileşen tabanlıdır ancak geleneksel yöntemlerin aksine vuruşlar ve eksik bölütlenmiş bağlı bileşenlerin normalize olanlara parçalanmış halleri analiz edilmektedir. Yöntem kısaca bağlı bileşenlerin çıkarılması ve onların gruplanarak satırların oluşturulması şeklinde özetlenebilir. Minimizasyonu sonucu satırların elde edildiği bir maliyet fonksiyonu oluşturulmaktadır. Önceki çalışmalarındaki yaklaşım uzamsal olarak değişen durumları (satırlar arası boşluklar ve yönelim) bağlı bileşenlerin dağılımından hesaplanmaktadır ve Latin tabanlı el yazımı içeren dokümanlarda başarılı sonuçlar vermemektedir. Ayrıca bölütleme başarısı çoğu karakterin birbirine bağlı olduğu Hintçe yazılarda daha kötüdür. Çince'nin yanı sıra diğer dillerde de çalışabilen bir yaklaşım için önceden önerdikleri yöntemlerini geliştirmişlerdir. Eksik bölütlenen bağlı bileşenler normalize olanlara parçalanarak etkili bir bağlı bileşen bölütleme yöntemi geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen bu yöntem enerji minimizasyonunda sorunlara yol açmıştır, çünkü parçalamadan dolayı bazen bağlantı bilgisi kaybolmaktadır. Bunu önlemek için enerji minimizasyon yöntemi de geliştirilmiştir. Yöntem bir satırın çok az sayıda bağlı bileşen içermesi ve/veya komşu satırların birbirine çok yakın olması durumunda başarısız olmaktadır. Önerilen yöntem ICDAR2013 el yazımı bölütleme yarışmasına katılan 10 yöntem arasında %98.64 tespit oranı ve %98.68 tanıma doğruluğu ile en iyi satır çıkarım performansını göstermiştir. Ayrıca yöntem HIT-MW veri seti üzerinde denendiğinde %99.78 tespit oranı ve % 99.88 tanıma doğruluğu elde edilirken ICDAR2009 veri seti üzerindeki test edildiğinde %99.60 tespit oranı ve %99.63 tanıma doğruluğu elde edilmiştir.

Saabni vd. (2014), otomatik metin satırı çıkarımı için dilden bağımsız bir yöntem sunmuşlardır. Önerilen yöntemle metin imgesinin enerji haritası hesaplanmakta, satırların üzerinden ve arasından geçen seam adı verilen çizgiler belirlenmektedir. Çalışmada ikili ve gri seviyeli imgeler için iki farklı algoritma geliştirilmiştir. İkili imgeler üzerinde çalışan ilk algoritma metin satırı boyunca bileşenlerin çıkarılabileceğini varsaymaktadır. Ön işleme adımında yüksekliği büyük (yüksekliği ortalama yüksekliğin önemli ölçüde üzerinde olan) dikey bileşenler, temas eden bileşenler olarak sınıflandırılır ve ortadan ayrılır. Seam ortadan ve metin satırı boyunca geçmekte ve o satırın kelime ve harflerini işaretlemektedir. Daha sonra işaretlenmemiş bileşenleri en yakın metin satırına atamaktadır. İkinci algoritma doğrudan gri seviyeli imgeler üzerinde çalışabilmektedir. Gri seviyeli imgeden uzaklık dönüşümünü hesaplar ve ortadaki seam ve ayırma seam'i olmak üzere iki çeşit

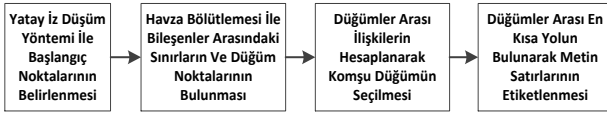
seam üretir. Ortadaki seam metin satırlarını tanımlamaktadır. Ayırma seam'i ise ortadaki seam'e göre belirlenir ve metin satırlarının alt ve üst sınırlarını tanımlamaktadır. İkili imgeler için önerilen algoritma ICDAR2009 el yazımı bölütleme yarışmasının veri seti ve 100 adet imgeden oluşan özel bir koleksiyon veri seti üzerinde test edilmiştir. Önerilen yöntem ICDAR 2009 veri setinde %98.5, özel koleksiyon veri setinde ise %98.85 başarı elde etmiştir. Hatalı sınıflandırmalar genellikle metin satırındaki kelimeler arasında büyük boşlukların olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum seam'in bir satırdan komşu satıra sıçramasına neden olmaktadır. Gri seviyeli imgeler için önerilen algoritmayı test etmek için farklı kaynaklardan toplanarak 215 tane el yazımı doküman imgesinden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Yapılan testlerde % 95.21 ve % 98.35 arasında bölütleme doğruluğu elde edilmiştir.

Han vd. (2017), spektral kümelemeye dayalı bir satır bölütleme algoritması önermişlerdir. Doküman imgesi ilk olarak ikili hale dönüştürülmekte, daha sonra piksel noktalarının bitişik matrisi hesaplanmaktadır. Bu benzerlik metriği üzerinde spektral kümeleme uygulanmaktadır. Metin satırlarını gruplandırmak için dikey k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemin kısıtlaması parametrelerin seçilmesi konusunda hassas olmasıdır. Ayrıca büyük veri setleri için hesaplama açısından karmaşıktır. Önerilen yöntem Çince el yazımı doküman imgeleri içeren HIT-MW veri seti üzerinde test edildiğinde, tespit oranı %95.42, tanıma doğruluğu %95.61 ve FM performans metriği %95.51 olarak elde edilmiştir.

Makalenin takip eden bölümlerinde çalışmada sırasıyla kullanılan yöntem izah edilmiş, veri seti ve performans metrikleri sunulmuş ve elde edilen sonuçlar verilerek yöntemin bölütleme başarısı tartışılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, el yazımı dokümanlardaki farklı davranışlara sahip satırları bölütleyebilen adaptif bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin en temel amacı el yazımı satırlar arasında elde edilebilecek en güvenli sınırın bulunarak her bir satırın kayıpsız bir şekilde elde edilmesidir. Satırları oluşturan karakterlere ait pikseller süperpiksel yapıları olarak kabul edilerek piksel kümeleri arasındaki en uygun sınırı bulabilen optimizasyon tabanlı adaptif bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen yöntem dört alt aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar Şekil 2'de verilmiştir. İlerleyen bölümlerde bu aşamalar ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.



Şekil 2. Önerilen yöntemin alt aşamaları

3.1. Yatay İzdüşüm Yöntemi

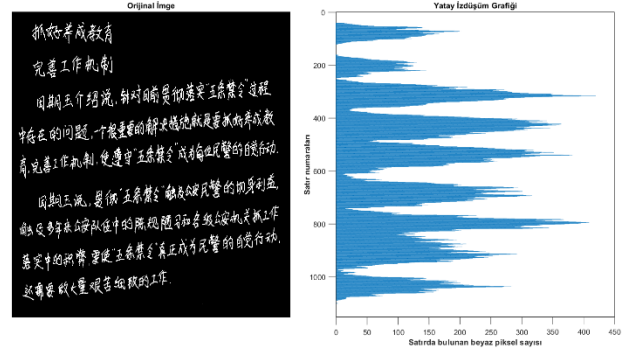
Bu aşamada temel amaç, her ardışık satır çifti için bölütleme işleminin başlatılacağı en uygun başlangıç konumlarının belirlenmesidir. Bu amaçla yatay izdüşüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni çalışmada kullanılan veri setlerinin ikili imge türünde olmasıdır. İkili imgede arka plan piksellerinin "0" ve metin içeren piksellerin "1" ile temsil edilmesi ile her satırdaki piksel değerleri toplanarak doküman imgesindeki arka plan ve metin içeren bölgeler tespit edilebilmektedir.

B, boyutları $M \times N$ olan ikili bir imge olmak üzere imgenin yatay izdüşümü $P_h[i]$ Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır. Burada i satırı, j ise sütunu temsil etmektedir (Hull, 1998).

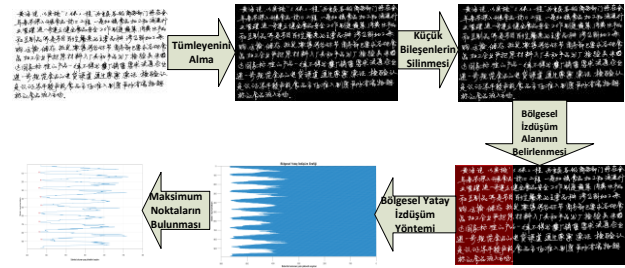
$$P_h[i] = \sum_{j=1}^N B(i, j) \quad (1)$$

Şekil 3'te bir el yazımı doküman imgesi için elde edilen yatay izdüşüm grafiği verilmiştir. Metin içeren piksellerin değeri "1" olacak şekilde imgenin tümleyeni alınmış ve sonrasında yatay izdüşüm grafiği elde edilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere arka plan bölgesine ait satırlarda bulunan piksellerin toplamı metnin bulunduğu satırlardakinden daha düşük değerdedir. Ayrıca eğik satırların olduğu durumlarda -matbu imgelerin aksine- satırların yata izdüşümde örtüşmesi nedeniyle güvenli bölgelerin tespiti kolay olmamaktadır. Dolayısıyla izdüşüm grafiğinde bölgesel minimum noktalarının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmada yatay izdüşüm yöntemi imgenin bütününe değil başlangıç noktasının istendiği tarafta belirlenen bir bölgeye uygulanmıştır. Bu sayede, bölgesel minimum noktalar daha etkili bir şekilde elde edilmiştir.

Komşu satırların birbirine temas etmesi durumunda satırlar arasındaki boşluk bölgesinin bulunması daha zordur. Ayrıca iki komşu satır arasındaki sınır çizgisinin bulunması için birbirine temas eden karakterlerin veya kelimelerin birbirinden ayrıştırılması gerekmektedir. Metin satırları arasındaki sınır çizgisinin bulunması için öncelikle sınır çizgilerinin başlangıç noktaları yatay izdüşüm yöntemiyle belirlenmiştir. Metin satırlarını ayıran sınır çizgilerinin başlangıç noktalarının bulunma aşamalarını anlatan akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

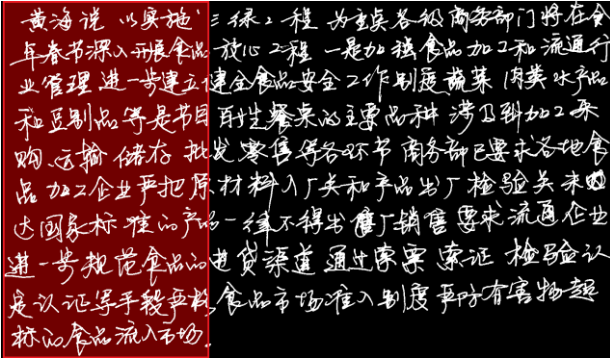


Şekil 3. Doküman imgesi ve yatay izdüşüm grafiği

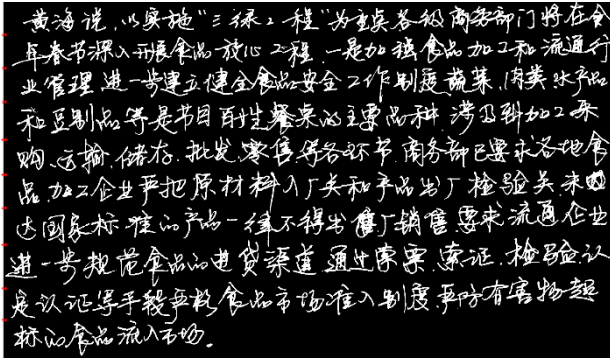


Şekil 4. Satırları ayıran çizgilerin başlangıç noktalarının bulunması

Doküman imgesindeki metinlerin yoğun olduğu bölgelerin tespit edilebilmesi için öncelikle doküman imgesinin tümleyeni elde edilmiştir. Yatay izdüşüm yöntemiyle belirlenen başlangıç noktalarının daha yüksek doğrulukta bulunabilmesi için imge içerisindeki gürültüler, noktalamalar ve vurgular gibi piksel sayısı 50'den daha az olan bağılı bileşenler geçici olarak silinmektedir. Böylece izdüşüm yöntemi daha etkili bir şekilde kullanılabilir. Doküman imgelerinde satırlar arasındaki eğiklik durumu, örtüşen satırlar ve birbirine temas eden satırlar bulunduğundan dolayı başlangıç noktalarının yüksek doğrulukta bulunması için yatay izdüşüm yöntemi bölgesel olarak uygulanmıştır. İzdüşüm yönteminin imgedeki hangi bölgeye uygulanacağını ayarlamak için imgedeki sütunlar taranarak yazıların bulunduğu ilk sütun bulunur. Bulunan bu sütun ile imgenin genişliğinin 1/3'ü kadar uzaklık arasında yatay izdüşüm yöntemi uygulanmıştır. Şekil 5'te doküman imgesi üzerinde yatay izdüşüm yönteminin uygulandığı bölge kırmızı dikdörtgen içerisinde belirtilmiştir. İmgenin bölgesel yatay izdüşümü elde edildikten sonra izdüşüm grafiğindeki tepe noktaları bulunur. Tepe noktalarının olduğu kısımlar en çok metin pikselinin olduğu satırları ifade etmektedir. Metin satırlarını ayıran bölge ise iki tepe noktasının arasındadır. Tepe noktalarının araları satırları ayıran çizginin başlangıç noktaları olarak seçilmiştir. Seçilen başlangıç noktaları doküman imgesi üzerinde Şekil 6'da en soldaki sütunda kırmızı renkli noktalarla belirtilmiştir.



Şekil 5. Yatay izdüşüm yöntemi uygulanan bölge

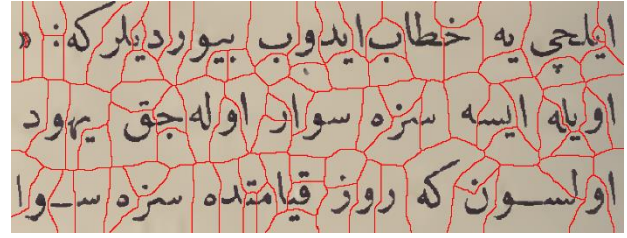


Şekil 6. Metin satırlarını ayıran çizgilerin başlangıç noktaları

3.2. Havza Bölütlemesi

İmgede bulunan pikseller renk, doku veya yoğunluk gibi özelliklerinin benzerliklerine göre gruplandırıldığında elde edilen yapılar süperpiksel olarak ifade edilmektedir. Süperpiksel algoritmaları, pikselleri anlamlı küçük bölgelere gruplamaktadır. Süperpiksel tabanlı yöntemler derinlik tahmini (Hoiem vd., 2005), imge bölütleme (Li vd., 2005; He vd., 2006; Zhang vd., 2014), vücut modeli kestirimi (Mori, 2005), nesne yerini belirleme (Fulkerson vd., 2009) gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. İmgedeki pikseller benzer özellikleri taşıyan piksellere gruplanarak anlamlı süperpikseller oluşturulmaktadır. Böylece daha sonraki aşamalarda hesaplama karmaşıklığı azaltılarak yöntemin daha hızlı çalışması sağlanmaktadır.

Metin içerisindeki harfler doğru bir şekilde gruplandırıldığında sözcükler ve uygun sözcükler gruplandırıldığında ise metin satırları elde edilebilmektedir. Örnek bir doküman imgesinin süperpikselle bölütlenmesi sonucu elde edilen imge Şekil 7'de verilmiştir. Burada kırmızı renkli çizgiler her bir süperpiksel bölgesinin sınırlarını belirtmektedir.



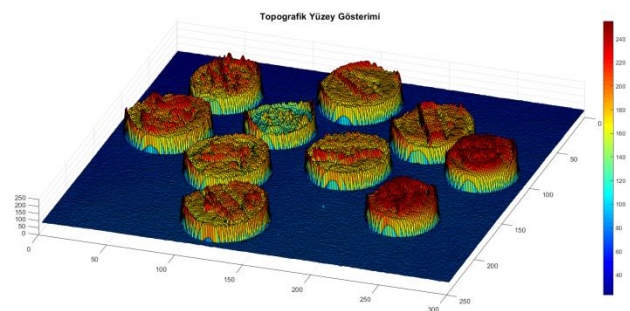
Şekil 7. Süperpikseller şeklinde bölütlenmiş doküman imgesi

Gri seviyeli herhangi bir imge topoğrafik bir yüzey olarak düşünülebilir. Topoğrafik gösterimde imgedeki madeni paraların olduğu açık renkli bölgeler daha yüksek piksel değerine sahip olup yükseltmeleri, koyu renkli bölgeler ise daha düşük seviyeli piksel değerine sahip olup havzaları temsil etmektedir. Böyle bir topoğrafik yüzeyde noktalar üç farklı durumda olabilirler. Bunlardan ilki bölgesel minimuma ait olan noktalardır. Diğerleri bu noktalara bir su damlası konulduğunda su damlası bir minimuma düşecektir. Belirli bir bölgesel minimum için, bu durumdaki nokta kümesine o minimumun havzası denilir. Son olarak ise bu noktalarda konulan suyun birden fazla minimuma eşit derecede düşebileceği noktalardır. Bu durumdaki noktalar topoğrafik yüzeyin tepe çizgilerini oluşturur ve havza çizgileri olarak adlandırılırlar.

Şekil 8'de verilen madeni paraların bulunduğu gri seviyeli imgenin topoğrafik yüzey olarak gösterimi Şekil 9'da verilmiştir.

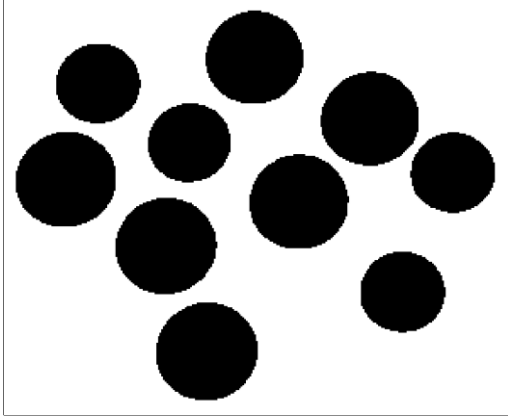


Şekil 8. Gri seviyeli imge

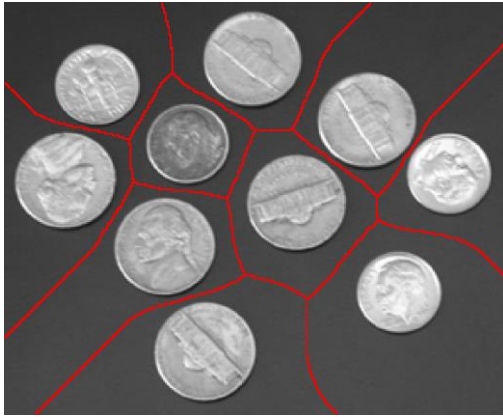


Şekil 9. Topoğrafik yüzey gösterimi

Şekil 8'deki imge ikili hale getirilip açma işlemi sonucunda Şekil 10'daki imge elde edilmiştir. Havza bölütlemesi sonucunda elde edilen bölütlenmiş imge ise Şekil 11'de verilmiştir. Burada kırmızı renkli çizgiler havza çizgilerini, bir başka deyişle süperpiksel sınırlarını belirtmektedir.



Şekil 10. İkili hale getirilen imge



Şekil 11. Havza bölütlemesi sonucu

Bu çalışmada süperpiksel algoritmalarından biri olan havza bölütleme algoritması kullanılmıştır. Havza bölütleme yönteminde bir imge yükseklik ve alçaklıklardan oluşan coğrafi bir yüzey gibi düşünülmektedir. Coğrafi yüzeyin yerel minimum noktalarından delinerek suya batırıldığı varsayılırsa, su bu yüzeyin en düşük seviyedeki noktasından itibaren dolmaya başlayarak farklı havzalara dolmaya devam edecektir. Farklı kaynaklardan gelen suların birleşmesini önlemek amacıyla, suların iki farklı havzadan gelerek birleşmek üzere olduğu bölgelere barajlar kurularsa, suya daldırma işleminin sonucunda minimumların her biri, bu minimumla ilişkili olan havzayı kapsayacak şekilde barajlarla çevrilmiş olacaktır. Su düzeyi bu coğrafi yüzeyin en yüksek noktasına ulaştığında bölütleme işlemi tamamlanmakta ve işlem sonlandırılmaktadır. İşlem sonucunda coğrafi yüzeyi farklı bölgelere ya da başka bir deyişle havzalara ayıran barajlara havza çizgileri adı verilmektedir. Bu havza çizgileri imgedeki bölgelerin sınır çizgilerini temsil etmektedir. Böylece

imge, havza çizgileri ve havzalar olmak üzere iki farklı kümeye ayrılmaktadır. Vincent ve Soille (1991), tarafından havza dönüşümünün suya daldırma benzetimine dayalı bir tanımı geliştirilmiştir.

İgri seviyeli bir imge olsun. I imgesinin en küçük ve en büyük yoğunluk değerleri sırasıyla h_{\min} ve h_{\max} olarak tanımlansın. h_{\min} değerinden h_{\max} değerine kadar değişen h gri seviye değeri ile bir özyineleme tanımlanmaktadır. Özyinelemenin başlangıcında X_h havza kümesi, h_{\min} değerindeki noktalar kümesine ($T_{h_{\min}}$) eşit olacak şekilde atanmaktadır. Daha sonra X_h havza kümesinin T_{h+1} eşik kümesi içerisindeki etki alanı ($IZ_{T_{h+1}(I)}(X_h)$) ardışık olarak genişletilir.

$$X_{h+1} = \text{MIN}_{h+1} \cup IZ_{T_{h+1}(f)}(X_h), \forall h \in [h_{\min}, h_{\max} - 1] \quad (2)$$

Eşitlik 2'de verilen MIN_h ifadesi, h yüksekliğindeki minimuma ait noktalar kümesini temsil etmektedir. Özyineleme işlemi sonucunda elde edilen $X_{h_{\max}}$, I imgesine ait havzalar kümesini vermektedir. Havza dönüşümü ise $X_{h_{\max}}$ kümesinin imge içerisindeki tümleyeni olarak bulunmaktadır.

Önerilen yöntemin uygulandığı veri setinde iki komşu satırın birbirine temas etmesi, örtüşmesi gibi durumlar olduğundan dolayı bu bölgelerde de satırlarını ayıran çizgilerin bulunabilmesi için havza bölütlemesi aşamasına geçilmeden önce bu bileşenler bölütlenmektedir. Doküman imgesindeki tüm karakterlerin yükseklik değerleri ve ortalama yükseklik değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra ortalama yükseklik değerinin iki katından daha yüksek olan bileşenler tespit edilip havza bölütlemesi yöntemiyle daha küçük parçalara bölünmektedir. Böylece metin satırlarını ayıran çizgiler, satırlar arasında temas etme durumu olsa bile temas eden bileşenler bölütlendiği için bu bölümden geçebilmektedir.

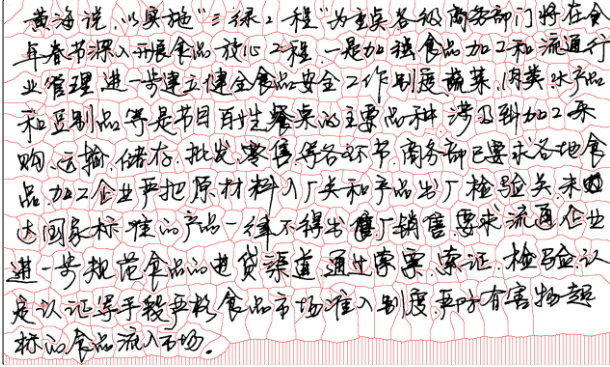
İkili seviyede bulunan doküman imgelerinde havza bölütlemesi yapabilmek için bir uzaklık dönüşüm matrisi hesaplanmaktadır. Uzaklık dönüşümü, siyah beyaz imgedeki her bir piksel için, bu piksel ile siyah beyaz imgedeki en yakın sıfır (beyaz) olmayan piksel arasındaki mesafe olan bir sayı atamaktadır. Uzaklık dönüşümünün hesaplanması ile ilgili bir örnek gösterim Şekil 12'de verilmiştir. Doküman imgelerinde en alt metin satırının da düzgün bir şekilde elde edilebilmesi için imgede en alt satıra geçici olarak yapay noktalar eklenmiştir. Doküman imgesinin uzaklık dönüşüm matrisi elde edilmiştir.

Elde edilen dönüşüm matrisine havza bölütlemesi uygulanmıştır ve elde edilen imge Şekil 13'te verilmiştir. Burada her bir bağlı bileşen farklı bir bölgede olacak şekilde bölge sınırları belirlenmiştir.

Her bir bölge piksellerden oluşan birer süperpiksel olarak adlandırmaktadır.

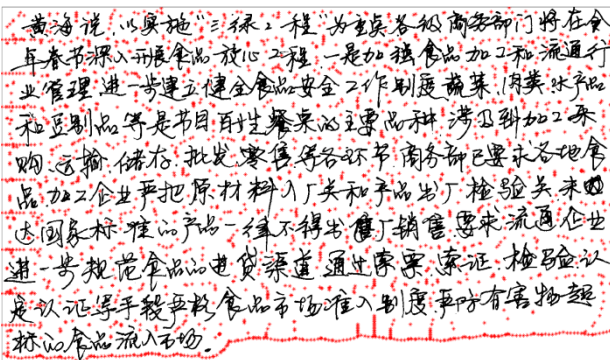
0	0	0	0	0	Uzaklık Dönüşümü	1.41	1.00	1.41	2.24	3.16
0	1	0	0	0		1.00	0	1.00	2.00	2.24
0	0	0	0	0		1.41	1.00	1.41	1.00	1.41
0	0	0	1	0		2.24	2.00	1.00	0	1.00
0	0	0	0	0		3.16	2.24	1.41	1.00	1.41
0	0	0	0	0						

Şekil 12. Uzaklık dönüşüm matrisinin elde edilmesi



Şekil 13. Havza bölütlemesi uygulanan imge

Havza bölütleme sonucunda elde edilen Şekil 13'teki görüntüde bulunan sınırlardaki üç veya daha fazla sınır çizgisinin birleştiği düğüm noktaları hesaplanmıştır. Bu noktalara metindeki düğüm noktalarını artırabilmek için sınır çizgilerinden örnek noktalarda eklenerek elde edilen düğüm noktaları imgesi Şekil 14'te verilmiştir. Başlangıçta sapma olmaması için başlangıç noktalarından itibaren her 10 sütunda bir olacak şekilde 9 adet düğüm noktası daha eklenmiştir. Ayrıca en alttaki metin satırını düzgün bir şekilde bulabilmek için havza bölütlemesinden önce en alttaki satıra yapay noktalar eklenmiştir. Böylece oluşan düğüm noktaları daha kullanışlı bir hal almıştır.



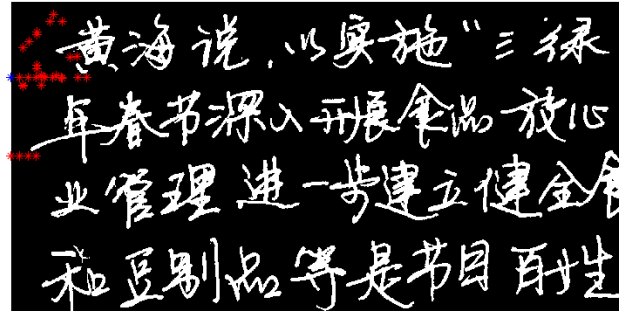
Şekil 14. Düğüm noktaları imgesi

3.3. Düğümler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

İmgedeki beyaz piksellerin kendine en yakın siyah pikselle olan uzaklıkları uzaklık dönüşümü ile elde

edilmiştir. Düğüm noktalarının uzaklık değerleri bu uzaklık dönüşüm matrisinden elde edilmiştir. Elde edilen bu uzaklık değerleri imgedeki piksellerin güvenlik değerleri olarak ifade edilebilir. Yani bir pikselin uzaklık değeri ne kadar yüksek ise kendisine en yakın yazı pikselinden o kadar uzaktır.

Her bir düğümün diğer düğümlere olan uzaklık değerleri öklid uzaklığı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu uzaklık değerlerine göre her bir düğümün kendisinden daha ileride(sağ tarafta) ve kendisine en yakın olan 30 adet düğüm noktası bulunmuştur. Şekil 15'te mavi nokta ile gösterilen başlangıç noktasına en yakın 30 düğüm kırmızı noktalarla gösterilmiştir.



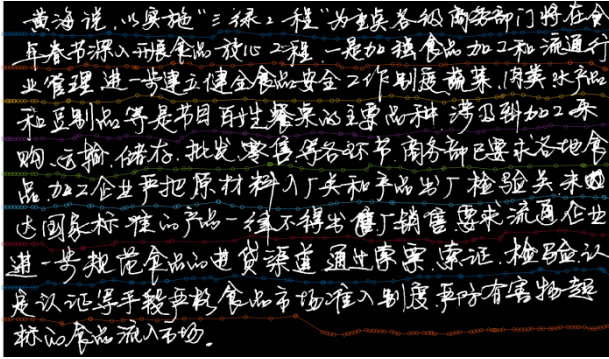
Şekil 15. Kendisine en yakın düğüm noktalarının elde edilmesi

Her bir başlangıç noktasından başlanarak daha sonra hangi noktanın seçileceği ile ilgili bazı parametreler hesaplanmaktadır. İlgili düğüm noktası ile en yakın komşu düğüm noktaları arasındaki açı değeri, dikey uzaklıklar ve yatay uzaklıklar hesaplanmaktadır. Daha sonra bu hesaplanan değerler ve daha önce elde edilen güvenlik değerlerine göre ilgili düğüm noktasından sonra hangi noktanın seçileceğine dair bir seçim fonksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan fonksiyon Eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$f(\alpha, Y, X, \beta) = w_1 \times (\alpha) + w_2 \times (Y) + w_3 \times (X) - w_4 \times (\beta) \quad (3)$$

Burada α değeri iki düğüm noktası arasındaki açı bilgisini, Y değeri düğümler arasındaki dikey uzaklığı, X değeri düğümler arasındaki yatay uzaklığı, β değeri düğüm noktasının güvenlik değerini belirtmektedir w_i değerleri ise ağırlık katsayıları olup her imge için boyut ve satırlar arası ortalama genişlik değerlerine göre optimize edilmektedir. Eşitlik (3) ile verilen seçim fonksiyonuna göre ilgili düğüm noktasıyla kendisine en yakın olan 30 nokta arasında açı değerleri, dikey uzaklık değerleri ve yatay uzaklık değerleri düşük, güvenlik değeri ise yüksek bir nokta seçilmesi hedeflenmiştir. Burada Seçim fonksiyonundan elde edilen değerlerden en küçük olan değer belirlenir ve bu değere göre düğüm noktası seçilir ve bu işlemler doküman imgesindeki en sağda bulunan sütuna kadar

devam etmektedir. Şekil 16'da her bir başlangıç noktasından satır sonuna kadar Eşitlik (3) ile verilen seçim fonksiyonuna göre seçilen düğüm noktaları gösterilmiştir.



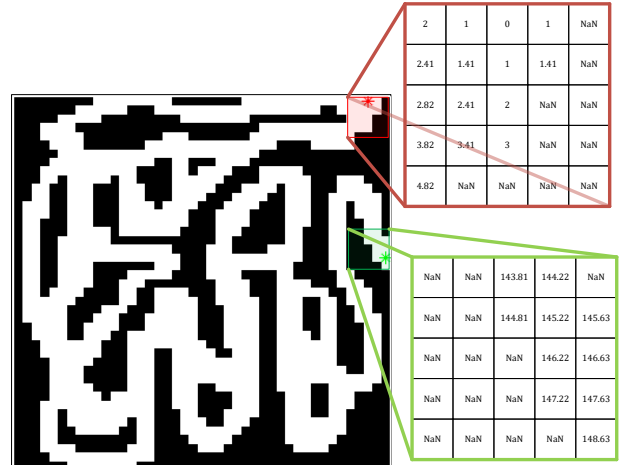
Şekil 16. Seçilen düğüm noktaları

3.4. Düğümler Arası En Kısa Yolun Bulunması

Başlangıç noktasından hedef noktaya en kısa yoldan gitmek için Şekil 14'te verilen ara düğümlerin tamamını kullanmak işlem sayısını artırmakta ve sistemin çalışma süresini uzatmaktadır. Bu yüzden başlangıç ve hedef noktaları arasındaki ara düğümlerin tamamı değil de aradaki 6 adet düğüm seçilmiştir. Başlangıç noktasından hedef noktaya giden en kısa yolu bulurken 6 adet durak noktasından geçecek şekilde en kısa yol bulunmuştur. İki nokta arasındaki en kısa yolu bulurken jeodezik uzaklık bilgisi kullanılmıştır (Soille, 2014):

$$d = \begin{cases} |x_1 - x_2| + (\sqrt{2} - 1)|y_1 - y_2|, & \text{eğer } |x_1 - x_2| > |y_1 - y_2| \\ (\sqrt{2} - 1)|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4)$$

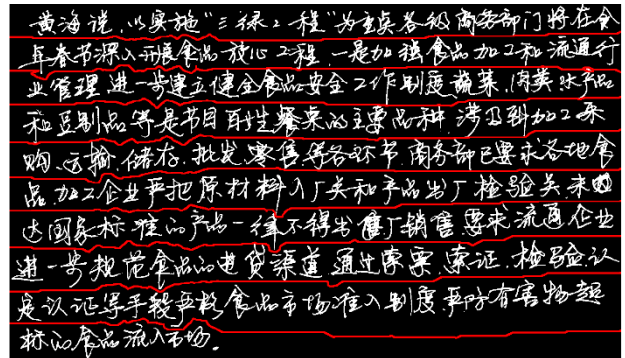
Doküman imgesi üzerinde başlangıç noktası için bir uzaklık matrisi hesaplanmıştır. Şekil 17'de verilen imgede başlangıç noktası kırmızı renkli yıldız, bitiş noktası ise yeşil renkli bir yıldız ile gösterilmiştir. Bu noktalar için hesaplanan uzaklık matrisinin küçük bir kısmı şekil üzerinde belirtilmiştir. Başlangıç noktası koordinatlarının olduğu matris elemanı 0 değeri alınırken diğer beyaz pikseller bu noktadaki piksele göre mesafe değeri alırlar, matristeki yazı piksellerine karşılık gelen yerlere herhangi bir değer atanmaz. Aynı şekilde hedef noktası için de benzer bir uzaklık matrisi hesaplanmakta ve bu iki matris toplanarak toplam uzaklık matrisi elde edilmektedir. Daha sonra başlangıç noktasından hedef noktaya giden en kısa yol bu toplam uzaklık matrisindeki değerlerden en küçük olanlar seçilerek bulunur. Şekil 17'deki imge için hesaplanan en kısa yol imge üzerinde Şekil 18'de verilmiştir. Şekil 16'da verilen Çince doküman imgesi için oluşturulan yollar Şekil 19'da kırmızı renkli çizgilerle gösterilmiştir. Böylece metin satırlarını ayıran sınır çizgileri bulunmuştur.



Şekil 17. Uzaklık matrisi gösterimi

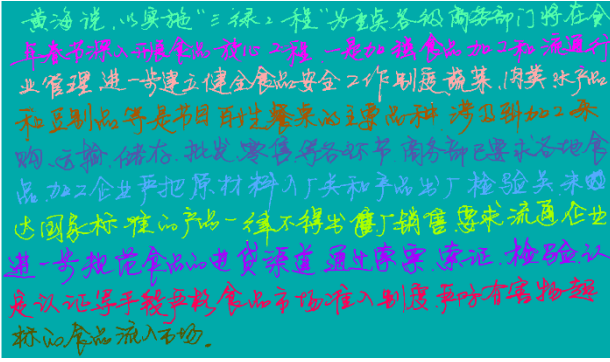


Şekil 18. Hesaplanan en kısa yol



Şekil 19. Metin satırları arasındaki sınır çizgileri

Satır çizgileri bulunduğundan sonra her bir sınır içerisindeki metin içeren piksellere farklı etiketler atanarak piksel seviyesinde etiketleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 16'daki doküman imgesi satırlarına bölümlendikten sonra piksel seviyesinde etiketlenip daha sonra ise renklendirilerek Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Piksel seviyesinde etiketlenmiş doküman imgesi

4. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada doküman imgelerinin satır bölütlemesi için geliştirilen algoritma Çince el yazımı dokümanları içeren büyük bir veri seti üzerinde uygulanmış ve literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. İlerleyen kısımda kullanılan veri seti ve yöntemin başarısının test edilmesi için kullanılan performans metrikleri açıklanmıştır. Daha sonra bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar açıklanarak diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

4.1. Veri Seti

Önerilen yöntem Harbin Teknoloji Enstitüsü tarafından toplanarak halka açık olarak kullanıma sunulan, çeşitli yazarlar tarafından yazılmış Çince el yazımı doküman imgelerinden oluşan geniş bir veri seti olan, HIT-MW veri seti (Su vd., 2007) üzerinde uygulanmıştır. Veri setindeki imgeler el yazımı karakter tanıma ve metin satırı bölütleme amacıyla kullanılan ikili doküman imgelerinden oluşmaktadır. Veri setinde satırlar arası boşluğun dar olduğu, eğimli metin satırlarının, farklı yazarlardan dolayı çeşitli yazı stillerinin bulunduğu, satırlar arası temas eden ve örtüşen bileşenlerin bulunduğu doküman imgeleri mevcuttur. Veri seti (<https://sites.google.com/site/hitmwdb/>) 780'den fazla yazar tarafından yazılmış 853 adet taranmış Çince doküman imgesini içermektedir. Doküman imgelerinde toplam 8673 adet metin satırı bulunmaktadır. Veri seti metin satırlarının kırılmış imge halinde kesin referanslarını da içermektedir. Önerilen yöntemin başarısının test edilebilmesi için piksel seviyesinde etiketlemeye dayalı performans metrikleri kullanıldığı için veri setindeki metin satırlarının da piksel seviyesinde etiketlenmiş verileri elde edilmiştir.

4.2. Performans Metrikleri

Önerilen yöntemin başarısının test edilebilmesi için ICDAR2013 El Yazımı Bölütleme Yarışması'nda (Stamatopoulos vd., 2013) da kullanılan performans metrikleri kullanılmıştır. Satır bölütlemesi için

önerilen yöntemin performansının değerlendirilmesi, algoritma tarafından bölütlenen metin satırları ve kesin referanstaki metin satırlarının piksel seviyesinde eşleşme miktarının sayılmasına dayanmaktadır. Eşleşmelerin tespiti için değerleri sonuç ve kesin referanstaki piksellerin kesişimini belirten bir Eşleşme Skoru tablosu kullanılmıştır. Buna göre I imgedeki tüm pikselleri belirten bir küme, G_j j. kesin referans bölgesindeki tüm pikselleri içeren bir küme, R_i ise i. sonuç bölgesindeki tüm pikselleri içeren bir küme olsun. $T(s)$ ise s kümesindeki pikselleri sayan bir fonksiyon olsun. EşleşmeSkoru(i,j) ifadesi i. sonuç bölgesi ve j. kesin referans arasındaki eşleşmeyi belirtir ve Eşitlik(5)'teki gibi ifade edilebilir.

$$EşleşmeSkoru(i, j) = \frac{T(G_j \cap R_i \cap I)}{T((G_j \cup R_i) \cap I)} \quad (5)$$

Bir bölge çifti, sadece değerlendiricinin kabul eşiği T_a 'ya eşit veya bundan daha fazla ise, bire bir eşleşme olarak kabul edilmektedir. Çalışmada T_a değeri 0.95 olarak seçilmiştir (Stamatopoulos vd., 2013). N kesin referans satırlarının sayısı, M sonuç satırlarının sayısı ve o2o ise bire bir eşleşen satır sayısı olsun, bu durumda tespit oranı (DR) ve tanıma doğruluğu (RA) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$DR = \frac{o2o}{N} \quad (6)$$

$$RA = \frac{o2o}{M} \quad (7)$$

Tespit oranı, kesin referansta verilen satırlardan ne kadarının doğru bir şekilde tespit edildiğini ifade etmektedir. Benzer şekilde tanıma doğruluğu ise doğru tespit edilen satırların sayısının bölütleme sonucunda elde edilen toplam satır sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Tespit oranı (DR) ve tanıma doğruluğu (RA) değerlerinin harmonik ortalaması olarak tanımlanan FM (F-Measure) performans metriği elde edilir:

$$FM = \frac{2 \cdot DR \cdot RA}{DR + RA} \quad (8)$$

FM ise kesin referans ve elde edilen sonuçlara göre yöntemin genel test başarısını ölçmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen metin satırı bölütleme algoritması için eşleşme skoru tabloları elde edilmiş ve eşleşme skoru değeri, 0.95 olarak belirlenen T_a eşik değerinden büyük olan metin satırları bire bir eşleşme olarak kabul edilmiştir. Bire bir eşleşme sayıları kullanılarak önerilen yöntemin performansının test edilebilmesi için tanıma doğruluğu, tespit oranı ve FM performans metriği değerleri elde edilmiştir.

4.3. Deneysel Sonuçlar

Çalışma kapsamında geliştirilen satır bölütleme algoritmasının HIT-MW veri seti üzerinde

uygulanarak performans metrikleri elde edilmiştir. Veri setindeki 853 doküman imgesi için kesin referansta 8673 adet metin satırı bulunmaktadır. Önerilen yöntemle tespit edilen satır sayısı 8706 adettir. Bir metin satırının bire bir eşleşme kabul edilebilmesi için eşik değeri 0.95 olarak alınmıştır. Buna göre bire bir eşleşen metin satırı sayısı 8502 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yöntemin tespit oranı % 98.03, tanıma doğruluğu % 97.66 ve FM metriği ise % 97.84 olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntem ve karşılaştırılan diğer yaklaşımların sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Karşılaştırma yapılan diğer yöntemlerin aksine önerilen yöntemde hatalı çıkan satırların bölütlenmesi için ayrıca bir işlem yapılmamaktadır.

Tabloda yer alan ilk altı çalışmada uzaklık metriği öğrenimi ve parametre ayarlaması için rastgele 50 imge seçilmiştir, bu imgeler 508 metin satırı içermektedir. Geriye kalan 803 imgede 8169 metin satırı bulunmaktadır. Doğru tespit edilen satır sayısının kesin referanstaki satır sayısına oranı tespit oranıdır. Tespit edilen satırlardan hatalı olanlarının sayısının tespit edilen satırlara oranı ise hata oranını

vermektedir.

Karşılaştırma yapılan yöntemler arasında en başarılı olan yöntemlerde bölütleme işlemi sonrası başarı oranını artıran ilave işlemler yapılmaktadır. Bu çalışmada son aşamada herhangi bir iyileştirme çalışması yapılmamış olup, bölütleme işlemi sonrası elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Tanıma doğruluğu sonuçlarının tespit oranı sonuçlarına kıyasla biraz daha düşük olması önerilen yöntemin bazı satırları bölütlerken ilave satırlar üretmesi ile açıklanabilir. Bu durumun iki temel nedeni vardır. Birincisi temas eden veya örtüşen satırların varlığıdır. İkinci neden ise aynı satıra ait karakterler arasındaki boşluğun ardışık satırlar arasındaki boşluktan daha fazla olduğu durumlardır. Bu durum yöntemin hatalı ilave satırlar üretmesine neden olmaktadır. Ancak tabloda verilen sonuçların ışığında önerilen yöntemin tespit oranı ve tanıma doğruluğu başarısının oldukça iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Önerilen yöntemin ve literatürdeki diğer yöntemlerin bölütleme başarıları

	Tespit Oranı (%)	Hata Oranı (%)	Tanıma Doğruluğu (%)	FM (%)
Yin ve Liu (2009) (işlem sonrası ile) (803 imge)	98.02	2.47	97.53	97.78
Yin ve Liu (2009) (işlem sonrası olmadan) (803 imge)	95.75	7.37	-	-
Nagy vd., (1992) (803 imge)	45.07	57.21	-	-
O’Gorman (1993) (803 imge)	65.38	44.38	55.62	60.11
Su vd., (2007) (803 imge)	55.34	23.33	-	-
Arivazhagan vd., (2007) (803 imge)	92.07	7.72	92.28	92.17
Ziaratban ve Faez, (2010) (853 imge)	98.34	-	-	-
Gao vd., (2011) (Ta = 0.9 853 imge)	98.68	-	98.76	-
Du vd., (2009) (853 imge)	95.92	3.14	96.86	96.39
Koo ve Cho, (2012) (853 imge)	99.52	0.32	-	-
Ryu vd., (2014) (853 imge)	99.78	-	99.88	99.83
Han vd., (2017) (853 imge)	95.42	-	95.61	95.51
Önerilen Yöntem (853 imge)	98.03	2.34	97.66	97.84

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada el yazımı doküman imgeleri için süperpiksel tabanlı bir satır bölütleme algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntem Çince el yazımı doküman imgelerinden oluşan büyük bir veri seti üzerinde uygulanmıştır. Farklı eğiklik açılara sahip, örtüşen veya birbirine temas eden bileşenlerin olduğu el yazımı dokümanlarda metin satırlarının bölütlenmesi problemini yüksek doğruluk oranı ile çözebilmektedir. Önerilen yöntem, temas eden ve/veya örtüşen karakterlerin olmadığı durumlarda kayıpsız bir şekilde bölütleme işlemini gerçekleştirmektedir. Ancak, temas eden ve/veya örtüşen karakterlerin varlığı, hatalı ilave satırların üretilmesine ya da satırların tespit edilememesine neden olabilmektedir ve bu durum da başarı oranını düşürmektedir ki bu durum imge analizi uygulamaları için genel bir problemdir. Gelecek çalışmalarda, önerilen yöntemin öncelikle temas eden ve örtüşen satırları kayıpsız bir şekilde bölütlemesini sağlayan bir algoritmanın geliştirilmesi ve çalışmanın etkili bir iyileştirme adımı ile desteklenmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ali Alper DEMİR tarafından Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÖZKAYA danışmanlığında yürütülen "Süperpiksel Tabanlı Satır Bölütleme" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi ÖYP Koordinasyon Birimi tarafından ÖYP06748-YL-16 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Adiguzel, H., Sahin, E., Duygulu, P., 2012. A Hybrid Approach for Line Segmentation in Handwritten Documents. In *Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)*, 2012 International Conference on (pp. 503-508). IEEE.

Alaei, A., Pal, U., Nagabhushan, P., 2011. A New Scheme for Unconstrained Handwritten Text-Line Segmentation. *Pattern Recognition*, 44(4), 917-928.

Arivazhagan, M., Srinivasan, H., Srihari, S. (2007, January). A statistical approach to line segmentation in handwritten documents. In *Document Recognition and Retrieval XIV* (Vol. 6500, p. 65000T). International Society for Optics and Photonics.

Ataer, E., Duygulu, P., 2006. Retrieval of Ottoman Documents. In *Proceedings of the 8th ACM International Workshop on Multimedia Information Retrieval (MIR '06)*. ACM, New York, NY, USA, 155-162.

Du, X., Pan, W., Bui, T. D. (2009). Text line segmentation in handwritten documents using Mumford-Shah model. *Pattern Recognition*, 42(12), 3136-3145.

Fulkerson, B., Vedaldi, A., Soatto, S. (2009, September). Class segmentation and object localization with superpixel neighborhoods. In *Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on* (pp. 670-677). IEEE.

Han, X., Yao, H., Zhong, G. (2017, February). Handwritten text line segmentation by spectral clustering. In *Eighth International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2016)* (Vol. 10225, p. 102251A). International Society for Optics and Photonics.

He, X., Zemel, R. S., Ray, D. (2006, May). Learning and incorporating top-down cues in image segmentation. In *European conference on computer vision* (pp. 338-351). Springer, Berlin, Heidelberg.

Hoiem, D., Efros, A. A., Hebert, M. (2005, July). Automatic photo pop-up. In *ACM transactions on graphics (TOG)* (Vol. 24, No. 3, pp. 577-584). ACM.

Hull, J. J. (1998). Document Image Skew Detection: Survey and Annotated Bibliography. *Document Analysis Systems II*, 40-64.

Koo, H. I., Cho, N. I. (2012). Text-line Extraction in Handwritten Chinese Documents Based on An Energy Minimization Framework. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(3), 1169-1175.

Li, Y., Sun, J., Tang, C. K., Shum, H. Y. (2004, August). Lazy snapping. In *ACM Transactions on Graphics (ToG)* (Vol. 23, No. 3, pp. 303-308). ACM.

Li, Y., Zheng, Y., Doermann, D., Jaeger, S. (2008). Script-Independent Text Line Segmentation in Freestyle Handwritten Documents. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(8), 1313-1329.

Likforman-Sulem, L., Hanimyan, A., Faure, C. (1995, August). A Hough Based Algorithm for Extracting Text Lines in Handwritten Documents. In *Document Analysis and Recognition, 1995., Proceedings of the Third International Conference on* (Vol. 2, pp. 774-777). IEEE.

Louloudis, G., Gatos, B., Pratikakis, I., Halatsis, K. (2006, October). A Block-Based Hough Transform

- Mapping for Text Line Detection in Handwritten Documents. In Tenth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition. Suvisoft.
- Louloudis, G., Gatos, B., Pratikakis, I., Halatsis, C. (2008). Text Line Detection in Handwritten Documents. *Pattern Recognition*, 41(12), 3758-3772.
- Nagy, G., Seth, S., Viswanathan, M. (1992). A prototype document image analysis system for technical journals. *Computer*, 25(7), 10-22.
- O'Gorman, L. (1993). The document spectrum for page layout analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(11), 1162-1173.
- Ryu, J., Koo, H. I., Cho, N. I. (2014). Language-Independent Text-Line Extraction Algorithm for Handwritten Documents. *IEEE Signal Processing Letters*, 21(9), 1115-1119.
- Saabni, R., Asi, A., El-Sana, J. (2014). Text Line Extraction for Historical Document Images. *Pattern Recognition Letters*, 35, 23-33.
- Soille, P. (2013). *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Stamatopoulos, N., Gatos, B., Louloudis, G., Pal, U., Alaei, A. (2013, August). ICDAR 2013 handwriting segmentation contest. In *Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2013 12th International Conference on* (pp. 1402-1406). IEEE.
- Su, T., Zhang, T., Guan, D. (2007). Corpus-based HIT-MW database for offline recognition of general-purpose Chinese handwritten text. *International Journal of Document Analysis and Recognition (IJ DAR)*, 10(1), 27.
- Vincent, L., Soille, P. (1991). Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, (6), 583-598.
- Yin, F., Liu, C. L. (2009). Handwritten Chinese text line segmentation by clustering with distance metric learning. *Pattern Recognition*, 42(12), 3146-3157.
- Zhang, L., Gao, Y., Xia, Y., Lu, K., Shen, J., Ji, R. (2014). Representative Discovery of Structure Cues for Weakly-Supervised Image Segmentation. *IEEE Trans. Multimedia*, 16(2), 470-479.
- Ziaratban, M., Faez, K. (2010, August). An adaptive script-independent block-based text line extraction. In *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on* (pp. 249-252). IEEE.



INVESTIGATION AND DESIGN OF AN ACTIVE CELL BALANCING SYSTEM FOR LI-ION BATTERIES

E. Derun KARABEYOĞLU¹, Eda GÜZEL², Halis KILIÇ², Baykal SARIOĞLU³, Y. Dağhan GÖKDEL³, Mustafa Fazıl SERİNCAN^{4*}

¹Istanbul Technical University, Department of Electronics and Communication Engineering, Istanbul, Turkey

²Gebze Technical University, Department of Electronics Engineering, Kocaeli, Turkey

³Istanbul Bilgi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul, Turkey

⁴Gebze Technical University, Department of Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey

Keywords

Lithium-ion Battery,
Cell Balancing,
Battery Management
System,
Active Cell Balancing,
Buck Boost Converter.

Abstract

A type of active battery cell balancing system based on buck-boost converters is proposed in this study. By using equivalent circuit model of the battery cells, proposed active balancing circuit is examined in detail. An algorithm is developed to actively control the balancing operation. The algorithm is also utilized to prevent any failures in the balancing operation. The proposed system is simulated under low and heavy load. The simulation results indicates that 25 mV imbalance between potentials of two battery cells can be balanced out in approximately 147 seconds under low load and in 127 seconds under high load.

Lİ-İYON BATARYALAR İÇİN AKTİF HÜCRE DENGELEME SİSTEMİ İNCELEMESİ VE TASARIMI

Anahtar Kelimeler

Li-İyon Batarya,
Hücre Dengeleme,
Batarya Yönetim Sistemi,
Aktif Dengeleme,
Azaltan Arttıran Dönüştürücü.

Öz

Bu çalışmada lityum iyon bataryalar için gerilim azaltan-arttıran dönüştürücü tabanlı bir aktif hücre dengeleme sistemi önerilmektedir. Aktif hücre dengeleme devresi batarya hücreleri için eş değer devre modeli kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Dengeleme işlemi aktif olarak kontrol eden bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma dengeleme sürecinde oluşacak hataları önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Önerilen sistemin düşük ve yüksek yük altında çalışma durumları için benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre farklı şarj durumlarındaki iki hücre arasındaki 25 mV'lık fark düşük yük altında yaklaşık olarak 147 saniyede, yüksek yük altında 127 saniyede dengelenmektedir.

Alıntı / Cite

Karabeyoğlu E.D., Güzel E., Kılıç H., Sarioğlu B., Gökdel Y.D., Serincan M.F. (2019). Investigation and Design of an Active Cell Balancing System for Li-ion Batteries, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 869-877.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.D. Karabeyoğlu, 0000-0002-5760-4353
E. Güzel, 0000-0001-5114-4950
H. Kılıç, 0000-0001-8956-8572
B. Sarioğlu, 0000-0002-7433-3823
Y.D. Gökdel, 0000-0003-4634-4733
M.F. Serincan, 0000-0003-3525-2390

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.04.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.06.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Battery technology is attracting attention increasingly due to the development of energy applications such as electric vehicles (EVs) and smart grids. For many years, various type of batteries have been used such as nickel-cadmium and lead acid. Today, lithium-ion technology is the fastest growing and most promising battery chemistry. Lithium-ion batteries stand out

among others with the features of low self-discharge rate, higher energy density, higher power density and slow loss of charge when not in use (McDowall vd., 2002; D. S. Repila and J. E. W. Poxon, 2006; Y. Lee and M. Cheng, 2005; M. Ki m vd., 2014; H. Park vd., 2007). On the other hand, lithium-ion batteries pose some safety risks and their performance is sensitive to overcharging and overheating (McDowall vd., 2002; D.

* İlgili yazar / Corresponding author: mfserincan@gtu.edu.tr, +90-262-605-2779

S. Repila and J. E. W. Poxon, 2006; Y. Lee and M. Cheng, 2005; M. Kim *et al.*, 2014; H. Park *et al.*, 2007).

Single lithium-ion cell requires monitoring in order to prevent cell voltage from exceeding predefined limits of the chemistry. In practical applications, multiple battery cells are connected in series to obtain sufficient supply voltage values. Manufacturing inconsistencies, differences in self-discharge rate, cell capacity reductions with aging, thermal runaways and different cell impedance values can be listed as the main reasons for the differences between cell voltages (Jian Cao *et al.*, 2008; M. Daowd *et al.*, 2011; W. F. Bentley, 1997). Although all of the batteries in a battery pack initially have almost the same capacity, voltage and internal resistance, the performance of the package varies depending on the performance of the cells. Some cells are rapidly discharged and some cells are slowly discharged, causing voltage and capacity imbalance. The imbalances among cells cause serious failures. Over time, accelerated capacity degradation can be observed in a battery pack. Also, there might be incomplete charging and discharging of the pack. Assuming one cell is fully charged before the others then the battery protector stops charging the entire pack. In this case, the other cells which are not fully charged yet cause the battery pack having less energy than its rated capacity. On the other hand, if one particular cell is fully discharged before the others, the battery protector ceases operating while the capacity in the other cells are not fully utilized. Therefore, a cell balancing circuit considerably increases the battery performance and the life time.

The system containing the cell balancing circuit is called the battery management system (BMS). The battery management system consists of an electronic system that manages battery cells. A battery management system has a circuit and an algorithm that can start or finish balancing by monitoring the voltage of the cells in the battery pack in order to balancing between the cells. It also can activate the required cooling system by monitoring the temperature of the cells.

Balancing circuit topologies can be categorized as passive balancing and active balancing.

In passive balancing, cells are balanced by disposing the energy in the higher cells via a resistance. This method is relatively simple and easy to implement but the release of energy as heat makes it harder to control thermal runaways. This technique is also favorable in low-cost system applications (M. Kim *et al.*, 2014; H. Park *et al.*, 2007; Jian Cao *et al.*, 2008; W. Lee *et al.*, 2011; A. Baughman and M. Ferdowsi, 2005; Carmelo Speltino *et al.*, 2010; M. Daowd *et al.*, 2011; K. Zhi-Guo *et al.*, 2006).

The more sophisticated active cell balancing method can transport the energy from one cell to another, from one cell to battery pack or from the battery pack

to a particular cell by using energy converters, transformers, inductors and/or capacitors as charge storage components (M. Daowd *et al.*, 2011; K. Zhi-Guo *et al.*, 2006).

As an active balancing method, capacitive cell balancing utilizes external energy storage devices, capacitors for shuttling the energy between the cells (A. Baughman and M. Ferdowsi, 2005; Carmelo Speltino *et al.*, 2010; M. Daowd *et al.*, 2011; K. Zhi-Guo *et al.*, 2006). This method can be categorized into four topologies; (1) the switched capacitor, (2) single switched capacitor, (3) double-tiered capacitor and (4) modularized switched capacitor topologies. This balancing method provides easy control and small energy loss. However, it requires longer balancing durations. Additionally, to reduce resistive losses and make balancing faster, large capacitors must be used which eventually increases the overall size of the system.

In inductive cell balancing method, inductors or transformers are used to transfer the energy between different cells in the pack (M. Daowd *et al.*, 2011; K. Zhi-Guo *et al.*, 2006; P. Sang-Hyun *et al.*, 2007; S. Li *et al.*, 2013; Markus Einhorn *et al.*, 2011). Equalization time with this method is much faster than that with the capacitive cell balancing method. The main drawbacks of this method are not being able to work in high frequencies and low efficiency due to magnetic losses.

Energy converters used for cell balancing split in several categories such as; buck-boost (C. Moo *et al.*, 2003; Juan Zhao *et al.*, 2003), fly back (C. Bonfiglio and W. Roessler, 2009; XueZhe Wei *et al.*, 2009), ramp (T. Stuart and Z. Ye, 1996) and full-bridge (L. Maharjan *et al.*, 2009). It is an important parameter with the control of the balancing process. They have good balancing times and little energy loss.

This paper aims first to show how proposed balancing circuit works with a control algorithm that prevents any failure for lithium-ion batteries. As a second goal, design process of the circuit and cell behaviors under different loads during balancing are intended to be conveyed to the reader. In this study;

- Reliable modelling development has been constructed based on cell experiment.
- Parameter selection was performed for the optimized performance.
- A novel control algorithm was developed.
- Small balancing time, compactness, modularity and low cost design is suggested.
- Experimental study based on selected parameters is continuing.

The study is organized as follows: Section 2 provides a meaningful model for the battery cells. In Section 3, operation principle of the proposed balancing circuit is analyzed. Design parameters and control algorithm

of the circuit is thoroughly explained in Section 4. Subsequently, simulation results are determined in Section 5. Finally, following sections 6 includes conclusion.

2. Battery Cell Model

Developing a good understanding of cell behavior is critical when designing energy storage systems for electric applications. There are several ways to model a battery, however, equivalent circuit model (ECM) is an effective way to simulate the real performance of a battery by building circuit with using electrical components such as voltage sources, resistors and capacitors. In this paper, the model consists of an ideal voltage source V_{oc} that represents the open-circuit voltage of the battery cell, a series resistance as an internal resistance of the cells and a parallel RC network in order to describe the battery transient response during charging and discharging as illustrated in Fig.1 (Dazhong Mu vd., 2013).

In the equivalent circuit model given in Figure 1: R_0 shows the internal resistance of the non-charged battery, the RC parallel equivalent $R_1//C_1$ (R_1 equivalent polarization resistance and C_1 equivalent polarization capacitor) indicates the temporary state of the battery during charge / discharge. $V_{oc}(t)$ is a non-linear function of SoC (t). Using Kirchhoff's law, the dynamics of the circuit can be expressed as follows:

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot V_c(t) + \frac{1}{C_1} i_b(t) \tag{1}$$

$$V_b(t) = V_{oc}(t) - V_c(t) - R_0 i_b(t) \tag{2}$$

In the model given in Fig.1, the equivalent circuit parameters R_0 , R_1 and C_1 are the functions of SoC and temperature.

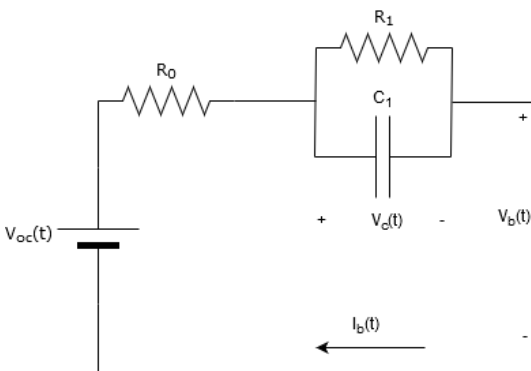


Figure 1. Equivalent circuit model of the battery.

The experimental data was obtained by testing Panasonic 18650GA 3.45 Ah lithium-ion battery cells. ARBIN BT2000 Battery Tester and temperature chamber offer to run tests at desired pulsed current discharge rate and controlled temperature

environment. As shown in Fig.2, 3.45A pulsed current was applied 19 times. 69500 point data was taken to get accurate battery voltage.

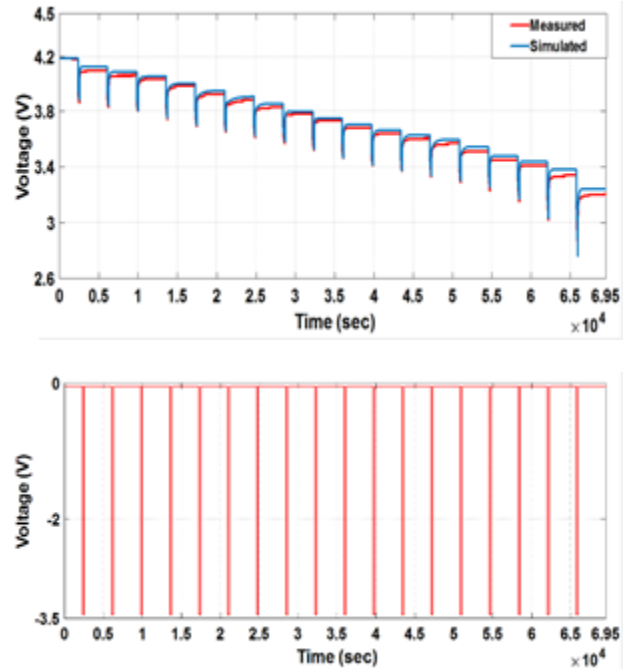


Figure 2. Experimental and simulated data of the battery cell voltage in 1C discharging at 20°C.

To extract the value of the model components, MATLAB/Simulink estimation tool is used. All components are functions of SoC and aging effect is neglected. The estimated parameters at 20°C are shown in Fig.3.

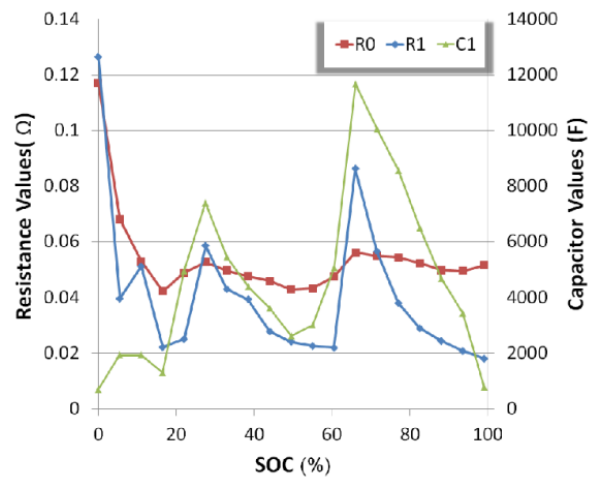


Figure 3. Extracted estimation parameters.

To validate model results, the error between measured and estimated cell voltage under the pulsed and continuous loading conditions is observed as depicted in Fig.4. The error percentage is below 2% between 20% and 100% SoCs.

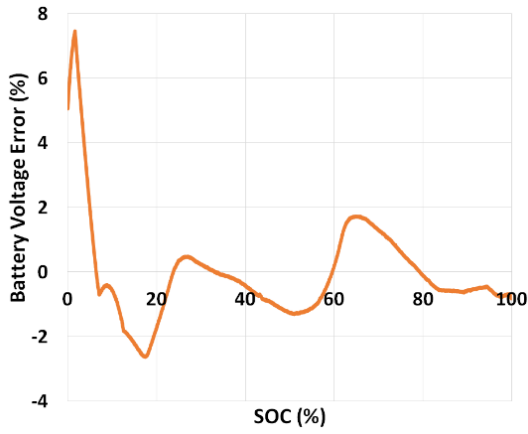


Figure 4. Comparison between model and experimental of cell's voltage.

3. System Description and Operation Principle

The proposed cell balancing circuit is shown in Fig.5. The circuit contains two capacitors, an inductor, two diodes and two switches for two battery cells. The proposed system can be used for any chemical cell characteristics and different number of cells. Moreover, there are no limits on high or low current values. The energy can only shuttle between adjacent cells bidirectional (Moran, J, 2009).

In charging and discharging operations, there are always slight differences among the cells in use. Balancing the battery cells continuously can be expensive and ineffective due to resistive losses and current drawn by the control algorithm. Therefore, the balancing circuit begins charge distribution once the voltage difference between any two cells exceeds the predetermined threshold voltage.

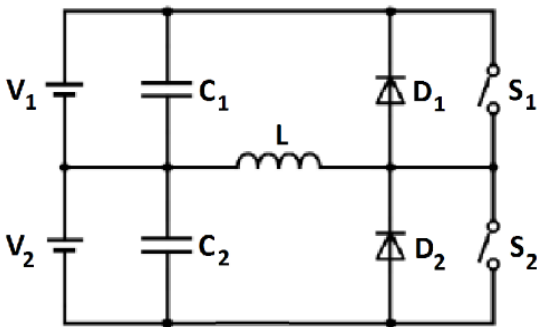


Figure 5. Proposed cell balancing circuitry.

Inductors are the main storage components of the circuit which transfer energy from higher energy to lower energy cells. After detecting higher and lower energy cells, the switch which is parallel to the higher energy cell is closed. The inductor located between the balancing cells, is charged through capacitor of higher energy cell as illustrated in Fig.6. The peak current on the inductor at t_{on} is;

$$I_{PEAK} = \frac{V_{higher} - dV_c}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t_{on}}{L/R}}) \tag{3}$$

where V_{higher} , dV_c , L , R and t_{on} denote the voltage of higher energy battery cell, ripple voltage, inductance value, sum of the resistive losses and the interval of time during the switch is closed, respectively.

From (3), in order to transfer more energy in one cycle, switch should be in close-state for a larger amount of time and should have lower total resistance values. However, ripple voltage on cells must be considered. During balancing, large increment and decrement occurring on cell voltages may ruin the battery performance and battery life time.

$$dV_c = I_{av} \frac{t_{on}}{C} \tag{4}$$

where C is capacitor value and I_{av} is the average current on the inductor which can be expressed as;

$$I_{av} = \frac{1}{2} \frac{I_{PEAK} \cdot t_{on}}{t_{period}} \tag{5}$$

Thus, the ripple voltage can be rewritten as;

$$dV_c = \frac{1}{2} \frac{I_{PEAK} \cdot t_{on}^2}{C \cdot t_{period}} \tag{6}$$

From (6), ripple voltage is directly related to square of the switch closed time and peak current. By selecting a large capacitor value, we can pull ripple voltage back in safe margins. Ripple voltage and the saturation current of the inductor are limiting factors defining how much charge can be transferred in a cycle.

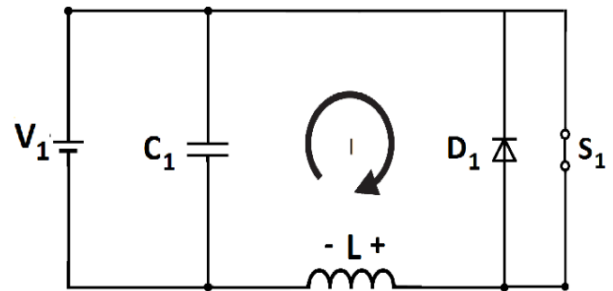


Figure 6. Cell balancing circuit while charging inductor.

In the subsequent cycle, the closed switch is opened as shown in Fig.7. The diode which parallels to the lower energy cell is forward biased thus polarization of the inductor is changed with the applied negative voltage.

The inductor discharges into lower energy battery cell through the capacitor. The voltage on the inductor;

$$V_L(t) = L \frac{dI_L}{dt} = L \frac{\Delta I_L}{t_{on}} = V_{lower} + V_f - V_{indloss} \tag{7}$$

where V_{lower} , V_f , $V_{indloss}$ and t_{off} refers to voltage of lower cell, forward bias voltage of the diode, voltage loss on the inductor and the interval of time through which switch is closed, respectively.

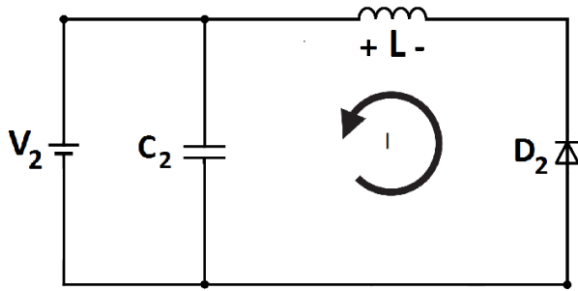


Figure 7. Cell balancing circuit while charging low energy cell.

Then, t_{off} can be calculated as:

$$t_{off} = L \frac{I_{PEAK}}{V_{lower} + V_f - V_{indloss}} \quad (8)$$

Finally, in order to make sure that inductor is fully discharged into low energy battery cell, some redundant time $t_{redundancy}$ should be added when calculating the total period of the switching time. Otherwise, the remaining energy on the inductor from the previous cycle may cumulatively cause exceeding the predetermined balance current. Thus, the inductor may be damaged or after number of cycles, the ripple voltages on cells may reach dangerous levels. Furthermore, $t_{redundancy}$ relaxes capacitor value.

$$t_{period} = t_{on} + t_{off} + t_{redundancy} \quad (9)$$

4. Design Process

Cell balancing circuits need precise trigger points to accurately operate. With the help of gauge cells, the battery cells can be protected and the circuit is controlled. However, measuring operation has some critical points. In voltage based balancing algorithms, voltage difference between battery cells increases and decreases during one balancing cycle. Monitoring battery cell voltages during the balancing process may stop or reverse the balancing direction as shown in Fig.8(a) and 8(b). In Fig.8(a), initially the battery cell voltages are measured as V_{oh} and V_{ol} . If V_{oh} and V_{ol} difference is higher than $V_{threshold}$, balancing starts. From start to t_{on} , V_{oh} ripples through lower voltage level whereas V_{ol} stays at same voltage level therefore the voltage difference may become smaller than $V_{threshold}$ and the operation automatically stops. In another case that is depicted in Fig.8(b), the ripple voltage is considerably high, V_{ol}' might be much higher than V_{oh}' between t_{on} and t_{period} . Thus, balancing direction becomes reversed and the operation fails.

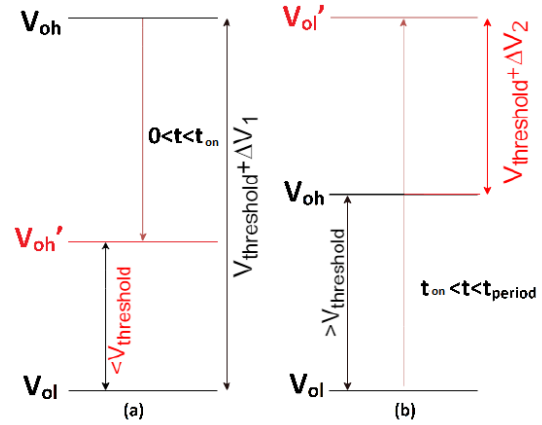


Figure 8. Cell voltages representation in some possible cases.

As an example, a simulation result in Fig.9, proves that voltage difference may become lower than reverse threshold level during balancing process. On the other hand, because of settling time of cell voltages during this process, cells sometimes could not reach their actual values in just one period. Fig. 9 shows that the voltage difference is not the same with actual voltage level during balancing process if $t_{redundancy}$ is kept insufficiently small. That's why, measuring cells' voltages at which level has an important effect on cell balancing circuit.

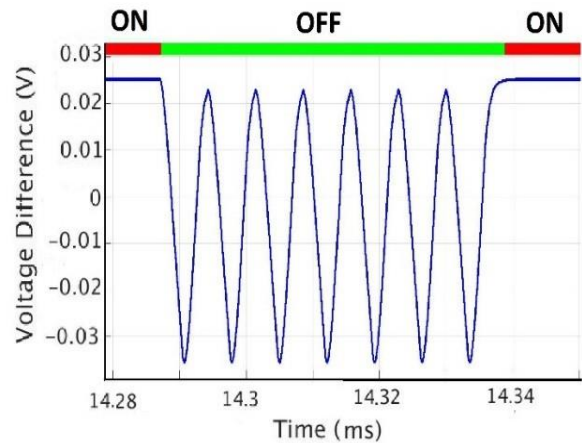


Figure 9. An example of voltage difference between cells.

In this study, the battery cell voltages are measured just once at the end of each predetermined cycle. If cells are unbalanced, the balancing operation lasts until the cycle counter is equal to a specific cycle number and subsequently the balancing operation is forced to stop for a specific interval of time. Meantime, battery cell voltages are measured at the end of the delay where they reach to the actual voltage level. Sampling voltage differences in such periods provide easy control. The flowchart of the operation is given in Fig.10. At the start, system measures the voltage levels of all the related cells. Following to that, system checks whether the predefined threshold is exceeded or not. If battery cells need balancing the system does not monitor cell voltages during the sixty seconds cycle, it

only balances the cells. Following to that, during sixty seconds the system goes to rest and the cells are not in balance. When the determined cycle number is reached, the whole operation returns to beginning.

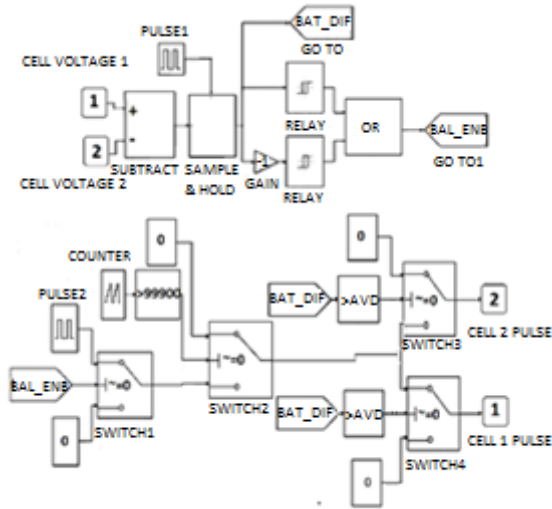


Figure 11. Simulink model of the control algorithm.

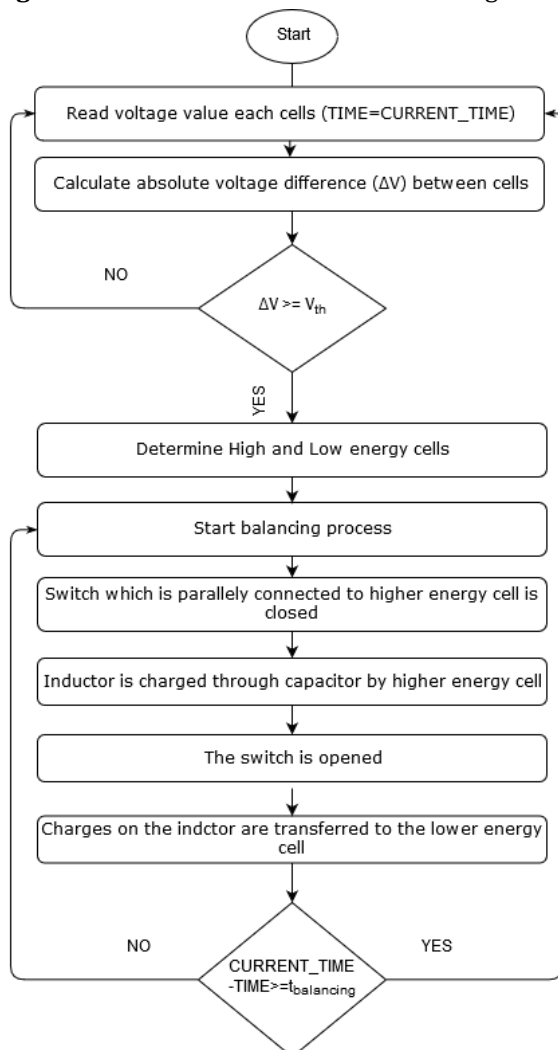


Figure 10. Flowchart showing the algorithm of the cell balancing procedure.

A Simulink model is developed to control switches. The model simply samples the voltage difference at the end of the 100000th multiples of t_{period} . Using relay block, not only the threshold level but also the acceptable voltage difference (AVD) is defined. AVD parameter is used to precisely determine the moment when the cell balancing process is not necessary any longer. In the case of results of any relay blocks are 1, balancing enables. Counter and compare blocks stop the balancing process for the last 100 cycle of the process in order to be able to precisely collect measurement data. If the difference exceeds over threshold, depending to the sign of the difference, model gives proper pulse signals to the switches.

In order to successfully design the proposed system, some of the parameters are needed to be preassigned to get targeted performance from the system. Firstly, the peak current and the value of the inductor should be specified depending on the capacity of the battery cells. Since peak current reaches maximum value where high cell voltage is fully charged, the calculation of the inductor current should be made under this circumstances. Thus, designer guarantees to not exceed the saturation current of the inductor. As a last input, allowable ripple voltage should be set. At this point, t_{off} from (8) can be found. As mentioned earlier, $t_{redundancy}$ relaxes some design parameters. However, it can be taken as 0 to keep balancing time small as possible. By observing (3), t_{on} is reversely proportional to low cell voltage. So, it also should be put in the formula where low cell voltage is fully discharged. Later on, t_{period} can be found from (9). Since dV_c is known, required capacitor value also can be calculated from (4).

Parameters are determined as in Table 1. Switch resistance is referenced from IRF3206PbF N-channel Power MOSFET. The usage of Schottky diodes and ceramic capacitors are assumed due to low forward bias voltage and low value of the internal resistances.

Table 1. Design Parameters.

PARAMETERS	VALUE	UNIT
L	4.7	μH
C	10	μF
DUTY CYCLE	%45	-
T _{PERIOD}	11.23	μs
V _F	0.5	V

5. Simulation Results

As a simulation environment, MATLAB/Simulink is used with SimScape tools. Simulation is made for 3.45 Ah 3.6V nominal Panasonic 18650GA Li-Ion cells. The simulations are made under the condition of heavy load and very low load to observe behavior of the cells

easier. For this simulation, maximum voltage difference is 50 mV and acceptable voltage difference is 25mV. The voltage of the top cell is accepted as high energy cell for this simulation.

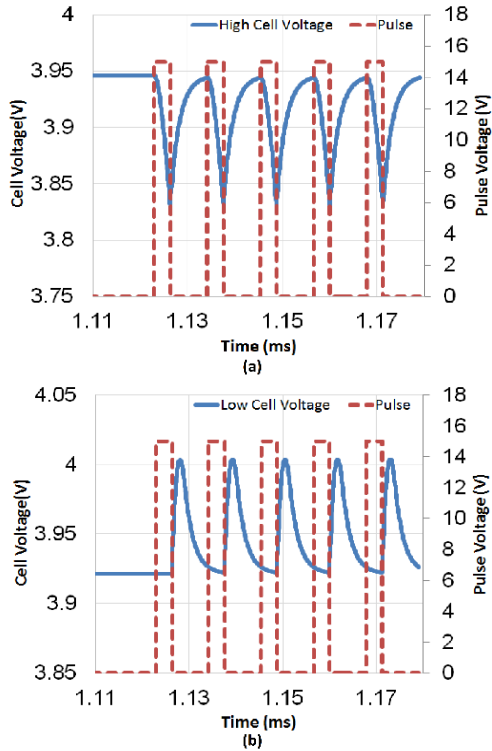


Figure 12. (a) High cell and switch control voltages. (b) Low cell and switch control voltages.

In Fig.12 (b), low cell voltage and switch control voltage are plotted. When the switch is closed, low cell keeps its voltage. When the switch is opened, low cell gains some energy from the inductor instantaneously.

As illustrated in Fig.13, the inductor is charged during t_{on} and discharging during t_{off} . The total area under the current on the inductor shows how much charge is transferred in a cycle. As seen from (3), the current on the inductor or also called as the balancing current is dependent on the cell voltage which charges the inductor. Since balancing system is only activated in the range of 2.8V and 4.2V of cell voltages due to keep them in safe levels, maximum balancing current is reached where high cell is at 4.1V. In this case, the maximum balancing current is chosen 4.1A. The simulation results shows the peak current is approximately 4A for given cell voltages.

While inductor discharging, the current of the diode that locates parallel to lower cell, tells us the diode turns current direction to the lower cell as shown in Fig.14.

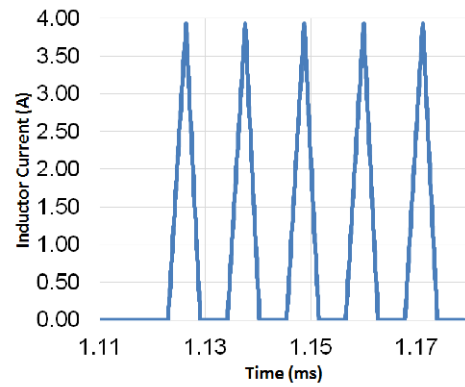


Figure 13. Current of the inductor during balancing.

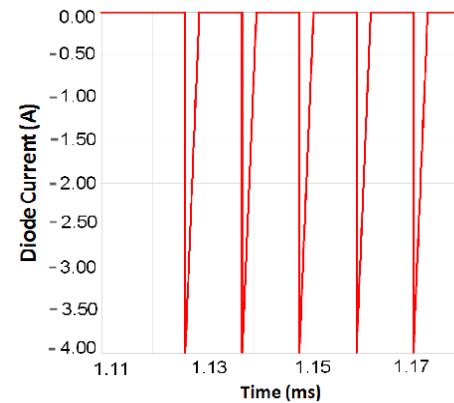


Figure 14. Current of the diode while balancing.

Under low load, two cells initially at 72% and 89% SoCs are balanced in about 147 sec as shown in Fig.15. Two distinct regimes can be seen in the voltage profiles for both of the cells. During balancing, higher cell voltage drops while energy is transferred to the lower cell, which is accompanied by the low cell voltage being increased. Then there can be seen a flatter region where the balancing stops. For the low load condition as depicted in Fig.15, this corresponds to a recovery in the voltage of the higher cell whereas the voltage drops slightly for the lower cell. This is due to the capacitance of the cells and can be interpreted as the relaxation of the batteries after charge/discharge conditions.

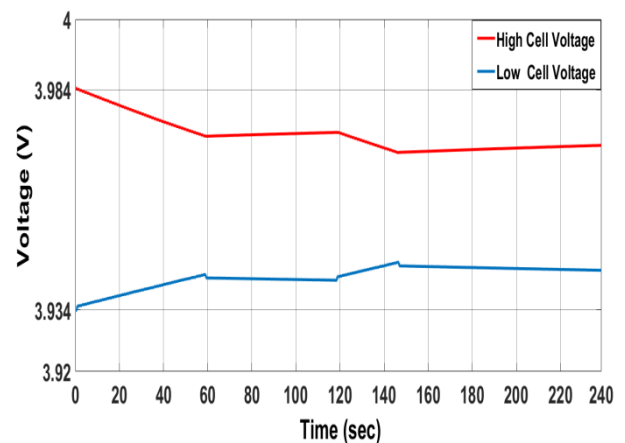


Figure 15. Cell voltages under low load.

Furthermore, the circuit is processed under heavy load conditions. Since load is higher than balancing current shuffled between the cells, both cell voltages decreases as shown in Fig.16. The balancing lasts approximately 127 sec. After the balancing stops both cell voltages are observed to drop linearly as imposed by the load.

6. Conclusion

In conclusion, an equivalent circuit model of 3.45 Ah Panasonic 18650GA is obtained. Even though we neglect aging effect, the error between model and experimental data is small at some SoC ranges. By using model of the battery cells, proposed battery cell balancing circuit is examined.

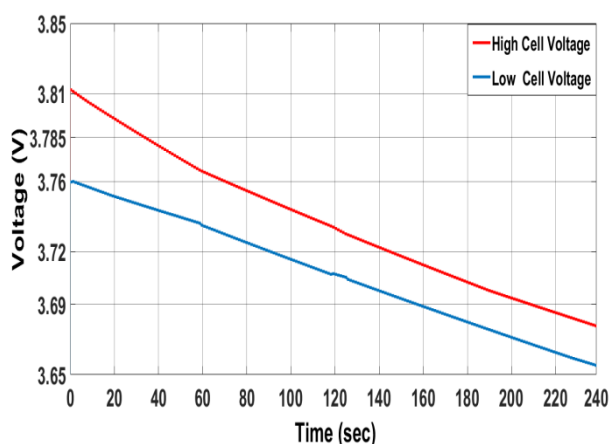


Figure 16. Cell voltages under heavy load.

A control algorithm is developed to activate balancing operation and to prevent any failures in balancing operation for 2 cells. The circuit is simulated under low load and high load in MATLAB/Simulink. The voltage behaviors of the cells and the current on the inductor are observed. The simulation results indicates that 25 mV difference is closed approximately in 147 seconds under low load and 127 seconds under high load where the maximum balancing current 4A for given SoCs of the cells. Also under heavy load, proposed circuit succeeds to balance cells. As all other energy converters, the proposed circuit faces with high number of components and complex control especially for more cells.

Acknowledgment

This work is supported by TUBITAK with project number 114M774.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- A. Baughman and M. Ferdowsi. "Double-Tiered Capacitive Shuttling Method for Balancing Series-Connected Batteries". 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference.
- Carmelo Speltino, Anna Stefanopoulou and Giovanni Fiengo. "Cell Equalization in Battery Stacks Through State Of Charge Estimation Polling". American Control Conference (ACC), pp. 5050-5055, 2010.
- C. Bonfiglio and W. Roessler. "A cost optimized battery management system with active cell balancing for lithium ion battery stacks". 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009.
- C. Moo, Y. Hsieh and I. Tsai. "Charge equalization for series-connected batteries". IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 39, no. 2, pp. 704-710, 2003.
- Dazhong Mu *, Jiuchun Jiang and Caiping Zhang. "Online Semiparametric Identification of Lithium-Ion Batteries Using the Wavelet-Based Partially Linear Battery Model" Energies 2013, 6, 2583-2604 published 21 May 2013.
- D. S. Repila and J. E. W. Poxon. "Hybrid electric vehicles: current concepts and future market trends". J. Barcelona IEEE Student Branch, vol. 13, pp. 5-30, Mar. 2006.
- H. Park, C. Kim, G. Moon, J. Lee and J. Oh. "Two-Stage Cell Balancing Scheme for Hybrid Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Strings". 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007.
- Jian Cao, Nigel Schofield and Ali Emadi. "Battery balancing methods: A comprehensive review". IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 08. pp. 1-6, 2008.
- Juan Zhao, Jiuchun Jiang and Liyong Niu. "A novel charge equalization technique for electric vehicle battery system". The Fifth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2003.
- K. Zhi-Guo, Z. Chun-Bo, L. Ren-Gui and C. Shu-Kang. "Comparison and Evaluation of Charge Equalization Technique for Series Connected Batteries". 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1-6, 2006.
- L. Maharjan, S. Inoue, H. Akagi, and J. Asakura. "State-of-Charge (SoC)-Balancing Control of a Battery Energy Storage System Based on a Cascade PWM Converter". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, pp. 1628-1636, 2009.

- Markus Einhorn, Werner Roessler and Juergen Fleig. "Improved Performance of Serially Connected Li-ion Batteries With Active Cell Balancing in Electric Vehicles". *IEEE Transactions on Vehicular Technologies*, Vol. xx, No. 99, pp. 1-10, May 2011.
- McDowall, A. Brenier, M. Broussely and P. Lavaur. "Industrial lithium ion batteries: from the laboratory to real telecom application". 24th Annual International Telecommunications Energy Conference, 2002.
- M. Daowd, N. Omar, P. Van Den Bossche and J. Van Mierlo. "Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation". 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2011.
- M. Kim, C. Kim, J. Kim and G. Moon. "A Chain Structure of Switched Capacitor for Improved Cell Balancing Speed of Lithium-Ion Batteries". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 8, pp. 3989-3999, 2014.
- Moran, J. "PowerPump™ Balancing". Application Report, 2009.
- P. Sang-Hyun, K. Tae-Sung, P. Jin-Sik, M. Gun-Woo, and Y. Myung-Joong. "A New Battery Equalizer Based on Buck-boost Topology". *IEEE 7th International Conf. on Power Electronics*, pp. 962-965, 2007.
- S. Li, C. Mi and M. Zhang. "A High-Efficiency Active Battery-Balancing Circuit Using Multiwinding Transformer". *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 49, no. 1, pp. 198-207, 2013.
- T. Stuart and Z. Ye, "Battery equalization circuit with ramp converter", US5666041A, 1996.
- W. F. Bentley. "Cell balancing considerations for lithium-ion battery systems". 12th Annual Battery Conference on Applications and Advances, pp. 223-226, 1997.
- W. Lee, D. Drury and P. Mellor. "Comparison of passive cell balancing and active cell balancing for automotive batteries". 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2011.
- XueZhe Wei, Xiaopeng Zhao and Dai Haifeng. "The application of flyback DC/DC converter in Li-ion batteries active balancing". 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009.
- Y. Lee and M. Cheng. "Connected Lithium-Ion Battery Strings". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 5, pp. 1297-1307, 2005.



FREE FALL TEST SYSTEM CONTROLLED BY COMPUTER WITH ARDUINO

Ahmet Ali SÜZEN*, Kıyas KAYAALP

Isparta University of Applied Sciences, Uluborlu Vocation School, Dept. of Computer Technologies, Isparta, Turkey

Keywords

Arduino,
Free Fall,
Laboratory,
Test Set,
Wifi.

Abstract

This study aims to devise a computer-aided measurement system for students taking a physics course in secondary schools and universities to use in their laboratory applications. Arduino Uno development board is used in the system structure of the system. The free fall time of steel balls of different size released from the adjustable height is measured and shown on the LCD display, also observed in the software on the host computer. The designed device has electromagnet to hold the steel ball, and LDR light sensor and laser diode to measure the time. The transfer of the results to the host computer is carried out by the Wi-Fi module. A free fall test, comprised of bodies with four different weight released from six different heights, has been performed in order to test the measurement accuracy of the test set. The time is measured in milliseconds for each free fall test. 24 different results obtained from the tests are compared with the results of the theoretical calculations. In accord with this result, there is approximately 1 millisecond difference in accuracy. In addition, the system is more advantageous in terms of multiple measurements, Wi-Fi, and price when compared to other free fall test sets.

ARDUINO İLE BİLGİSAYAR KONTROLLÜ SERBEST DÜŞME DENEY SİSTEMİ

Anahtar Kelimeler

Arduino,
Deney Seti,
Laboratuvar,
Serbest Düşme,
Wifi.

Öz

Bu uygulama çalışmasında ortaöğretim kurumları ve üniversitelerde fizik dersini alan öğrencilerin laboratuvar uygulamalarında kullanabilecekleri bilgisayar destekli bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Sistemin donanım yapısında Arduino Uno geliştirme kartı kullanılmıştır. Ayarlanabilir yükseklikten bırakılan farklı boyutlardaki çelik topun serbest düşme zamanı ölçülüp, sonuç LCD ekranda gösterilmektedir. Aynı zamanda ölçülen değerler ana bilgisayardaki yazılımda da görülmektedir. Tasarlanan cihazda; çelik topu tutmak için elektro mıknatıs, süreyi ölçmek için LDR ışık sensörü ve lazer diyot kullanılmıştır. Ayrıca ölçülen değerlerin ana bilgisayara aktarılma işlemi wifi modülü ile gerçekleştirilmiştir. Deney setinin ölçüm hassasiyetinin testi için 6 farklı yükseklikten ve 4 farklı ağırlıktaki cisim ile serbest düşme deneyi yapılmıştır. Her düşme deneyi için milisaniye biriminde süre ölçülmektedir. Deney sonucunda elde edilen 24 farklı süre, teorik hesaplamalarından çıkan sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Bu sonuca göre doğruluk hassasiyetinde yaklaşık 1 milisaniyelik farklılık bulunmaktadır. Ayrıca sistem diğer serbest düşme deney setleri ile kıyaslandığında çoklu ölçüm, wifi ve fiyat konusunda avantajlı olduğu görülmektedir.

Alıntı / Cite

Süzen, A., A., Kayaalp, K., (2019). Free Fall Test System Controlled By Computer With Arduino, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 878-884.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.A. Süzen, 0000-0002-5871-1652
K. Kayaalp, 0000-0002-6483-1124

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.04.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.06.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: ahmetsuzen@isparta.edu.tr, +90-246-531-2622

1. Introduction

The students can sharpen the knowledge they have learned in theoretical courses with their experiments in the laboratory. The purpose of any experiment is to boost the students' retention, to help them remember the day's learning. Experiments are provided as much as possible. In some of the courses, experiments are simulated in a virtual environment since it is not possible for some institutions to establish laboratories (İbrahim and Onurhan, 2003 ; Boeing and Bräunl,2007 ; Jin,1997 ; Akkağit and Tekin, 2012 ; Tüysüz, 2010).

The technology is making lives easier; various difficult or time-requiring tasks have been made easier. The physics experiments, once difficult to perform, are no exception to this, which are now easy to perform with computer controlled systems. This, in turn, enables students to easily understand the abstract physics concepts (Caner and Bekiroğlu, 2012). The study conducted by Thornton in 1987 found that the students using these experiments tests were more successful than other students in the study of designing some experimental sets for the microcomputer-based laboratory in physics education (Thornton,1987).

In the free fall experiment, the basic principle is to know the height between the point at which a body is released and the ground, between the time the free fall begins and the time it ends. In the experiments without computer assistance, the fall time has been measured by devices such as a stopwatch. In such tests that require precision, the person who performs the measurement may have time-dependent faults at the start and stop of the stopwatch that affects the result of the experiment. Another reason why the result of the experiment is erroneous is that the height at which the object is released is not fully determined (Bush and Miles,1996).

In experiments carried out with the computer controlled free fall test set, human errors are eliminated, which, in turn, enables students to better understand the accuracy of the free fall test that they have learned in theory, while performing the test with bodies of different weights and from different heights.

2. Background

This section provides technical information about the materials used in the devised test set.

2.1. Free Fall Movement

The fact that objects released in the air fall down are an ordinary event for people. Until Galileo's work, people thought that heavy objects fell to the ground faster and in less time than light objects. If one of the two A4 size papers of the same weight is crumpled in a ball-like form and two of them are released from the

same height, it can be seen that the crumpled paper falls first to the floor. This indicates that the fall times of objects of the same weight are not dependent on weight (Palmerino, 1999).

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

In equation 1, h stands for the height from the ground where the free-falling object is released, g for gravity acceleration (9.81 m/s²), and t for the time the object falls to the ground (Lackner and Graybiel, 1986).

2.2. Arduino

When we look at the development cards used in electronic and automation fields in our country in recent years, we see that Arduino development card is preferred in terms of cost, availability, and ease of learning (Ferdoush and Li, 2014). Arduino is an open-source hardware and software development board that provides control of electronic systems in the internet of things, or IoT (Şimşek and Taşdelen,2017). Different Arduino models are available for different areas of use or characteristics. The models that use the Arduino development card are shown in Table 1.

Table 1. Arduino models list (Barbon, et.all,2016)

Arduino Due	Arduino Leonardo	Arduino Yun
Arduino Mega 2560	Arduino LilyPad	Arduino Industrial 101
Arduino Esplora	Arduino Uno	Arduino 101
Arduino Pro Mini	Arduino Mini	Arduino Tian
Arduino BT (Bluetooth)	Arduino Nano	Arduino Zero
Arduino Ethernet	Arduino Pro	Arduino CTC 101
Arduino Mega ADK	Arduino Fio	Arduino YUN Mini
Arduino Mega 2560	Arduino LilyPad	Arduino Materia 101
Arduino MKR WAN 1300	Arduino Uno wifi REV 2	Arduino Gemma
Arduino M0 PRO	Arduino M0	Arduino MKR GSM 1400

2.3. ESP8266 Wifi Module

ESP8266, shown in Figure 1, is used in development boards to provide internet connection from the model of the Internet of things. The ESP8266 Wi-Fi module has an internal antenna. In this way, data packets can be transferred via TCP/IP protocol (Schwartz,2016).

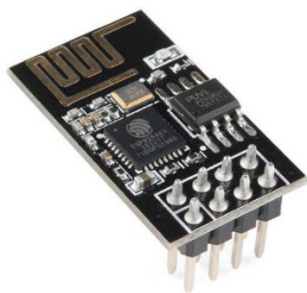


Figure 1. ESP8266 wifi module

The ESP8266 WiFi module uses AT commands to provide access and connection Settings. Sample AT commands used for connection operations in the module are given in table 2 (Singh and Saikia, 2016).

Table 2. General AT commands used in the Wifi module

AT Command	Functions
AT+CWMODE	Wifi mode selection
AT+CWJAP	Connect to a network
AT+CWLAP	Network listing
AT+CIPSTA	Static IP Assignment
AT+CIPSTATUS	Network status information
AT+RST	Restart

2.4. Electro Magnet Module

This module, which is used to hold iron alloyed objects in electronic systems, gains the magnet feature when current is supplied by the system. The electromagnet module can carry loads up to 1 kg. The module also works with DC 5V and draws 400mA current. The increase in the amount of current drawn by the electro-magnet modules increases the amount of charge that can be carried in proportion (Arogbonlo, et.all., 2015).

3. Free Fall Test System

The developed test system measures the time the object falls from a certain height to the floor. The general use of the system is as follows: Press the first button in the measurement box. The system thus powers the electromagnet and laser. The selected object (iron ball) is then attached to the electromagnet. With the second button pressed, the system cuts off the power of the magnet and starts the measurement. The measurement is terminated as soon as the passage of the falling object through the laser is detected. The measured time is displayed in milliseconds on the LCD monitor and on the computer transmitted via Wi-Fi.

The free fall test system was carried out in two parts as hardware and software. In the hardware section, the measurement box for the test is designed. In the software section, two separate modules have been

developed that allow the measurement box to operate and the measured values to be displayed on the instructor's computer.

3.1. Design of Measurement Box

The pins used for connection of the circuit elements and Wi-Fi module used in the measurement box to the Arduino Uno development board are given in Table 3 and Table 4.

Table 3. Connection pins of the WiFi module with Arduino Uno

Arduino Pin	ESP8266 Pin
RX (A0)	TX
TX (A1)	RX
GND	GND
3V3	EN
3V3	RST
3V3	3V3

Table 4. Connection pins of other elements with Arduino Uno

Parts	Arduino Pin
Elektro Magnet	D5
LDR	A2
Lazer	A3
Button 1	D3
Button 2	D4
Buzzer	D2
LCD	D7,D8,D9,D10

The system motherboard has been produced for the connection of the Arduino Uno to other circuit elements for the hardware integrated operation of the system. The system motherboard is designed with *fritzing* and the printing circuit board of Figure 2 (b) is created.

As a measurement box, a box is used that provides IPS65 standards of 17cmx12cmx6cm dimensions as shown in Figure 2 (a).

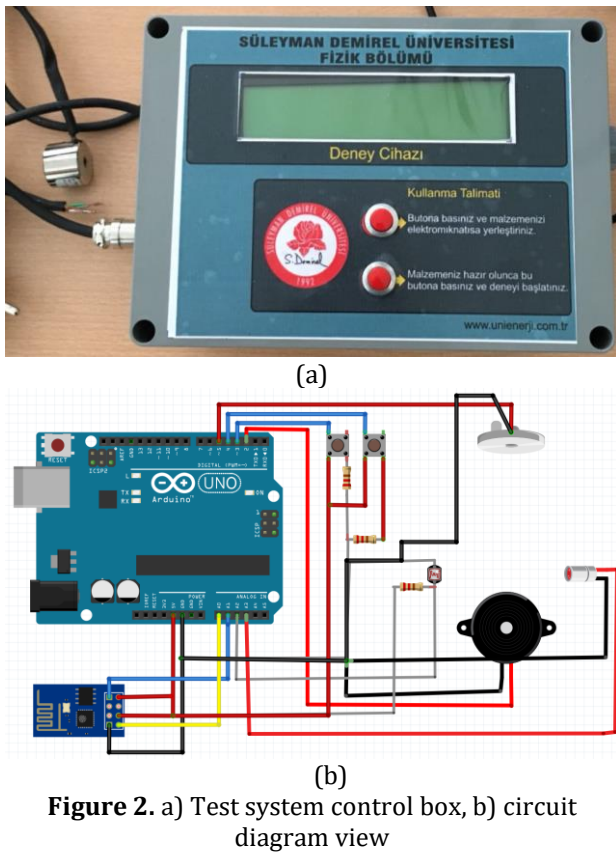


Figure 2. a) Test system control box, b) circuit diagram view

3.2. Software Development

The test system application consists of the software of the control box and the interface software showing the incoming data.

The Arduino IDE encodes the software required to perform input and output checks and measurements in the control box designed using the Arduino Uno development board. Pin definitions and pin mode selection have been made in order to receive and send the data from the circuit elements in the control box. After the identification process, the threshold value must be found from the LDR used to determine if the object has reached the desired point in the experiment. The threshold value is used to determine if an object passes through the LDR and the laser. In order to find this, values have been observed and measured when the rays coming out of the laser fall on the LDR and when they do not. As a result, the threshold value to be used in the experiment set is determined to be 20.

The measurement software from the Arduino Uno development board controls the value from a button every 1 millisecond within the *loop()* function to see if the command required for the preparation of the experiment has been received. After the button is pressed, the software powers the laser and the electromagnet with the *digitalWrite(pin, HIGH)* command. After the second button is pressed, the system time information is assigned to the *start_time* variable. At the same time, the power of the

electromagnet is cut and the experiment is started. The *analogRead()* function is used to read the value from the LDR. The time value when measured analog value passes the threshold value is assigned to the *end_time* variable. The calculated measurement time is displayed on the LCD monitor and sent to the interface software via the *WifiSend()* function.

In order to measure the free fall test and to show the measured times and send them to the interface software, the rough code block is used in Table 5. In addition, the flow chart showing the general operation of the system is given in Figure 3.

Table 5. Coarse code used in measurement

```

if (reading_sensor_value > peak_value)
{
    end_time = millis();
    men_time = end_time - start_time;
    Buzzer();
    String
    reading_value = "Time:" + String(men_time) + "ms";
    ClearScreen();
    PrintScreen(reading_value);
    WifiGonder(men_time, ex_number);
}

```

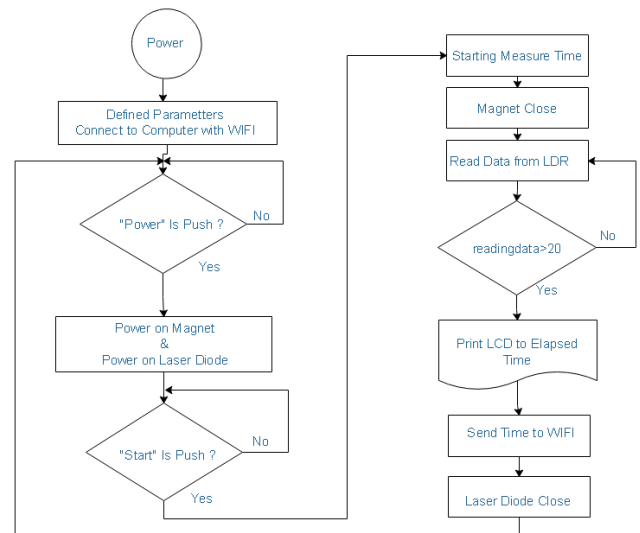


Figure 3. System working diagram

In order to monitor the measurement data from the experiment sets in the laboratory by the trainer, the interface software running on the computer has been developed. The interface software was implemented using the C# 6.0 programming language on the Visual Studio 2017 platform. Values from the experiment set are taken with *serialprint* control. The received values are displayed to the instructor via the *listview* control in the interface. The interface software can be connected to more than one test system as shown in Figure 4.

Exp. No	Time	Datetime
1	452	02.06.2018 10:46
2	451	02.06.2018 10:46
3	404	02.06.2018 10:46
4	452	02.06.2018 10:46
1	452	02.06.2018 10:55
1	143	02.06.2018 11:03
2	142	02.06.2018 10:46
3	143	02.06.2018 10:46

Figure 4. Interface software data list form

4.Results

In order to determine the stability of the free fall test set, measurement tests were carried out with bodies with 4 different weights and from 6 different heights. In addition, based on the experiments conducted with the computer-controlled test system, the formulas for free fall motion and theoretical times under the same conditions. The measured and calculated times are compared at different weights and heights as shown in Table 6,7,8,9. The results indicate a maximum of 1 millisecond difference between the calculated times and measured times.

In the measurements, it is observed that the falling times of the bodies of different weight and from the same height are the same. The theoretical information is also supported by this data obtained from the experimental system.

Table 6. Measurements results for 10 gr object

	Height (cm)	Time (ms)	Measurements (ms)										AVG	%±
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10 Gr	100	451,523641	452	451	452	452	452	451	452	452	451	452	451,7	0,04
	80	403,855022	404	404	403	404	404	404	404	404	404	404	403,9	0,01
	60	349,748708	349	349	349	349	349	349	349	348	349	349	348,9	0,24
	40	285,568625	286	286	286	286	285	286	286	286	286	286	285,9	0,12
	20	201,927511	202	202	203	202	202	202	202	203	202	202	202,2	0,13
	10	142,784312	143	143	143	143	143	143	143	143	143	144	143,2	0,29

*Time (ms): The result of a mathematical formula. *%±: Difference between formula and average test result.

Table 7. Measurements results for 20 gr object

	Height (cm)	Time (ms)	Measurements (ms)										AVG	%±
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
20 Gr	100	451,523641	452	452	452	452	453	452	452	452	453	452	452,2	0,15
	80	403,855022	403	404	403	403	403	403	403	403	403	403	403,1	0,19
	60	349,748708	350	349	350	350	350	350	350	349	350	350	349,8	0,01
	40	285,568625	286	286	286	286	288	286	286	286	286	286	286,2	0,22
	20	201,927511	201	201	201	201	201	201	201	201	200	201	200,9	0,51
	10	142,784312	142	142	143	142	142	142	142	143	142	142	142,2	0,41

*Time (ms): The result of a mathematical formula. *%±: Difference between formula and average test result.

Table 8. Measurements results for 30 gr object

	Height (cm)	Time (ms)	Measurements (ms)										AVG	%±
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
30 Gr	100	451,5236	451	450	451	451	451	451	451	451	451	451	450,88	0,14
	80	403,855	402	401	402	402	402	402	402	402	401	402	401,77	0,51
	60	349,7487	350	350	350	350	351	350	350	350	350	350	350,11	0,10
	40	285,5686	285	285	286	285	285	285	285	285	285	286	285,22	0,12
	20	201,9275	201	201	201	201	202	201	201	201	201	201	201,11	0,40
	10	142,7843	142	142	142	142	142	142	142	143	142	142	142,11	0,47

*Time (ms): The result of a mathematical formula. *%±: Difference between formula and average test result.

Table 9. Measurements results for 50 gr object

	Height (cm)	Time (ms)	Measurements (ms)										AVG	%±	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
50 Gr	100	451,5236	450	450	450	451	450	450	450	450	450	450	450	450,1	0,32
	80	403,855	404	404	404	405	404	404	405	404	404	403	404,1	0,06	
	60	349,7487	348	348	348	348	348	348	349	348	348	348	348,1	0,47	
	40	285,5686	285	285	285	285	285	285	286	285	285	285	285,1	0,16	
	20	201,9275	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202	0,04
	10	142,7843	141	140	141	141	140	141	141	141	141	142	141	140,9	1,32

*Time (ms): The result of a mathematical formula. *%±: Difference between formula and average test result.

5. Conclusions

In this study, low-cost free fall test system has been developed for physics laboratories. Students can measure free fall movements of objects of different weights and from different heights. Simultaneous measurements with multiple test systems are monitored and recorded by the interface software on the instructor's computer. As a result of the tests of the developed system, there is a maximum of 1 millisecond difference between the theoretical data and the measured data.

Compared to other commercial products (Table 10), the Computer Controlled Free Fall Test System has the advantage of having multiple measurement monitoring and Wi-Fi features. The measurement accuracy is the same as other commercial products. When compared with other commercial products, it is cheaper.

Table 10. Comparison of experimental systems

Product Name	1	2	3	4
Computer Controlled Free Fall Testing System	1	Yes	Yes	300
Free Fall Test Set K30060 (Kayra Mühendislik, 2018)	1	No	No	750
Free Fall Test Set 3B (3B Scientific, 2018)	2	No	No	850
Free Fall and Atwood Machine Experiment Set (Rentech, 2018)	1	No	No	1.000

1- Measurement accuracy (ms)

2- Multiple measurement monitoring

3- Wifi

4- Price (Turkish Lira)

Acknowledgments

We would like to thank the Süleyman Demirel University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, who contributed to the testing of this experimental system.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- 3B Scientific, Access: 13.08.2018, Link: <https://www.3bscientific.com.tr/>
- Akkağıt, ş. F., & Tekin, a. (2012). Simülasyon Tabanlı Öğrenmenin Ortaöğretim Öğrencilerinin Temel Elektronik ve Ölçme Dersindeki başarılarına etkisi. *Ege eğitim dergisi*, 13(2).
- Arogbonlo, A., Usma, C., Kouzani, A. Z., Gibson, I., (2015). "Design and fabrication of a capacitance based wearable pressure sensor using e-textiles", *Procedia Technology*, 20, 270-275.
- Barbon, G., Margolis, M., Palumbo, F., Raimondi, F., Weldin, N., (2016). "Taking Arduino to the Internet of Things: the ASIP programming model", *Computer Communications*, 89, 128-140.
- Boeing, A., & Bräunl, T. (2007). Evaluation of real-time physics simulation systems. In *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia* (pp. 281-288). ACM.
- Bush, G. A., Miles, F. A., (1996). "Short-latency compensatory eye movements associated with a brief period of free fall", *Experimental brain research*, 108(2), 337-340.
- Caner, F., Bekiroğlu, F., (2012). "Implementation of microcomputer based laboratory in physics class: students' perceptions", *INTED2012 Proceedings*, 3163-3166.
- Ferdoush, S., & Li, X. (2014). Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications. *Procedia Computer Science*, 34, 103-110.
- İbrahim, D., Onurhan, E., (2003). "Uzaktan Mühendislik Eğitiminde Laboratuvar Kullanımı", I.

Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu, Ankara.

Jin, H. (1997). Behavior-mode simulation of power electronic circuits. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 12(3), 443-452.

Kayra Mühendislik, Access: 13.08.2018, Link: <http://www.kayramuhendislik.com.tr/>

Lackner, J. R., & Graybiel, A. (1986). Head movements in non-terrestrial force environments elicit motion sickness: implications for the etiology of space motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 57(5), 443-448.

Palmerino, C. R., (1999). "Infinite Degrees of Speed Marin Mersenne and the Debate Over Galileo's Law of Free Fall", *Early Science and Medicine*, 4(4), 269-328.

Rentech, Access: 13.08.2018 Link : <https://www.rentech.com.tr>

Schwartz, M.,(2016). "Internet of Things with ESP8266", Packt Publishing Ltd.

Şimşek, M. A., Taşdelen, K., "Arduino ile Tasarlanmış Sistemlerin İnternet Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 8(1), 20-33, 2017.

Singh, P., Saikia, S.,(2016). "Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi modüle", In *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 2016 IEEE Region 10 (pp. 1-4). IEEE.

Thornton, R.K., (1987). "Tools for scientific thinking-microcomputer-based laboratories for physics teaching", *Physics Education*, 22(4), 230.

Tüysüz, C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1).



24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ KAPSAMINDA TÜRKİYE CİVARINDA YERMANİYETİK ALANIN GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Cengiz ÇELİK^{*1}, Cenk KARATAŞ², M. Nuri DOLMAZ²

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yermanyetik Alan,
Manyetik Gözlemevi,
Güneş Çevrimi.

Öz

Bu çalışmada, 24. Güneş çevrimi kapsamında Türkiye ve civarında yer alan IZN ve SUA manyetik gözlemevlerinden elde edilen yermanyetik alanı X , Y ve Z bileşenlerine harmonik analiz uygulanmıştır. Güneş ve Ay'ın etkilerine bağlı olarak değişen solar ve lunar harmoniklerin genlik ve faz açıları elde edilmiştir. Solar harmoniklerden periyodu 24 saat olan birinci harmonik ve lunar harmoniklerden ise tamamen Ay'ın çekim etkisinden kaynaklanan ikinci harmonik genlik değişimleri 24. Güneş çevrimi kapsamında incelenmiştir. Beklendiği gibi, solar harmonikler Güneş çevriminden daha çok etkilerken, lunar harmonikler ise daha az etkilenmiştir. Hiç şüphesiz sadece iki gözlemevi Türkiye ve civarında yermanyetik alan değişimlerini incelemek için yeterli değildir. Yoğun Avrupa manyetik gözlemevi ağından sonra Türkiye'nin hem doğusuna hem de güneyine doğru büyük bir boşluk vardır. Bu boşluğu doldurmak için bu bölgelere yeni manyetik gözlemevlerinin kurulmasına ihtiyaç vardır. Böylece yermanyetik alanını hem ulusal hem de uluslararası ölçekte daha iyi tanınmasına büyük katkı sağlanmış olacaktır.

INVESTIGATION OF THE GEOMAGNETIC DAILY VARIATIONS DURING 24TH SOLAR CYCLE AROUND TURKEY

Keywords

Geomagnetic Field,
Magnetic Observatory,
Solar Cycle.

Abstract

In this study harmonic analysis is applied to the geomagnetic data of X , Y and Z elements of IZN and SUA observatories to investigate 24th solar cycle dependence around Turkey. Dependence of solar and lunar amplitudes and phase angles obtained. Amplitude variations of the first solar harmonic that its period is 24 solar hours, and the second lunar harmonic that its origin is purely lunar, were examined during the 24th solar cycle. As expected, amplitudes of the solar harmonics showed more dependence than that of lunar harmonics. Without doubt, it is not enough to search geomagnetic variations around Turkey using two observatories. After the dense European observatories, there is a big gap both in eastern and southern part of Turkey. To fill these gap new geomagnetic observatories needs to be installed around these regions. Thus, it provides important contribution to define the geomagnetic field in both national and global scale.

Alıntı / Cite

Çelik, C., Karataş, Cenk., Dolmaz, M. N., (2019). 24. Güneş Çevrimi Kapsamında Türkiye ve Civarında Yermanyetik Alanın Günlük Değişiminin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 885-896.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Çelik, 0000-0003-0619-0143
C. Karataş, 0000-0001-9536-9270
M. N. Dolmaz, 0000-0002-9185-9835

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.05.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.07.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.07.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Giriş

Bir noktada ölçülen yermanyetik alanı iç kaynaklı ve dış kaynaklı alanların toplamından oluşmaktadır. İç kaynaklı alan yerin çekirdeğinin bir dinamo gibi

çalışmasından kaynaklanmaktadır ve bu alanda meydana gelen değişimler yermanyetik alanında uzun süreli düzensiz değişimler (seküler değişimler) olarak gözlemlenmektedir. Dış kaynaklı alanın kaynağı ise büyük ölçüde Güneş'tir. Güneş'in yermanyetik alanına

* İlgili yazar / Corresponding author: celikc@boun.edu.tr, +90-224-757-6020

iki türlü etkisi vardır. Birincisi, Güneş'in ısı etkisi ile iyonosfer tabakasına iletkenlik kazandırması sonucunda oluşan manyetik alan, ikincisi; bu alanın yerküreyi indüklemesiyle oluşan alandır. Bu alanların ortak etkisi birbirini takip eden günlük manyetogramlarda periyodik değişimler olarak göze çarpmaktadır ve alanın periyodik günlük değişimleri olarak nitelendirilmektedir. Yermanyetik alan günlük değişimleri enleme, boylama, günün farklı zamanlarına ve yılın farklı mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca Güneş kaynaklı periyodik değişimlere ek olarak, Ay'ın çekim etkisi de yermanyetik alan üzerinde çok az olmakla birlikte değişimler oluşturmaktadır (Chapman ve Bartels, 1940). Diğer taraftan Güneş yüzeyinde meydana gelen düzensiz aktiviteler (Güneş patlamaları, Güneş lekeleri gibi) olup gözlenen manyetik alan değerlerinde düzensiz değişimlere neden olmaktadır. Bu tür değişimlerin süresi bir saniyeden başlayıp günlerce sürebilmektedir (manyetik pulsasyonlar, manyetik fırtınalar, manyetik körfezler gibi).

Yermanyetik alanı dünyamızın en eski gözlemlenebilir özelliklerinden biridir ve birçok araştırmacı tarafından günümüze kadar incelenmiştir. 16. yy'da sapma açısında meydana gelen değişimlerin dikkat çekmesiyle başlayan gözlemler manyetik fırtınaların Alexander von Humboldt tarafından 1806 yılında keşfedilmesi ile birlikte büyük bir ivme kazanmıştır. Yermanyetik alanda özellikle Güneş'in ısı ve Ay'ın çekim etkisinden kaynaklanan periyodik günlük değişimler Chapman ve Bartels (1940) tarafından incelenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda 1940 yılına kadar yapılan tüm çalışmaları da özetlemektedir. Malin ve Chapman (1970) Ayın ve Güneşin neden olduğu düzenli değişimlerin harmoniklerini çalışarak Chapman-Miller yöntemini revize etmişlerdir. Bu yöntem manyetik alan verisinin Ay'ın safhalarına göre 12 gruba ayrılarak analizine dayanmaktadır. Malin (1973) yapmış olduğu diğer bir çalışmada Güneş leke sayısının en yüksek olduğu dönemde manyetik alanı küresel ölçekte modellemeye çalışmıştır. Hem Güneş'e bağlı hem de Ay'a bağlı değişimler için küresel harmonik katsayılarını hesaplayarak iyonosfer tabakasında gelişen akım sistemlerini göstermiştir. Winch (1981) benzer bir çalışmayı Güneş leke sayısının minimum olduğu bir dönem için yapmıştır. En küçük kareler yöntemiyle Güneşin ve Ayın neden olduğu değişimleri hesaplayan diğer bir yöntem ise yine Malin ve Schlapp (1980) tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntem daha sonra geliştirilerek manyetik rasathane verilerinin değerlendirilmesi için önerilmiştir (Malin vd., 1996). De Meyer (2003) modilasyon model adını verdiği bir yöntemle Güneş ve Ay'ın manyetik alana etkilerini belirlemeye çalışmıştır, ancak bu yöntemin de temelinde en küçük kareler yöntemi yatmaktadır. Literatürde bahsedilen bu temel yöntemler kullanılarak değişik dönemlerde ve gözlemlerinde yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Örneğin, ülkemizde Işıkkara (1970, 1971) İstanbul için Ayın ve Güneşin manyetik

alana olan etkilerini çalışmıştır. Bilge ve Tulunay (1997), 1973-1977 yılları İstanbul Kandilli Manyetik Rasathanesi (ISK) verisine spektral analiz uygulamışlardır. Cueto vd. (2003) İber yarımadası için Güneş ve Ayın neden olduğu değişimleri hesaplamışlardır. Çelik vd. (2012) kuzeybatı Türkiye için Güneş ve Ayın etkilerini içeren bir çalışma yapmıştır. Çelik (2013, 2014, 2018) Güneş lekeleri ile yermanyetik alanın Güneş'e ve Ay'a bağlı günlük değişimlerini inceleyerek küresel ölçekli bir model ortaya koymuştur.

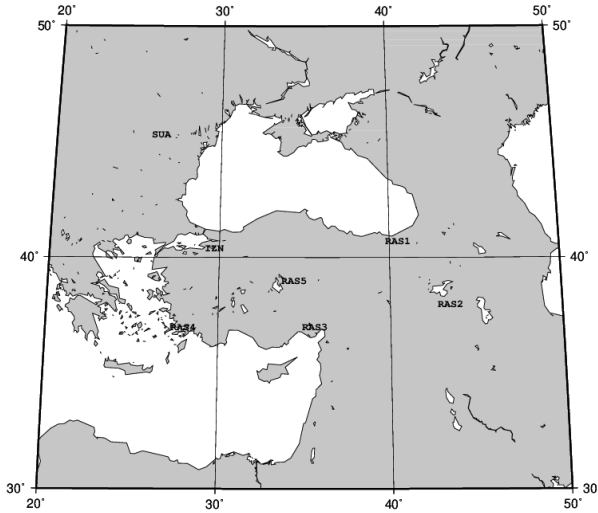
Yermanyetik alanı bileşenleri manyetik gözlemlerinde sürekli olarak kaydedilmektedir. Gözlemlerinin yeryüzünde dağılımına bakıldığında dağılımın homojen olmadığı görülmektedir. Kuzey yarım kürede sayıca daha fazla olan gözlemleri güney yarımkürede ve okyanuslarla kaplı bölgelerde daha azdır. Kuzey yarımkürede Avrupa kıtasında daha yoğun olan gözlemleri dağılımı doğuya doğru seyrekleşmektedir ve Türkiye'nin doğusuna doğru olan boşluk oldukça dikkat çekicidir. Bu bakımdan hem Türkiye'de hem de Türkiye civarında faaliyet gösteren gözlemleri oldukça önem arz etmektedir. Türkiye'de yermanyetik alanın sistematik olarak gözlemlenmesine Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü bünyesinde ISK gözlemevi tarafından 1947 yılında başlanmıştır. ISK kurulduğu günden günümüze kadar çalışmasına devam etmiştir ve hala devam etmektedir. ISK dışında farklı bir bölgede Harita Genel Komutanlığı bünyesinde kurulan Ankara Manyetik Rasathanesi'nde (ANK) 1986-1993 yıllarında yermanyetik alan gözlemleri yapılmıştır (Gürdal, 1997). ISK kayıtlarının zamanla yapay gürültülerden etkilenmesi nedeniyle 2005 yılında İznik Manyetik Rasathanesi (IZN) kurulmuştur. Gözlemlerinde yermanyetik alan bileşenleri **H** (yatay bileşen), **D** (sapma açısı, manyetik kuzey ile coğrafi kuzey arasındaki açı), **Z** (düşey bileşen) ve **F** (toplam bileşen) kayıtları dakikalık olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada 24. Güneş çevrimi kapsamında Türkiye ve civarında yermanyetik alanın günlük değişimleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, yermanyetik alanın hem ulusal hem de uluslararası ölçekte daha iyi tanımlanmasına katkı sağlanacağı gibi Türkiye'nin doğusunda ve güneyinde ileride kurulabilecek manyetik gözlemlerine ve manyetik çalışmalara da referans olacağı kanısını taşımaktayız.

2. Veri

Çalışmada Türkiye ve civarında 24. Güneş çevrimi kapsamında, yermanyetik alanın periyodik günlük değişiminin araştırılması amacıyla iki manyetik gözlemevi seçilmiştir (IZN, 40.5°K, 29.7°D ve Surları manyetik gözlemevi, Romanya, SUA, 44,7°K, 26.3°D). Gözlemevi seçiminde 24. Güneş çevrimi kapsamında veri uzunluğu ve Türkiye'ye olan yakınlığı dikkate alınmıştır. Şekil 1'de çalışmada kullanılan manyetik

gözlemlerinin yerleri gösterilmiştir. Yermanyetik alanın X , Y ve Z bileşenlerine ait manyetik veri INTERMAGNET ve Uluslararası veri merkezlerinden (WDC) dakikalık ortalamalar olarak temin edilmiştir. Dakikalık olarak temin edilen manyetik veri saatlik ortalamalara dönüştürülmüştür. Yermanyetik alanın günlük değişimine neden olan ve iyonosferin dinamo bölgesinde gelişen akım sistemleri, alanın fırtınalı olduğu günlerde, manyetosfer katmanlarında gelişen diğer akım sistemlerinin şiddetlenmesi nedeniyle oldukça bozulmaktadır. Bu nedenle, her ayın fırtınalı olarak işaretlenen beş günü çalışmaya dahil edilmemiştir.



Şekil 1. IZN ve SUA manyetik gözlemleri. RAS1, RAS2, RAS3, RAS4 ve RAS5 muhtemel gözlemevi konumları.

3. Yöntem

Yermanyetik alanın Güneş'e bağlı düzenli değişimi Fourier açılımının ilk dört terimi olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Malin, 1973, Malin ve Schlapp 1980, Malin v.d. 1996)

$$S = \sum_{n=1}^4 s_n \sin(nt + \sigma_n) \quad (1)$$

s_n : Genlik ve σ_n faz açısı ve t yerel ortalama güneş zamanıdır. Uluslararası zaman t^* kullanıldığında ($t = t^* + v$) (1) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir. v doğu boylamını göstermektedir.

$$S = \sum_{n=1}^4 \{a_n \cos(nt^*) + b_n \sin(nt^*)\} \quad (2)$$

Burada a_n ve b_n Fourier katsayıları,

$$a_n = s_n \sin(\sigma_n + nv) \quad b_n = s_n \cos(\sigma_n + nv)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Benzer şekilde, yermanyetik alanın Aya bağlı günlük değişimleri de yermanyetik alanın herhangi bir bileşeni için aşağıdaki gibi verilebilir (Malin, 1973);

$$L = \sum_{n=1}^4 l_n \sin(nt - 2V + \lambda_n + nv) \quad (3)$$

(3) denklemi uluslararası zaman için düzenlendiğinde,

$$L = \sum_{n=1}^4 \{a_n \cos(nt^* - 2V) + b_n \sin(nt^* - 2V)\} \quad (4)$$

denklemi elde edilir.

Burada;

V : Ay safhasını ifade etmektedir ve $V = t - \tau$ olarak verilmektedir. τ ay zamanıdır.

$$a_n = l_n \sin(\lambda_n + nv) \quad b_n = l_n \cos(\lambda_n + nv)$$

l_n : Genlik ve λ_n faz açısıdır.

Yer manyetik alanın hem Güneş'e bağlı (solar) hem de Ay'a bağlı (lunar) harmoniklerin genlik değerleri olan s_n ve l_n ile faz açıları σ_n ve λ_n , her bir gözlemevi ve bileşen için en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, 24. Güneş çevrimi kapsamında Türkiye ve civarında seçilen iki gözlemevi (IZN ve ISK) verisi analiz edilerek Güneş'e ve Ay'a bağlı günlük değişim harmoniklerin genlik ve faz açıları hesaplanmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2 de her bir gözlemevi ve bileşen için elde edilen genlik ve faz açıları verilmiştir.

Leaton vd. (1962) genlik değerlerinin standart hata miktarlarınının 1.73 katından daha büyük olması durumunda %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olacağını belirtmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2'de %5 anlamlılık düzeyinden düşük olan genlik değerleri parantez içerisine alınarak belirtilmiştir. Görüldüğü gibi solar harmonik genlik değerleri her bir bileşen ve gözlemevi için istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir. Ancak lunar harmonik genlik değerlerine bakıldığında ise her iki gözlemevinde de her bileşen için 3. ve 4. harmonik değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Lunar değişimlerin genlik değerleri solar değişimlerin genlik değerlerinden yaklaşık olarak 10 katı kadar daha küçüktür. Bu nedenledir ki böylesi küçük değişimlerin daha anlamlı olarak belirlenmesi için daha uzun veri setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Beklendiği gibi, ilk solar harmonik terim olan s_1 diğer harmonik değerlerinden daha büyüktür. Bunun

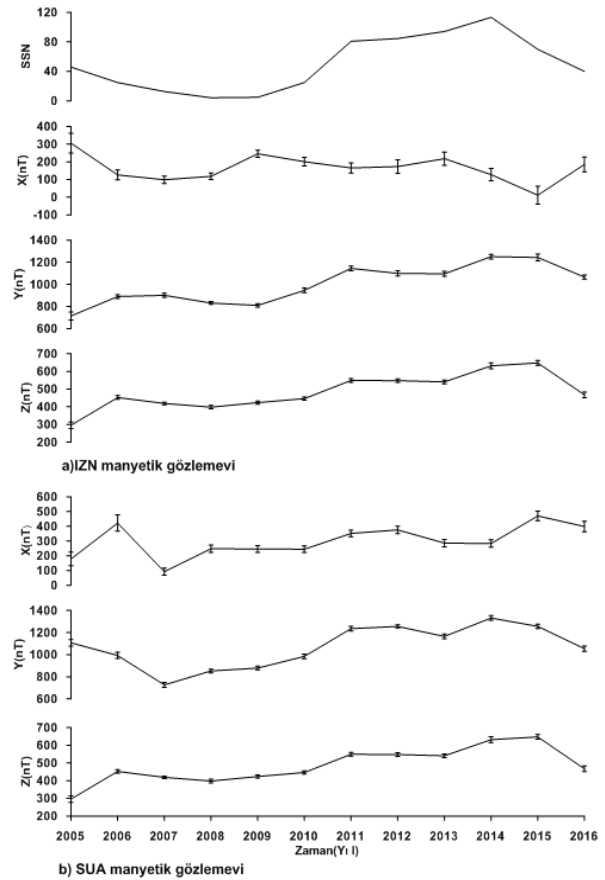
nedeni, Güneş'in termal etkisinin 24 saatlik periyodik değişim göstermesi ve s_1 harmonik değerinin de periyodunun 24 saat olmasıdır. Ancak her iki gözleminde X bileşeni için elde edilen s_1 genlik değeri diğer harmonik değerlerinden küçük bulunmuştur. Çelik vd. (2012) ve Cueto vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yermanyetik alanın sakin solar günlük değişimi iyonosfer katmanında gelişen akım sistemleri ve bu akımların yeri indüklemesi ile oluşan yersel akım sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Torta vd. (1997) yılında Avrupa için iyonosferik akım modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model de X bileşeni için daha küçük değişimler üretmektedir. IZN ve SUA gözlemlerinde kaydedilen küçük X değişimleri de bu model ile açıklanabilir.

Lunar harmoniklerin genlik değerlerine bakıldığında l_2 harmonik genlik değeri diğer harmonik genlik değerlerinden daha büyüktür. Bilindiği gibi Ay'ın çekim etkisi hem iyonosfer hem de okyanuslarda elektrik akımlarına neden olmaktadır. (3) denklemini $V = t - \tau$ için düzenlediğimizde $n=2$ harmoniği sadece Ay zamanına bağlı olacaktır. Yani l_2 harmonik değeri tamamen lunar kaynaklıdır. Bu nedenledir ki l_2 harmonik genlik değeri diğer harmoniklerin genliklerinden daha büyüktür. Ancak Tablo 1b ve Tablo 2b de bazı bileşenler ve yıllarda l_2 harmonik genlik değerinin düşük olduğu dikkat çekmektedir. Bunun nedeni veri uzunluğunun kısıtlı ve kısa olmasıdır.

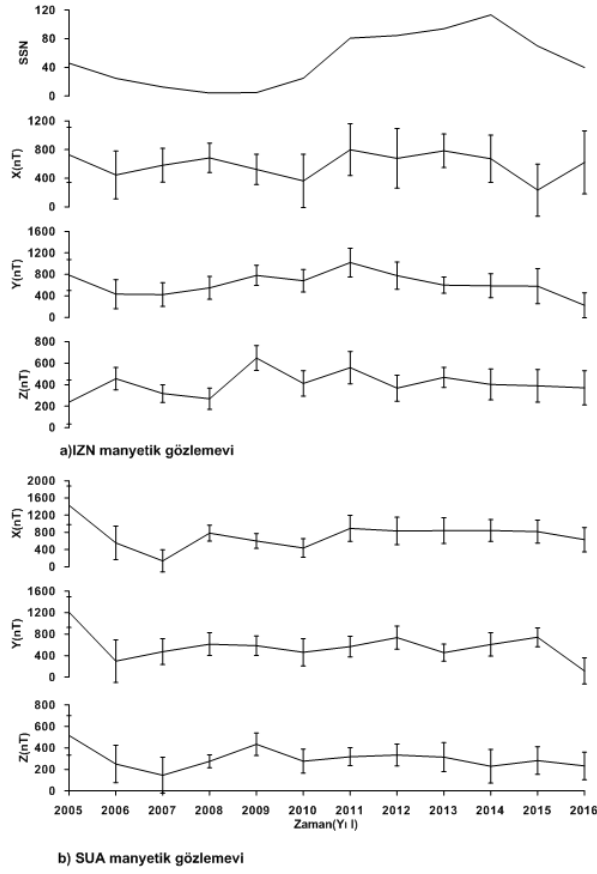
Bir dinamonun elektrik akımı üretebilmesi için; iletken, manyetik alana ve iletkeni hareket ettirecek bir mekanizmaya ya da kuvvete ihtiyaç vardır. İyonosfer dinamo modelinde iyonosfer katmanı Güneş etkisiyle iletkenlik kazanarak dinamo için gerekli olan iletken ortamı sağlamaktadır. Manyetik alan ise yerin çekirdeğinden kaynaklanan alandır. Dinamonun çalışabilmesi için Güneş'in ısı ve Ay'ın çekim etkisi gerekli hareket mekanizmasını meydana getirmektedir. Güneş yüzeyinde çevresine göre daha soğuk olduğu için koyu gözüken ve yüksek manyetik alana sahip bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgelere Güneş lekesi (sunspot) denilmektedir. Güneş leke sayısı yaklaşık 11 yıllık periyotlarda artma ve azalma şeklinde bir döngü oluşturmaktadır ve bu döngüsel harekete Güneş çevrimi denilmektedir. Güneş manyetik alanı ile yakın ilişki içinde bulunan yermanyetik alanı da bu değişimden etkilenmektedir. Şekil 2'de s_1 solar harmonik genlik değerinin 24. Güneş çevrimi kapsamında IZN ve SUA gözlemleri için değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi Y ve Z bileşenleri her iki gözlemevi için Güneş çevrimi ile gayet uyum içerisindedir. X bileşeni ise Güneş çevriminden daha az etkilenmiştir. Ay'a bağlı ve tamamen lunar kaynaklı olan l_2 harmonik genlik değişimi 24. Güneş çevriminden düşük oranda etkilenmiştir. Çelik (2013 ve 2014) de küresel ölçekli olarak yapmış olduğu çalışmada da benzer sonuçları bulmuştur. Tablo 3'te hem s_1 hem de l_2

harmoniklerinin Güneş çevrimi ile ilişkisini ortaya koymak amacıyla hesaplanan korelasyon katsayıları verilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada 24. Güneş çevrimi kapsamında, IZN ve SUA manyetik gözlemlerinden elde edilen saatlik ortalamalar halindeki yermanyetik alanın X , Y ve Z bileşenlerine harmonik analiz uygulanmıştır. Güneş ve Ay'ın etkilerine bağlı olarak değişen solar ve lunar harmoniklerin genlik ve faz açıları elde edilmiştir. Türkiye ve civarında 24. Güneş çevrimi Güneş'e bağlı harmonikler üzerinde daha etkilidir. Ay'a bağlı harmonikler ise çevrimden daha az etkilenmiştir. Yoğun Avrupa manyetik gözlemleri topluluğunun en doğusunda bulunan IZN ve SUA gözlemleri Türkiye ve civarında yermanyetik alan günlük değişiminin incelenmesi için yeterli değildir. Türkiye'nin daha doğusuna ya da güneyine kurulacak gözlemleri yermanyetik alanın Türkiye enlemlerinde daha iyi tanımlanmasına hiç şüphesiz katkı sağlayacaktır. Şekil 1 de Türkiye için muhtemel gözlemevi konumları gösterilmiştir.



Şekil-2. a) IZN ve b) SUA manyetik gözlemlerinde 24. Güneş çevrimi kapsamında Güneş'e bağlı temel harmonik bileşenin genlik değişimi. Düşey barlar standart hata paylarını göstermektedir. En üstteki grafik 24. Güneş çevrimi kapsamında 2005-2016 yılları arasında yıllık ortalama Güneş leke sayısı (SSN) değişimini göstermektedir.



Şekil-3. a) IZN ve b) SUA manyetik gözlemlerinde 24. Güneş çevrimi kapsamında Ay'a bağlı 2. harmonik bileşenin genlik değişimi. Düşey barlar standart hata paylarını göstermektedir. En üstteki grafik 24. Güneş çevrimi kapsamında 2005-2016 yılları arasında yıllık ortalama Güneş leke sayısı (SSN) değişimini göstermektedir.

Tablo 1a. IZN gözlemevi X, Y ve Z bileşenleri için dört temel solar harmonik değerleri.

Yıl	Bilş.	s_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	σ_1 (°)	s_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	σ_2 (°)	s_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	σ_3 (°)	s_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	σ_4 (°)
2005	X	305	55	79	278	44	333	322	61	161	124	45	16
	Y	714	36	43	711	29	201	515	32	51	236	26	241
	Z	296	18	90	274	17	254	188	18	96	105	24	291
2006	X	126	28	176	284	26	16	309	27	178	123	18	15
	Y	890	16	28	757	16	203	475	18	47	159	18	235
	Z	453	10	79	327	9	254	176	8	95	75	7	289
2007	X	99	21	174	281	21	32	272	15	204	105	16	40
	Y	901	18	38	784	16	224	471	15	72	167	16	267
	Z	419	7	91	309	9	272	170	8	121	66	10	320

Tablo 1a. (Devamı)

Yıl	Bilş.	s_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	σ_1 (°)	s_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	σ_2 (°)	s_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	σ_3 (°)	s_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	σ_4 (°)
2008	X	118	19	128	222	32	26	248	25	196	116	21	48
	Y	831	13	36	757	14	219	455	17	71	158	12	269
	Z	398	10	92	304	9	274	173	6	122	66	7	321
2009	X	246	21	202	386	14	28	334	23	204	118	21	39
	Y	810	15	35	736	13	228	485	18	77	178	21	265
	Z	424	9	83	307	9	269	172	9	120	76	11	316
2010	X	201	25	191	376	25	36	349	24	208	146	23	48
	Y	946	22	35	852	22	224	536	19	73	192	20	271
	Z	446	9	85	344	9	271	196	12	121	81	13	325
2011	X	166	28	167	356	38	23	365	32	195	134	34	44
	Y	1144	20	32	1036	26	219	618	26	67	213	22	267
	Z	549	10	86	420	10	271	223	15	119	88	12	321
2012	X	173	38	155	355	39	22	343	40	193	121	34	49
	Y	1099	23	32	955	24	219	555	22	64	183	18	268
	Z	548	10	85	420	14	268	210	13	113	79	12	315
2013	X	218	37	192	343	30	25	343	25	194	132	26	42
	Y	1096	23	27	923	19	217	547	22	63	174	21	262
	Z	541	10	81	398	9	265	198	7	109	78	11	308
2014	X	128	35	201	377	26	25	353	32	202	151	34	39
	Y	1251	21	28	1056	22	216	633	17	65	197	22	263
	Z	632	16	82	453	9	265	237	12	110	77	13	309
2015	X	(11)	51	341	316	39	32	367	47	200	131	54	42
	Y	1244	31	27	1091	27	210	646	39	55	193	37	251
	Z	648	14	84	478	16	264	236	16	107	69	12	310
2016	X	185	42	54	291	30	30	274	26	204	76	34	37
	Y	1066	19	38	849	19	212	446	23	67	125	22	270
	Z	467	16	97	336	9	264	165	14	115	53	11	324

Tablo 1b. IZN gözlemevi X, Y ve Z bileşenleri için dört temel lunar harmonik değerleri.

Yıl	Bilş.	l_1	ρ_1	λ_1	l_2	ρ_2	λ_2	l_3	ρ_3	λ_3	l_4	ρ_4	λ_4
		(0.01nT)	(0.01nT)	(°)	(0.01nT)	(0.01nT)	(°)	(0.01nT)	(0.01nT)	(°)	(0.01nT)	(0.01nT)	(°)
2005	X	(974)	572	50	727	384	79	(275)	499	231	(209)	548	335
	Y	(593)	362	157	786	289	323	(399)	307	147	(91)	310	238
	Z	(237)	207	225	(238)	204	284	(112)	169	176	(5)	209	119
2006	X	188	243	146	(445)	334	42	(375)	227	247	(109)	261	124
	Y	365	227	145	(432)	270	296	429	206	71	(160)	189	238
	Z	328	86	117	456	104	301	312	126	117	(132)	122	270
2007	X	824	242	139	582	236	27	518	228	245	(296)	214	68
	Y	291	183	184	424	221	238	359	183	115	(100)	122	345
	Z	178	92	67	318	82	309	213	88	150	(89)	87	17
2008	X	520	246	251	684	204	76	399	187	267	(203)	208	25
	Y	567	163	183	548	212	320	(298)	186	160	(23)	145	159
	Z	224	94	214	269	99	11	(136)	92	197	(67)	98	273
2009	X	691	196	206	523	212	37	767	220	249	(315)	265	75
	Y	533	165	107	780	189	293	573	156	105	(134)	192	303
	Z	396	121	137	648	115	325	427	78	145	(162)	116	337
2010	X	(85)	177	245	(363)	372	106	(288)	231	252	(202)	291	121
	Y	(340)	217	140	681	210	298	448	196	104	(238)	145	307
	Z	370	110	196	412	118	348	275	97	161	(152)	100	346
2011	X	602	322	202	798	362	47	(440)	349	243	(168)	263	97
	Y	997	259	129	1019	268	308	790	254	141	(99)	173	288
	Z	382	134	155	559	151	338	373	154	179	(85)	130	349
2012	X	1533	379	239	(677)	416	81	(494)	306	267	(119)	286	51
	Y	437	210	134	776	254	344	571	280	168	(62)	187	25
	Z	333	123	104	368	121	352	(152)	113	205	(67)	101	70
2013	X	(328)	279	240	783	234	43	(539)	335	225	(121)	320	67
	Y	(443)	264	124	599	151	294	551	213	140	(239)	160	310
	Z	483	110	133	468	93	324	307	125	153	(171)	105	317

Tablo 1b. (Devamı)

Yıl	Bilş.	l_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	λ_1 (°)	l_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	λ_2 (°)	l_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	λ_3 (°)	l_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	λ_4 (°)
2014	X	869	332	200	673	329	4	(503)	330	230	(288)	322	38
	Y	590	196	114	586	224	293	627	205	136	(128)	239	303
	Z	(221)	142	91	402	143	320	337	120	154	(143)	106	336
2015	X	1592	493	152	(235)	363	336	(684)	449	233	(214)	386	355
	Y	(667)	432	265	580	326	303	709	398	104	(75)	332	342
	Z	(235)	159	343	389	151	343	325	153	172	(155)	134	353
2016	X	1072	412	239	(622)	440	43	632	251	279	(65)	288	54
	Y	567	199	103	(224)	233	322	638	169	144	(55)	182	326
	Z	332	111	107	371	159	340	323	131	170	(85)	154	12

Tablo 2a. SUA gözlemevi X, Y ve Z bileşenleri için dört temel solar harmonik değerleri.

Yıl	Bilş.	s_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	σ_1 (°)	s_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	σ_2 (°)	s_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	σ_3 (°)	s_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	σ_4 (°)
2005	X	178	46	91	196	39	33	226	45	198	133	32	67
	Y	1108	30	43	920	25	212	488	21	55	124	22	242
	Z	539	16	97	433	15	266	211	19	102	68	16	275
2006	X	422	55	119	252	25	352	309	41	187	111	32	49
	Y	993	28	40	813	25	215	465	29	70	120	33	259
	Z	372	21	93	337	16	271	168	13	116	67	12	304
2007	X	92	24	1	73	28	6	171	28	174	93	19	14
	Y	727	22	52	679	25	211	437	21	62	201	21	254
	Z	320	18	104	262	17	272	167	16	116	84	20	307
2008	X	248	25	109	157	21	11	230	22	192	112	18	51
	Y	853	16	40	754	19	217	406	18	67	140	14	257
	Z	358	11	98	310	13	274	170	13	117	64	10	307
2009	X	247	23	155	304	17	14	323	20	201	115	17	39
	Y	879	16	36	740	16	227	427	18	74	139	19	257
	Z	368	8	86	305	7	271	162	8	112	66	7	298

Tablo 2a. (Devamı)

Yıl	Bilş.	s_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	σ_1 (°)	s_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	σ_2 (°)	s_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	σ_3 (°)	s_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	σ_4 (°)
2010	X	245	23	142	258	22	17	312	17	199	125	18	44
	Y	985	20	37	811	20	222	451	16	67	154	14	265
	Z	390	12	89	337	9	270	181	9	111	73	10	307
2011	X	352	23	123	285	24	360	344	21	190	122	26	45
	Y	1236	21	34	1040	16	218	550	21	63	174	24	261
	Z	507	11	89	423	10	271	218	11	111	83	9	309
2012	X	376	26	128	341	33	358	356	32	193	118	26	43
	Y	1256	14	34	1007	18	220	529	19	63	135	16	260
	Z	511	12	88	433	12	267	212	12	107	71	9	298
2013	X	286	25	135	264	19	358	321	24	188	109	31	34
	Y	1165	21	30	926	15	216	499	20	59	147	21	251
	Z	513	9	84	404	7	265	205	8	102	78	11	295
2014	X	283	25	111	304	32	355	321	32	193	130	28	37
	Y	1332	21	30	1072	20	214	568	18	62	153	21	252
	Z	583	19	85	453	13	263	236	11	104	75	12	295
2015	X	470	32	91	262	35	351	348	25	187	128	31	43
	Y	1257	20	33	1067	21	212	550	25	57	155	24	250
	Z	550	12	93	466	15	266	232	12	106	79	14	300
2016	X	399	35	64	183	33	12	252	28	199	88	27	28
	Y	1055	24	44	860	24	210	403	22	63	108	20	257
	Z	433	12	107	362	16	264	181	11	107	58	10	308

Tablo 2b.SUA gözlemevi X, Y ve Z bileşenleri için dört temel lunar harmonik değerleri.

Yıl	Bilş.	l_1	ρ_1	λ_1	l_2	ρ_2	λ_2	l_3	ρ_3	λ_3	l_4	ρ_4	λ_4
2005	X	856	308	166	1429	449	19	740	425	232	(460)	329	38
	Y	689	265	64	1210	284	272	703	214	97	(269)	286	352
	Z	336	149	110	517	183	308	(279)	209	145	(23)	168	182
2006	X	(340)	333	150	554	387	28	513	453	249	(40)	445	204
	Y	(448)	309	183	(298)	397	260	(319)	367	99	(234)	229	217
	Z	(120)	178	117	(250)	173	314	(199)	151	152	(149)	186	12
2007	X	642	333	87	(135)	259	239	(179)	410	312	(268)	270	96
	Y	582	203	187	474	240	148	(160)	159	86	(145)	206	207
	Z	(118)	132	283	(146)	167	314	(90)	196	154	(32)	163	353
2008	X	745	159	227	781	184	70	437	230	268	(128)	274	5
	Y	361	148	143	614	212	299	(254)	244	155	(72)	155	138
	Z	217	102	188	275	60	349	149	82	171	(76)	96	272
2009	X	603	117	211	599	172	33	642	168	227	(227)	167	65
	Y	407	195	133	585	183	291	488	126	104	(164)	191	312
	Z	239	119	138	434	104	320	322	79	138	(122)	100	330
2010	X	443	150	257	435	217	92	(266)	154	240	(244)	117	132
	Y	(165)	239	229	462	254	279	374	171	92	(108)	131	291
	Z	(108)	103	98	277	112	324	176	82	155	(83)	81	334
2011	X	738	246	162	892	302	18	757	245	215	(219)	258	50
	Y	485	139	125	568	192	269	614	175	123	(125)	224	262
	Z	(207)	120	233	318	84	344	264	98	170	(49)	102	353
2012	X	1499	246	229	832	319	51	543	306	256	(95)	272	88
	Y	470	196	163	736	214	330	(408)	250	157	(94)	216	181
	Z	366	136	83	334	102	352	(154)	122	184	(17)	137	276
2013	X	378	196	212	839	297	31	621	212	223	(116)	270	47
	Y	413	178	126	456	158	295	492	168	141	(207)	169	309
	Z	364	124	130	314	135	327	(178)	104	154	(111)	94	310

Tablo 2b. (Devamı)

Yıl	Bilş.	l_1 (0.01nT)	ρ_1 (0.01nT)	λ_1 (°)	l_2 (0.01nT)	ρ_2 (0.01nT)	λ_2 (°)	l_3 (0.01nT)	ρ_3 (0.01nT)	λ_3 (°)	l_4 (0.01nT)	ρ_4 (0.01nT)	λ_4 (°)
2014	X	676	301	203	842	254	3	550	306	232	(211)	374	31
	Y	706	209	117	608	217	286	594	261	135	(65)	191	256
	Z	(154)	169	77	(229)	157	337	(223)	167	182	(33)	147	19
2015	X	1531	203	176	816	266	13	755	274	251	(219)	323	17
	Y	329	210	215	743	176	284	538	217	102	(20)	240	212
	Z	359	130	6	282	129	295	(249)	158	137	(71)	130	351
2016	X	987	291	263	630	283	37	(467)	341	265	(97)	328	33
	Y	794	190	117	(115)	244	1	443	219	142	(164)	232	284
	Z	228	118	97	233	128	337	258	120	174	(58)	142	7

Tablo 3. IZN ve SUA gözlemleri için s_1 ve l_2 harmonik genlik değişimlerinin 24. Güneş çevrimi ile olan korelasyon katsayıları.

Bileşenler	IZN (0.01)		SUA (0.01)	
	Solar	Lunar	Solar	Lunar
	(s_1)	(l_2)	(s_1)	(l_2)
X	-08	33	36	45
Y	79	27	92	17
Z	74	8	89	1

Teşekkür

Çalışmada kullanılan veriyi sağladığı için INTERMAGNET ve World Digital Data Center (Edinburgh)'ne sonsuz teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca yayının gelişmesinde yapmış oldukları katkılardan dolayı hem konu editörüne hem de hakemlere teşekkür ederiz.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynakça

- Bilge, A.H., Tulunay, Y.K., 1997. Spectral analysis of geomagnetic data from Kandilli Observatory, Istanbul, Ann. Geofis., XL(6), 1591-1598.
- Çelik, C., Tuncer, M.K., Tolak-Çiftci, E., Zobu, M., Oshiman, N., Tank, B., 2012. Solar and lunar geomagnetic variations in the northwest part of Turkey, Geophys. J. Int., 189, 391-399.
- Çelik, C., 2013. The solar Daily Geomagnetic variation and its dependence on sunspot number, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 104, 75-86.
- Çelik, C., 2014. The lunar daily geomagnetic variation and its dependence on sunspot number, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 119, 153-161.
- Çelik, C., 2018. Wolf ratios and the ionospheric L and S dynamo region, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 173, 23-27.
- Chapman, S., Bartels, J., 1940. Geomagnetism, Clarendon Press, Oxford, 2,159-270.
- Cueto, M., McKnight, D., Herraiz, M., 2003. Daily geomagnetic variations on the Iberian Peninsula, Geophys. J. Int., 152, 113-123.
- De Mayer, F., 2003. A modulation model for the solar and lunar daily geomagnetic variations, Earth Planets Space, 55, 405-418.
- Gürdal, M.A., 1997. Ankara Manyetik Rasathanesi, Harita Dergisi, Sayı 117, sayfa: 45-58, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

- Işıkara, A.M., 1970. The lunar tide in the E-layer above Istanbul, *Pure and Applied Geophysics*, V.81, Issue 1, pp 130-134.
- Işıkara, A.M., 1971. The solar and lunar influences on the Earth's magnetic field at Istanbul, *Revue de la Faculté des Sciences de l'Université d'Istanbul*, Ser. C, 36, 117-127.
- Leaton, B.R., Malin, S.R.C., Finch, H.F., 1962. The solar and luni-solar daily variation of geomagnetic field at Greenwich and Abinger, *R. Obs. Bull. Lond.*, 63, 1916-1957.
- Malin, S.R.C., Chapman, S., 1970. The determination of lunar daily geophysical variations by the Chapman-Miller Method, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 19, 15-35.
- Malin, S.R.C., 1973. Worldwide distribution of geomagnetic tides, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 274, 551-594.
- Malin, S.R.C., Schlapp, D.M., 1980. Geomagnetic lunar analysis by least-squares, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 60, 409-418.
- Malin, S.R.C., Tuncer, M.K., Yazıcı-Çakın, O., 1996. Systematic analysis of magnetic observatory data-I. A proposed method, *Geophys. J. Int.*, 126, 635-644.
- Torta, J.M., Curto, J.J. & Bencze, P., 1997. Behavior of the quiet day ionospheric current system in the European region, *J. geophys. Res.*, **102**, 2483-2494.
- Winch, D.E., 1981. Spherical harmonic analysis of geomagnetic tides, 1964-1965, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 303, 1-104.



OTOMATİK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ

Halil İbrahim KORUCA*, Emine Rumeysa KOCAER

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Otomatik Üretim Hattı,
Makine Arızaları,
Tampon Stok Seviyeleri.

Öz

Rekabet koşulları, düşük maliyet ve yüksek miktarda teslim kabiliyeti ve müşteri talepleri işletmeleri üretim hızı yüksek otomatik üretim hatlarını kullanmaya zorunlu hale getirmiştir. Otomatik makine sistemleri, yüksek üretim hızları nedeniyle tercih edilmesinin yansısı bu makinelerin herhangi birinde meydana gelen arıza, tüm makinelerin durmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda sistemin verimi ile üretim hızını düşürmekte ve birim ürün maliyetlerini yükseltmektedir. Bu çalışmada, meyve suyu ve içecek dolum ünitesi otomatik üretim hattında yer alan makine arızaları, arıza ve tampon stok seviye verimlilikleri analiz edilmiştir. Hattın verimlilik performansını görmek ve iyileştirmek için matematiksel yöntemlerle çevrim süresi, verimlilik ve üretim hızı parametreleri hesaplanmıştır. Otomatik üretim hatlarına tampon stok yerleştirme durumlarında dâhili depolu transfer hatlarında arıza süresi ile ilgili dağılımlar dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Arızalanma sıklığı ve tamir bakım süreleri geçmişteki verilerden farklı hat tasarımı ve tampon stok seviyelerindeki hattın verimlilikleri ve üretim hızları hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

PRODUCTIVITY ANALYSIS AT AUTOMATIC PRODUCTION SYSTEMS

Keywords

Automatic Production Line,
Machine Malfunctions,
Buffer Stock Levels.

Abstract

Competitive conditions, low cost and high delivery capability and customer demands compulsory to use automated production lines with high production speed. These automatic sequential machines are frequently used especially in terms of hygiene in food enterprises. Automatic machine systems are preferred due to high production speeds, but failure in any of these machines causes all machines to stop, resulting in lower system efficiency and production speed, and increases unit product costs. In this study, machine malfunctions, malfunction and buffer stock level efficiencies in automatic production line of fruit juice and beverage filling unit were analyzed. The cycle time, efficiency and production rate parameters were calculated by mathematical methods to see and improve the efficiency of the line. Calculations were made by taking into consideration the distributions related to the failure time in the internal storage lines with automatic storage. Failure frequency and repair maintenance times were calculated and interpreted in terms of line design and buffer stock levels.

Alıntı / Cite

Koruca, H.İ., Kocaer, E.R., (2019). Otomatik Üretim Sistemlerinde Verimlilik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 897-905.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H.İ. Koruca, 0000-0002-2448-1772
E.R. Kocaer, 0000-0002-1822-7540

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.07.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1.Giriş

Üretim işletmelerinde aynı ve benzer ürünlere ilgi veya müşteri taleplerindeki artış üretim hızının

artırılmasını gerektirir. Üretim hızı da üretim sisteminin otomasyon derecesine, teknolojisine bağlıdır. Bununla birlikte, rekabet ortamında işletmeler yaşamını sürdürebilmek için maliyetlerini

* İlgili yazar / Corresponding author: halilkoruca@sdu.edu.tr, 02462118009

düşürerek, ürünlerinin kalitesini yükselterek ve verimliliklerini artırarak rakiplerden daha üstün duruma gelebilirler. Bu tür işletmelerde üretim faktörlerini, kaynaklarını en etkin kullanmak rekabetin ön koşulu haline gelmiştir.

Birden fazla mamulün üretildiği günümüz modern işletmelerinde üretim planlama çalışmaları, üretilen mamuller için en uygun miktarların belirlenmesi amacı ile yapılmaktadır. Hangi mamulden ne kadar üretileceği belirlenmeye çalışılırken farklı amaçlar içinden sadece birini dikkate alan yöntemlerle planlama çalışması yapmak yetersiz kalmaktadır. Çünkü günümüz işletmelerinde, kapasitenin tam kullanılması, boş beklemlerin azaltılması, tedarik süresinin kısaltılması, stokların belirli bir seviyede tutulması sonucu kârın maksimize edilmesi hedeflenirken birbiriyle çelişen bu farklı amaçların yönetilmesi gerekmektedir. (Bumin ve Erol, 1992).

Bu çalışmada, meyveli içecekler üreten bir firmanın üretim hattının duruş süreleri ve frekansları incelenmiştir. Hattın arasına tampon stok yerleştirme ve tampon stok miktarı ilgili senaryolar sonucunda verimlilik ve üretim miktarı analiz edilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

İşletmelerde kullanılan makine ve teçhizatlar nominal kapasiteleri seviyesine çoğunlukla ulaşamamaktadır. Bunun nedenleri ise, iş gücü verimliliğinin düşük olması, makine arızaları, yönetimin organizasyon karar verme yetersizliği ve diğer ekonomik koşullardan kaynaklanmaktadır. Arızaların sebep olduğu makine duruşları da kapasitenin yeterince kullanılmasına engel olmaktadır. Bakım ve onarımın yetersiz olması işletme veriminin ve kalitenin düşmesine neden olmakta, sonuçta ürün maliyetlerini arttırmaktadır (Düzakın ve Demircioğlu, 2005).

İşletmelerde bakım- onarım sistemi üretimin ve/veya hizmetin gerçekleştirildiği tesis, hat, makine ve teçhizat etkinliği ve verimliliği belirlenmiş yönetim politikalarıyla teknik özellikleri uygun, yeterli bir seviyede tutulması sağlamak üzere kurulur. Belli bir kullanım süresinden sonra aşınma ve yıpranma sonucunda tesis, hat, makine ve teçhizatın kapasite ve hassasiyetleri düşer. İşletme yönetimi ise gerek üretim hızının ve gerekse üretim kalitesinin düşmemesi ister. Bunun için tesis ve/veya hat uygun bir bakım- onarım politikası ile çalıştırılması gerektirir. Uygun bakım-onarım sistemi kurulması ile katlanılacak maliyetler dikkatle analiz edilmelidir (Baraçlı vd., 2001).

Her bir iş istasyonundaki amaç, tasarlanan çevrim süresi içinde bitirilmeli ki, normal olarak hattın aynı anda hareket etmesi mümkün gelsin. Bu nedenle, herhangi bir iş istasyonu arızalandığında veya

durdurulduğunda, tüm iş istasyonlarının da durdurulması gerekir. Tahmin edebileceği gibi, bir üretim sürecinde parçanın kısa süreli alet veya makine ayarlaması, kalite kontrolü, ekipmanın arızalanması vb. gibi nedenlerle çeşitli küçük duruşlar veya arızalar olacaktır. Bu küçük durmalar verimliliği önemli ölçüde düşürür. Dolayısıyla, iş istasyonları arasındaki bir tampon stok bulundurmaya akış yönü iş istasyonlarının, tampon bitinceye veya durdurulan iş istasyonunun iyileştirilmesi tamamlanmaya kadar görevlerini sürdürmelerine izin vermek amacıyla, yukarıda belirtilen sorunu hafifletecek tampon stok ve miktarı tasarlanırlar (Chomnawung vd, 2016).

Üretim hattındaki makineler arasında tampon stok bulundurmaya arıza duruşlarında üretimin devam etmesini sağlar. Üretim kesilmediği için duruşlardan kaynaklanan üretim kayıpları tüm sistemi etkilemez ve minimum seviyeye düşer. Tampon stoklar üretimin kesilmemesi için üretim hattının hemen yanında bulunan stoktur. Bu duruma uyan çok sayıda örnekler üç grupta toplanabilir (Perry ve Posner, 2000).

1) Tampon stokun üretimdeki bir makine tarafından yapılması durumu; Örneğin, araba üretim hattında gövdeyi oluşturan metali kesen makine, üretim hattı için gereğinden daha fazla sayıda üretilip stoklanması, duruş anında üretimin kesilmesini engeller.

2) Birçok parçadan oluşan bir ürün için; Üretim makinelerinde gerektiğinden daha fazla üretilir ise, duruş anında makine monte işlemi kesilmeden devam edilebilir.

3) Seri haldeki makineler için; Makinenin durduğu anda tampon stoku kullanılarak üretim kesilmeden devam eder. Bir otomatik transfer hattının verimliliği, hattın birkaç aşamaya bölünmesi ve aşamalar arasında tampon depoların yerleştirilmesiyle de artırılabilir.

Buzacott (1967), hat transfer makinelerinde tampon stokların otomatik sabit çevrim üzerindeki etkisinin teorik bir çalışmasının sonuçları verilmektedir. Çalışmada verimlilikteki iyileşmenin aşama sayısına, aşamaların göreceli başarısızlık oranına, tamponların kapasitesine ve aşama tamir sürelerinin dağılımına bağlı olduğu gösterilmektedir. Ayrıca sürekli bir akış hattında, üç makine ve iki tampon ile ara tamponların optimum stok seviyelerinin belirlenmesi için denklemler türetilmiştir.

Hillier ve So (1991) çalışmalarında, makine arızasında bir üretim hattı performansını araştırıp, tampon boyutunun hat performansına etkisini incelemiştir.

Wijngaard (1979) çalışmasında, iki üretim biriminin farklı üretim oranlarına, farklı arıza oranlarına ve farklı tamir oranlarına sahip olduğu durumlarda, kademeli tampon stokların iki aşamalı üretim hattının çıktısı üzerindeki etkisi ele almıştır. Sınırlı tamponlu iki aşamalı bir aktarma hattının sabit durma süresi ile geometrik durma süresi dağılımı arasındaki hat verimliliği karşılaştırılmıştır.

Enginarlar vd. (2002), istenen üretim hızını ulaşmak için gerekli olan en küçük tampon stok kapasitesini araştırmışlardır.

Prombanpong vd., (2013), çalışmasında otomatik bir transfer hattında tampon stok kapasitesinin karmaşıklığını belirleyebilmek ve tampon stok sonucunda bölünen istasyonların bölünme etkisini azaltmak için iş istasyonları arasındaki tampon stok kapasitesi tasarımını araştırmışlardır.

Koçak ve İşçioğlu (2018), meyve suyu dolmuş hattında güvenilirlik analizi yaparak imalat hatlarında arıza yapan makineler için bakım faaliyetlerinin sağlanacağı alt yapının kurulmasını amaçlamışlardır. Bunun için 5,5 aylık arıza ve tamir verileri kullanılarak her iki hattaki beş makinenin ve hatların güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, öncelikle her bir makinenin arıza türleri belirlenerek arıza ve tamir verileriyle makine ve hatların tanımlayıcı istatistikleri elde edilmiştir. Her bir makinenin arıza ve tamir verilerinin dağılımları incelenerek en uygun dağılım tespit edilmiştir. Bu dağılımlara göre iki hat için makine ve hat bazında güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

Lopes (2018), kalite kontrol politikasının üretilen ürünlerin yüzdesinin kontrol edildiği kusurlu üretim sistemine etkisini incelemiştir. Her çevrimden sonra önleyici bakım yapılmakta ve talebi karşılamak için bir tampon stok oluşturulmuştur ve kontrol sırasında tespit edilen kusurlu parçaların tekrar çalışmak üzere gönderilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Model, parti başına beklenen toplam maliyeti en aza indirme hedefi ile formüle edilmiştir. Sonuç olarak, ürünlerde hataların olasılığının en uygun miktar üretim ve kontrol edilen parti yüzdesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Koruca vd. (2018), otomatik üretim hattına sahip bir gıda işletmesinde süt dolumunun yapıldığı UHT hattında farklı tampon stok seviyeleri analiz edilmiştir. Otomatik üretim hattı olarak UHT birimindeki 200 ml'lik sade ve aromalı paket sütleri üreten A3 Speed Slim makinesinin bulunduğu hat analiz edilmiştir. Hat üzerindeki işlemler farklı otomatik makineler tarafından gerçekleştirilmektedir. Makinelerin arıza duruş süreleri ve arızalanma frekansları farklılık göstermektedir. Arıza ve tamir bakım sürelerinin

değişken olması sistem verimliliğini etkilemektedir. En uygun seviyedeki üretim hızı, stok miktarı seviyesi ve verimlilik analiz edilmiştir.

3. Otomatik Üretim Hatlarında Performans Ölçme Parametreleri

Bir otomatik üretim hattı, birden çok otomatik iş istasyonunun parçalarını bir istasyondan diğer istasyona transfer eden bir taşıma sistemi yardımıyla birbirine bağlanmasından oluşur. İşlenmemiş/ham bir iş parçası hattın bir ucundan girer ve parça üretim hattında ilerledikçe işleme basamakları sırasıyla gerçekleştirilir. Üretim hattının performansını ölçmek için; çevrim süresi, üretim hızı, hat verimliliği ve üretim tamamlanma süresi gibi parametreler verimliliği değerlendirmede dikkate alınabilir.

3.1. Çevrim Süresi

Otomatik üretim hattının çalışmasında parçalar önce birinci istasyona gelir, orada işlendikten sonra belirli aralıklarla bir sonraki istasyonlara aktarılır. Parçanın ilk istasyona geldiği ve son istasyondan çıktığı ana kadar geçen süre çevrim süresi olarak adlandırılmaktadır. Çevrim süresi transfer süresine maksimum işlem süresinin eklenmesi ile bulunmaktadır (Groover, 1987).

$$T_c = \text{Maks} \{ T_{si} \} + T_r \quad (1)$$

T_r : Transfer süresi olarak da adlandırılan tekrar konumlandırma süresidir (dk).

T_{si} : i istasyonundaki işlem süresi (dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

3.2. Gerçek Ortalama Çevrim Süresi

Transfer hattının operasyonu sırasında planlı durmalar, gelişigüzel arızalar ve hatalar durmalara yol açar. Hat duruşlar hattın ortaya çıkan ortalama üretim çevrim süresi ideal çevrim süresinden fazla olmasına olur. Gerçek ortalama çevrim süresi ise;

$$T_p = T_c + F * T_d \quad (2)$$

ile hesaplanır.

T_p : Gerçek ortalama çevrim süresi (dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

F: Durma frekansı (hat duruşu/çevrim)

T_d : Hat duruşu başına ortalama süre (dk)

Durma frekansı (F) ise şu şekilde bulunur:

$$F = \sum_{i=1}^n p_i \quad (3)$$

$$P_i = \frac{\text{Yıllık Hata Sayısı}}{\text{Yıllık Üretim Yapılan Gün Sayısı}} * \frac{1}{\text{Günlük Üretim Miktarı}} \quad (4)$$

p_i : İstasyonun arızalanma olasılığı
 n : İstasyon sayısı.

3.3. Üretim Hızı

Üretim hattından veya makineden birim zamanda üretilen miktar üretim hızı (R_p) olarak tanımlanır.

$$R_p = \frac{1}{T_p} \quad (5)$$

$$R_c = \frac{1}{T_c} \quad (6)$$

$$E = \frac{T_c}{T_p} \quad (7)$$

R_p : Gerçek ortalama üretim hızı (parça/dk)

T_p : Gerçek ortalama çevrim süresi (dk)

R_c : İdeal ortalama üretim hızı (parça/dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

3.4. Hat Verimliliği

a) Arızasız Durumda Hat Verimliliği: Üretim hattının çalışır kalma oranını olarak tanımlamaktadır. Hat verimliliği ideal çevrim süresinin gerçek çevrim süresine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$E = \frac{T_c}{T_p} = \frac{T_c}{T_c + F * T_d} \quad (8)$$

$$D = \frac{F * T_c}{T_p} = \frac{F * T_d}{T_c + F * T_d} \quad (9)$$

E: Üretim hattında çalışır kalma oranı

D = Durma oranı

b) Arızalı Durumda Hat Verimliliği: Bir iş istasyonu arızalandığı durumda üretim hattındaki diğer makineler/ iş istasyonu beslenemediği için durmak zorunda kalmaktadır. Bu nedenle hat verimliliği azalmaktadır. Verimliliğin azalmasını engellemek için hat birkaç kademeye ayrılabilir. Aşağıda verimlilik hesabı ile ilgili formül verilmiştir (Groover,1987).

$$E_b = E_0 + D'_1 h(b) E_2 \quad (10)$$

E_b : b kapasiteli tampon stok deposu olan iki basamaklı hattın toplam hat verimliliği.

E_0 : Tampon stok olmadan hat verimliliği.

$D'_1 h(b) E_2$: Tampon stok kapasitesi sıfırdan büyük olduğu durumlarda verimlilik artışını gösterir.

$h(b)$: Tampon stok kapasitesi.

Birinci kısımdaki hattın arızalı olduğu toplam süresinin oranı:

$$D'_1 = \frac{F_1 T_d}{T_c + (F_1 + F_2) T_d} \quad (11)$$

$h(b)$ 'nin hesaplanması:

$$h(b) = \frac{r * (1 - K^b)}{1 - r * K^b} \quad (12)$$

$$K = \frac{1 + r - \frac{T_c}{T_d}}{1 + r - r * \frac{T_c}{T_d}} \quad (13)$$

Arıza frekansı oranı:

$$r = \frac{F_1}{F_2} \quad (14)$$

3.5. Üretim Tamamlanma Süresi

Bir ürünün bir üretim hattındaki tüm istasyondan geçerek tamamlanma süresi formülü aşağıdaki gibidir (Groover, 1987).

$$MLT = n * T_c + T_0 \quad (15)$$

n : İş istasyonu sayısı

T_0 : Bekleme (arıza) süresi

4. Uygulama: Bir Meyve Suyu Üretim Tesisinde Verimlilik Analizi

Üretim sürecinde makine arızalanması, güç kesintisi, molalar gibi birçok faktör duruşlara neden olmaktadır. Meydana gelen bu duruşlar verimliliği ve üretim miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Üretim hatlarının durumdan fazla etkilenmemesi için hat kenarlarına tampon stok veya hat bölünerek tampon stok yerleştirilmesi ile tüm hattın durması önlenir. Bu durum, herhangi bir sebepten dolayı gerçekleşen duruşlarda tüm hattın verimliliğini etkilenmeyecek ve üretim miktarı artacaktır.

Bu çalışma, Isparta'da faaliyet gösteren meyve suyu içeceği üreten bir firmada şişeye içecek dolumu ve paketleme hattında gerçekleştirilmiştir. Üretim hat kenarlarına tampon stok koyularak verimliliğin ve üretim miktarlarının artması amaçlanmaktadır.

Firmanın üretim hattındaki, arızasız üretim kapasitesi teorik olarak 1.224.000 şişe/gündür. İşletme, Mayıs - Aralık 2017 döneminde 138.334.440 şişe/yıl kapasite ile üretim gerçekleştirmiştir.

4.1. Mevcut Durum İş Akışı

Üretimi gerçekleştirilen içeceğin iş akışı Şekil 1'de verilmiştir. Üretim aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- Şuruphane:** Üretilen içeceğin ana malzemesi şurup bu birimde üretilir. Üretimi biten şurup ise doluma gönderilir.
- Boş Kutu:** Dolumu gerçekleştirilecek olan boş kutular burada üretilir. Boş kutular yıkandıktan sonra doluma gönderilir.

3. **Dolum:** Şuruphane ve boş kutu hattından beslenen bu hatta otomatik üretim makineleri ile dolum yapılır.
4. **Kapaklama:** Dolum işlemi biten içecek kutuları bu hatta kapaklanır.
5. **Kodlama:** Kapaklama işlemi biten kutular bu hatta gelir. Burada üretim tarihi, üretim yeri ve son kullanma tarihi kodlanır.
6. **Paketleme:** Üretimi biten içecekler paketlenerek dağıtımına hazır hale getirilir.
7. **Paletleme:** Paketlenen ürünler depolara sevk edilerek dağıtımına gönderilir.



Şekil 1: Mevcut Sistemin Üretim/İş Akışı

4.2. İstasyonların Arıza Süreleri

İş akışına göre istasyonların arıza durumundaki toplam duruş/ arıza süreleri ve arızalanma sıklıkları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1: İstasyonların Arızalanma Süresi ve Sıklığı

İstasyon	Arıza Süresi (dk)	Arızalanma Sıklığı (defa)
Şuruphane	26	344
Boş Kutu	27	367
Dolum	61	342
Kapaklama	23	376
Kodlama	29	361
Paketleme	37	351
Paletleme	25	382

4.3. Mevcut Sistem Analizi

a) Mevcut Çevrim Süresi

Üretim hattının mevcut çevrim süresi Eşitlik (1)'den

$$T_c = \frac{1020}{1224000} = 0,000833 \text{ dk olarak bulunur.}$$

Tüm istasyonlarda bir ürünün işlenme süresi eşit kabul edilmiştir.

b) Makinelerin Arızalanma Frekansları

Üretim hattı toplam 166 gün çalışmıştır ve arızasız üretim kapasitesi teorik olarak 1.224.000 şişe/gündür. Makinelerin arızalanma sıklıkları Tablo 1'de verilmiştir. Makinelerin arızalanma sıklıkları Eşitlik (4) kullanılarak;

$$P_{\text{Şuruphane}} = \frac{344}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000016929$$

$$P_{\text{Boş Kutu}} = \frac{367}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018060$$

$$P_{\text{Dolum}} = \frac{342}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000016830$$

$$P_{\text{Kapaklama}} = \frac{376}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018503$$

$$P_{\text{Kodlama}} = \frac{361}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000017765$$

$$P_{\text{Paketleme}} = \frac{351}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000017273$$

$$P_{\text{Paletleme}} = \frac{382}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018799$$

olarak bulunur.

c) Hattın Verimliliği

Üretim hattının verimliliği Eşitlik (8) kullanılarak bulunur.

$$F = \sum_{i=1}^7 p_i = 0,0000124159$$

$$T_d = \frac{26 * 344 + 61 * 342 + 23 * 376 + 29 * 361 + 37 * 351 + 25 * 382 + 27 * 367}{344 + 367 + 342 + 376 + 361 + 351 + 382}$$

$$= 32,2508 \text{ dk}$$

$$E_{\text{Hat}} = \frac{0,000833}{0,000833 + (0,000012159 * 32,2508)} = 0,679$$

d) Üretim Hızı

Birim zamanda üretilen üretim miktarı Eşitlik (6) 'dan;

$$R_c = \frac{0,68}{0,000833} = 817 \text{ şişe/dk}$$

e) Üretim Tamamlanma Süresi

Her istasyonun günlük arıza süreleri bulunmuş ve her istasyon için Eşitlik (15) kullanılarak üretim tamamlanma süresi hesaplanmıştır.

Tablo 2: Üretim Tamamlanma Süresi

İstasyon	Günlük Arıza Süresi	Üretim Tamamlanma Süresi
Şuruphane	2	2,000833
Boş Kutu	4	4,000833
Dolum	11	11,000833
Kapaklama	3	3,000833
Kodlama	9	9,000833
Paketleme	8	8,000833
Paletleme	6	6,000833

4.3. Tampon Stok İlave Edilmesi Durumları

Mevcut sistemde bulunan makinalardan birinin arızalanması diğer makinaları ve üretimi

durdurmaktadır. Üretimin durması verimliliğin azalmasını ve belirli maliyetleri beraberinde getirmektedir. Üretimin durmaması için tampon stok bitene kadar üretim devam edeceğinden bir miktar tampon stoğun bulundurulması üretim kaybını ve maliyetlerini azaltacaktır.

4.3.1. Hattın İki Kısma Ayrılması Durumu

Üretim hattında yedi istasyonu bulunan üretim hattı ikiye ayrıldığında; birinci kısım Şuruphane - Boş Kutu, Dolu bölümlerinden oluşturulmuştur. İkinci kısım Kapaklama, Kodlama, Paketleme ve Paletleme kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 2: İki Kısma Ayrılan ve Eklenen Tampon Stok

Birinci kısmın frekansı:

$$F_1 = \sum_{i=1}^3 p_i = 0,0000051819$$

İkinci kısmın frekansı:

$$F_2 = \sum_{i=1}^4 p_i = 0,0000072340$$

Gerçek ortalama üretim süresi Eşitlik (2) ile hesaplanmaktadır. İkiye ayrılan hatların gerçek ortalama üretim süreleri ise;

$$T_{p1} = 0,000833 + 0,0000051819 * 32,2508$$

$$T_{p1} = 0,0010001210 \text{ dk.}$$

$$T_{p2} = 0,000833 + 0,0000072340 * 32,2508$$

$$T_{p2} = 0,0010663028 \text{ dk.}$$

Eşitlik (7)'den birinci kısmın verimliliği;

$$E_1 = \frac{0,000833}{0,0010001210} = 0,83$$

Eşitlik (7)'den ikinci kısmın verimliliği;

$$E_2 = \frac{0,000833}{0,0010663028} = 0,78$$

a) İki Kısma Ayrılan Hattın 5000 Şişe Stoklu Tampon Durumu

Üretim hattında 5000 şişe tampon stok bulunması durumunda hat verimliliği;

$$D'_1 = \frac{0,0000051819 * 32,2508}{0,000833 + (0,0000051819 + 0,0000072340) * 32,2508}$$

$$D'_1 = 0,135493548$$

Eşitlik 12'den h(b)'nin bulunması;

$$K = \frac{1 + 0,716326531 - \frac{0,000833}{32,2508}}{1 + 0,716326531 - 0,716326531 * \frac{0,000833}{32,2508}}$$

$$K = 0,9999957310$$

$$h(b) = \frac{0,716326531 * (1 - 0,9999957310^{5000})}{1 - 0,716326531 * 0,9999957310^{5000}}$$

$$h(b) = 0,0506289160$$

Verimlilik;

$$E_{5000} = E_0 + D'_1 h(b) E_2$$

$$E_{5000} = 0,68 + 0,135493548 * 0,0506289 * 0,78$$

$$E_{5000} = 0,69$$

İki kısma ayrılan hattın üretim hızı;

$$Rc = \frac{0,69}{0,000833} = 829 \text{ şişe/dk}$$

b) İki Kısma Ayrılan Hattın 20000 Şişe Tampon Stok Yerleştirilmesi

Dolum hattı ile Kapaklama hattı arasında PVC bantlı konveyörden koyulması düşünülmüştür. Üretim hattında 20000 şişe tampon stok bulunması durumunda hat verimliliği aşağıdaki gibi bulunur.

Eşitlik 12'den h(b)'nin bulunması;

$$r = \frac{0,0000051819}{0,000007234} = 0,716326531$$

$$K = \frac{1 + 0,716326531 - \frac{0,000833}{32,2508}}{1 + 0,716326531 - 0,716326531 * \frac{0,000833}{32,2508}}$$

$$K = 0,9999957310$$

$$h(b) = \frac{0,716326531 * (1 - 0,9999957310^{20000})}{1 - 0,716326531 * 0,9999957310^{20000}}$$

$$h(b) = 0,1712611732$$

Verimlilik;

$$E_{20000} = E_0 + D'_1 h(b) E_2$$

$$E_{20000} = 0,679 + 0,135493548 * 0,1712611732 * 0,78$$

$$E_{20000} = 0,70$$

İki kısma ayrılan hattın üretim hızı;

$$R_c = \frac{0,70}{0,000833} = 840 \text{ şişe/dk}$$

c) İki Kısma Ayrılan Hatta Sonsuz Kapasiteli Tampon Stoklu Durumu

Yedi istasyonu bulunan hattın iki kısma ayrıldığı ve iki hat arasında sonsuz adet kapasiteli bantlı konveyör yerleştirildiği durumda verimliliğin hesaplanabilmesi için durma frekanslarının eşit olduğu kabul edilir.

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = 0,0000062079$$

(Ayrılan hatların frekansların eşit olabilmesi için toplam frekansın ortalaması alınır.)

Eşitlik (2)'den ortalama üretim süresi;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000062079 * 32,2508$$

$$T_p = 0,0010332119 \text{ dk}$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,0010332119} = 0,81 \text{ olarak bulunur.}$$

İki kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,81}{0,000833} = 973 \text{ şişe/dk}$$

4.4. Hattın Üç Kısma Ayrılması Durumu

Üretim hatları iki kısma ayrıldığı, Makine arızalarının yoğun olduğu Paketleme bölümüne de bir tampon stok koyulduğunda ne gibi değişiklikler olacağı bu kısımda araştırılmıştır. Hat birinci kısım; Şuruphane, Boş kutu, Dolum, İkinci kısım; Kapaklama, Kodlama. Üçüncü kısım; Paketleme, Paletleme olarak ayrılmıştır.



Şekil 3: Üç Kısma Ayrılan ve Eklenen Konveyör

a) Üç Kısma Ayrılan Hatta Sonsuz Kapasiteli Tampon Stoklu Durumu

Yedi istasyonu bulunan hattı üç kısma ayırıp bu üç hat arasında sonsuz adet kapasiteli bantlı tampon konveyör eklenirse verimliliğin hesaplanabilmesi için durma frekanslarının eşit olması gerekmektedir.

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = 0,0000041386$$

Eşitlik (2)'den ortalama üretim süresi;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000041386 * 32,2508$$

$$T_p = 0,0009664746$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,0009664746} = 0,86$$

Üç kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,86}{0,000833} = 1033 \text{ şişe/dk olarak bulunur.}$$

4.5. Her Bir İstasyon/ Makineler Arasına Sonsuz Kapasiteli Tampon Stok Yerleştirilmesi Durumu

Yedi hat bulunan üretim sistemimizde bütün hatların arasında sonsuz kapasiteli tampon stok yerleştirildiği durum;

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = F_3 \dots = F_7 = 0,0000017737$$

Ortalama üretim süresi eşitlik (2) kullanılarak;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000017737 * 32,2508$$

$$T_p = 0,000890203 \text{ dk.}$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,000890203} = 0,94$$

Yedi kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,94}{0,000833} = 1129 \text{ şişe/dk}$$

5. Sonuç

Bu çalışmada, meyve suyu şişe dolum tesisinde otomatik üretim hattındaki makine arızaları, meyve suyu içecekleri üreten bir işletmenin otomatik üretim sistemi; makineler, makinelerin arızalanma süreleri ve arızalanma frekansları verilerinden yararlanarak mevcut sistemin verimliliği hesaplanmıştır. Mevcut duruma ilave bir tampon stok, ilave iki tampon stok ve her bir istasyonun arasında bir tampon stok yerleştirildiği senaryolar oluşturulmuştur. Bununla birlikte oluşturulan stoklardan 5000, 20000 ve sonsuz stoklu durumlardaki verimlilik ile üretim miktarları hesaplanmıştır (Tablo 3).

2017 yılında Mayıs – Aralık döneminde elde edilen verilere göre verimlilik %67,9 hesaplanmıştır. Üretim hızı ise 817 şişe/ dk olarak hesaplanmıştır.

Makine arızalarının yoğun olduğu istasyonlar tespit edilmiş ve istasyonlarda hat iki kısma ayrılarak, tüm hattın tamir/ onarım işlemlerinden mümkün olduğunca az etkilenmesi istenmiştir. Üretim sistemi iki kısma ayrılarak, sisteme 5000 ve 20000 stok kapasiteli PVC bantlı konveyör yerleştirilmiştir. Yerleştirilen 5000 stok kapasiteli tampon stok hat verimliliği %69 ve 20000 stok kapasiteli tampon stoklu hat verimliliği %70 olarak elde edilmiştir. Mevcut sistem ile arasında küçük bir verimlilik artışı olduğu görülmektedir. Sisteme sonsuz kapasiteli tek tampon stoklu konveyör eklendiğinde verimlilik %81'e yükselmiştir. Üretim hızı ise %19'luk bir artışla 973 şişe/dk olarak hesaplanmıştır.

Üretim sistemini makine arızalarının yoğun olduğu istasyonlarda hat üç kısma ayrılarak incelendiğinde, verimlilik %86 olarak hesaplanmıştır. Üretim hızı ise %26'lık bir artışla 1033 şişe/dk yükselmiştir.

Yedi istasyonu bulunan üretim sistemine her istasyon için sonsuz kapasiteli tampon stok yerleştirilmiştir. Verimlilik %94 üretim miktarı ise 1129 şişe/dk hesaplanmıştır.

Tablo 3. Verimlilik – Üretim Miktarı

Durum	Tampon Stok Miktarı	Verimlilik	Üretim Miktarı (şişe/dk)
Mevcut Durum	-	0,679	817
Hattın İki Kısma Ayrılması Durumu	5000 Tampon Stok	0,69	829
	20000 Tampon Stok	0,70	840
	Sonsuz Tampon Stok	0,81	973
Hattın Üç Kısma Ayrılması Durumu	Sonsuz Tampon Stok	0,86	1033
Hattın Yedi Kısma Ayrılması Durumu	Sonsuz Tampon Stok	0,94	1129

Hattın verimliliğini artırmak için üretim hattının ikiye, üçe ayrılarak ara stok yerleştirilmesi ve de her bir makine için ara stok yerleştirilmesi durumunda verimlilik ve üretim hızı hesaplamaları Tablo 3'de verilmiştir. Bu sonuçlarda, bantlı konveyör tampon stok eklenmesi durumunda verimliliği ve üretim hızını az da olsa artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte üretim hattının sonsuz stok kapasiteli çalışması durumunda %38 artırdığı hesaplanmıştır.

Fakat, istasyonlar arasına tampon stok eklemek üretim hattı kurma amacına uygun değildir.

Bu sonuçlardan, üretim hattı için getirilebilecek en uygun öneri, tampon stok konveyörünün eklenmesi ile verimliliğin ve üretim miktarının artacağı yönünde sonuçlar elde edilmiştir. Buna karşın, hattın çevresinde oluşan stoklar ve stok bulundurma maliyeti dikkate alınması ve oluşan yönetim karmaşıklığı, çeşitli sorunlara da neden olabileceğinden göz ardı edilmemelidir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Baraçlı, H., Çoşkun, S., Eser, A., 2001. Toplam Kalite Programlarının Başarılı Olarak Uygulanabilmesinde Toplam Üretken Bakım Tekniği. MMO Dergisi, 331- 340.
- Bumin, B., Erol, S., 1992. Çok Ürünlü Üretim Sistemlerinde Amaç Programlama Yaklaşımı. Verimlilik Dergisi (21), 4: 1992: 109-124.
- Buzacott, J. A., 1967. Automatic Transfer Lines with Buffer Stocks. International Journal of Production Research, 5(3), 183-200.
- Chomnawung, Y., Prombanpong, S., ve Klavohm, C. 2016. A Buffer Analysis in a Transfer Production Line. MATEC, 68, 4.
- Düzakın, E., Demircioğlu, M., 2005. Bakım Stratjileri ve Bekleme Hattı Modeli Uygulaması. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 211 – 230.
- Enginarlar, E., Lı, J., Zhang, R., ve Meerkov, S. M. 2002. Buffer Capacity for Accommodating Machine Downtime in Serial Production Lines. International Journal of Production Research, 601-624.
- Groover, M., 1987. Automation Production Systems and Computer - Integrated Manufacturing, 4, 441 – 471.
- Gürtekin, O., 1996. Genel Değerlendirme ve Tosyöv'ün Türkiye'de Bakım ve Onarım Yönetimi Destekleme Çalışmaları. Uluslar arası Bakım ve Onarım Yönetimi Kongresi, Ofset Fotomat, Ankara, 33-37.
- Hillier, S. F., So, K. C., 1991. The Effect Of Machine Breakdowns And İnterstage Storage On The Performance Of Production Line Systems.

International Journal Of Production Research, 29, 2043-2055.

Koçak, A., İşçioğlu, F., 2018. Meyve Suyu Dolum Hatlarında Güvenilirlik Analizi. Journal Of Yaşar University, 13(50), 185-196.

Koruca, H.İ., Kaya, Ü., Özen, D.Ö., 2018. Otomatik Paketleme Sisteminin Arıza/ Tamir Bakım İşletmelerinde Verimlilik ve Tampon Stok Seviyesi Belirlenmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 18, 823-838.

Lopes, Rodrigo, 2018. Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system. Computers & Industrial Engineering Journals, 126, 650 - 656.

Perry, D., Posner, M.J.M., 2000. A Correlated M/G/1 Type Queue with Randomized Server Repair and Maintenance Modes.

Prombanpong, S., Kaewyu, J., Thanadulhaveedech, N., Matwangsang, M., 2013. A Buffer Design For Mitigation Downtime Effect In An Automated Transfer Line. International Journal of Innovation, Management and Technology, 4, 155-158.

Wijngaard, J., 1979. The effect of Inter-Stage Buffer Storage on the Output of Two Unreliable Production Units in Series, with Different Production Rates. AIIE Transaction, 42-47.



INVESTIGATING THE UTILITY OF SISAL IN HOT MIX ASPHALT AS A FIBER

Şebnem KARAHANCER^{1*}, Ekinhan ERİŞKİN, Mehmet SALTAN², Serdal TERZİ, Onur SARIOĞLU², Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ³

¹ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Isparta, Turkey

² Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Isparta, Turkey

³ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Textile Engineering Department, Isparta, Turkey

Keywords

Sisal,
Agave Sisalana,
Fiber,
Indirect Tensile Strength,
Tensile Strength Ratio.

Abstract

Hot mix asphalt (HMA) is very common as a highway construction material. Although investment costs are lower than other pavements, HMA needs maintenance and rehabilitation (M&R) more often because of environmental conditions. The time needed for M&R can be extended by using fibers in the mixture. In this study, utility of sisal (Agave Sisalana) plants' fibers are investigated in HMA. Initially, optimum bitumen content according to best aggregate gradation is determined using Superpave volumetric mix design process. Then, fiber is prepared as short (~3 cm) and long (15 – 100 cm) pieces. Prepared fibers are added into HMA mixtures at different ratios (1, 2 and 3‰ by weight of mixture) based on optimum bitumen content. 1‰ short sisal fiber added specimen gave the best unconditioned indirect tensile strength values, and also long fibers gave best tensile strength ratios.

SISALIN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM İÇERİSİNDE LİF OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler

Sisal,
Agave Sisalana,
Fiber,
İndirekt Çekme Dayanımı,
İndirekt Çekme Oranı.

Öz

Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) karayolu inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer üstyapı türlerine göre yatırım maliyetinin düşük olmasına rağmen, sıklıkla çevresel koşullardan dolayı bakım ve rehabilitasyona (B&R) ihtiyaç duymaktadır. B&R için ihtiyaç duyulan süreyi uzatmak için BSK içerisinde lif kullanılabilir. Bu çalışmada, sisal (agave sisalana) ağaçlarının liflerinin BSK içinde kullanılabilirliği incelenmiştir. İlk olarak Superpave karışım tasarımı kullanılarak en iyi agrega gradasyonuna göre optimum bağlayıcı içeriği belirlenmiştir. Daha sonra, lifler kısa (~3 cm) ve uzun (15 – 100 cm) olmak üzere iki uzunlukta hazırlanmıştır. Hazırlanan lifler optimum bağlayıcı içeriğine bağlı olarak farklı oranlarda (%01, %02 ve %03, ağırlıkça) karışıma eklenmiştir. En iyi şartlandırılmamış indirekt çekme dayanımı %01 kısa sisal lif eklenen karışımlarda elde edilmiş, en iyi indirekt çekme oranı ise uzun liflerle elde edilmiştir.

Alıntı / Cite

Karahancer S., Eriskin E., Saltan M., Terzi S., Sarioglu O., Ozdemir Kucukcapraz D., (2019). Investigating the Utility of Sisal in Hot Mix Asphalt as a Fiber, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 906-912.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Karahancer, 0000-0001-7734-2365
E. Erişkin, 0000-0002-0087-0933
M. Saltan, 0000-0001-6221-4918
S. Terzi, 0000-0002-4776-824X
O. Sarioğlu, 0000-0001-6754-7105
D. Özdemir Küçükçapraz, 0000-0003-0209-8323

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.04.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.07.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* Corresponding Author/İlgili Yazar: sebnemsargin@isparta.edu.tr, +90-246-211-80-04

1. Introduction

Hot mix asphalt (HMA) is common worldwide as a construction method for roads. HMA consists of aggregates and bitumen which is a petroleum product. But pavement professionals are focused on alternative materials because of high construction costs (Yilmaz et al. 2011). So, they are looking for some alternative materials which decrease the bitumen rate in the HMA while maintaining or increasing the parameters which affect the structural performance of the HMA.

There are many studies about establishing the necessary structural performance parameters and increasing the performance such as modifying bitumen (Khattak et al. 2012; DuBois et al. 2014; Cardone et al. 2014), using different aggregates in the mixture (Abo-Qudais S. and Al-Shweily 2007; Airey et al. 2008; Yilmaz et al. 2011) and adding additives into the mixture (Hassan et al. 2005; Serin et al. 2012; Morova et al. 2016; Ondurucu and Karacan 2018; Atav and Namirti 2011; Kacar 2018).

A big part of the world uses fibers for many decades to reinforce paving materials. A very common use of fibers is adding them into open graded mixtures or porous asphalt to avoid drain down of bitumen from aggregates. However, use of fibers in dense graded mixtures for increasing the stability or improving cracking resistance is less common. Fibers were reportedly used to provide; increased tensile strength results, increased fatigue resistance, increased rutting resistance, increased abrasion resistance, increased durability, and potential lower life cycle costs (Lottman 1982).

Sisal (Agave Sisalana) fibers (SF) are one of the best fibers in natural fiber classification. Fibers are obtained by removal of fiber bundles from dried sisal plant leaves which are growing in tropical environments. Cross section of a SF has a hollow area which is encompassed by thin polygonal walls. SF have high strength and rigidity because of the high cellulose rate (~%78-88). In addition, SF have good elasticity by having high moisture absorption capability because of

hollow structure of the fiber, and large amount of hydroxyl groups in chemical bonds. SF are used to produce technical textiles since ancient times. Usage areas of SF can be listed as; traditional textiles (twine, ropes, string, carpets, etc.), reinforcing composites (as to reinforce plastics in automobiles, boats, furniture, etc.) and also be used to add strength in construction elements (insulation material due to the low density and good welding specific properties). Near having good mechanical performance of this eco-friendly fiber, it is also cheaper than synthetic fibers which are used for technical textiles (Cook 1984; Mukherjee and Satyanarayana 1984; Joseph et al. 1999; Li et al. 2000; Oladele et al. 2014). When the advantages are considered, SF is a useable material for reinforcing the dense graded pavement.

In this study, sisal fiber (SF) has been used in HMA for wearing course as a fiber and studied the improvements of the mixture. Therefore, optimum bitumen rate and aggregate gradation from volumetric mix design have been obtained. Samples with different SF rates are prepared according to the optimum bitumen and aggregate rates. At the beginning, it is thought to add 1, 3 and 5% SF to the HMA by weight. But samples with 5% SF were incompressible so the rates have been revised as 1, 2 and 3% by weight. In addition, the length of the SF is studied in this study by preparing samples with short SF (~3 cm) and long SF (15 - 100 cm). The prepared samples have been tested in accordance with AASHTO T283.

2. Materials

2.1. Aggregate

Limestone (CaCO_3) aggregate is used in this study. Properties of the aggregate are given in Table 1. Aggregate gradation curve used in this study for preparing mixtures are selected in convenience with aggregate gradation control points (Figure 1) (AASHTO 2001).

Table 1. Properties of aggregates

Sieve Diameter	Properties	Standard	Limestone Aggregate
4.75 - 0.075 mm	Specific Gravity (g/cm^3)	ASTM C 127-88	2.660
	Saturated Specific Gravity		2.652
	Water Absorption (%)		0.130
25 - 4.75 mm	Specific Gravity (g/cm^3)	ASTM C 128 88	2.750
	Saturated Specific Gravity		2.428
	Water Absorption (%)		2.800
	Abrasion Loss (%)	ASTM C 131	20.38

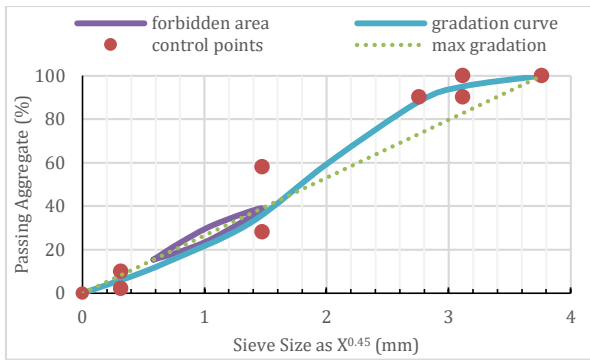


Figure 1. Gradation of the aggregates used in the study

2.2. Bitumen

Basic properties of bitumen are determined by standard bitumen tests. Test results are summarized in Table 2.

Table 2. Bitumen characteristics

Bitumen Tests	Average values	Standard
Penetration (25 °C)	50-70	ASTM D5
Flash Point	180°C	ASTM D92
Combustion Point	230 °C	ASTM D92
Softening Point	53.1°C	ASTM D36
Ductility (5 cm/min)	>100 cm	ASTM D113
Specific Gravity (g/cm ³)	0.995	ASTM D70

Optimum bitumen content is obtained with four different bitumen contents (4.5%, 5%, 5.5% and 6%). HMA samples are prepared by Superpave Gyratory Compactor (SGC). The test results are given in Figure 2-5.

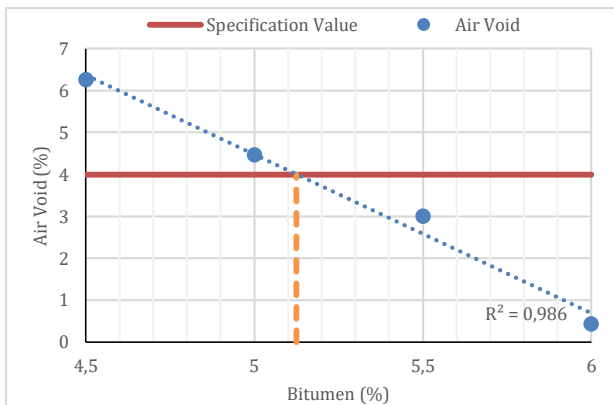


Figure 2. Change on air voids for different bitumen rate

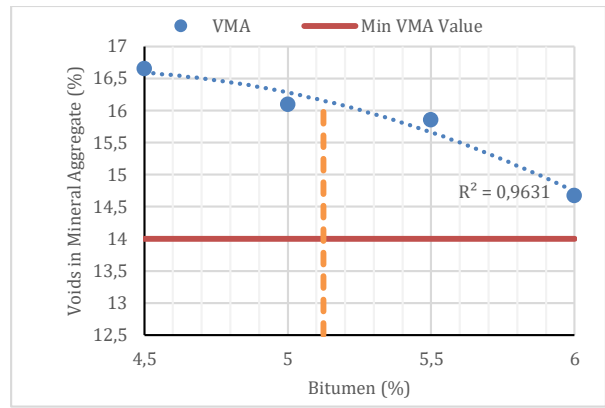


Figure 3. Change on voids in mineral aggregates for different bitumen rates

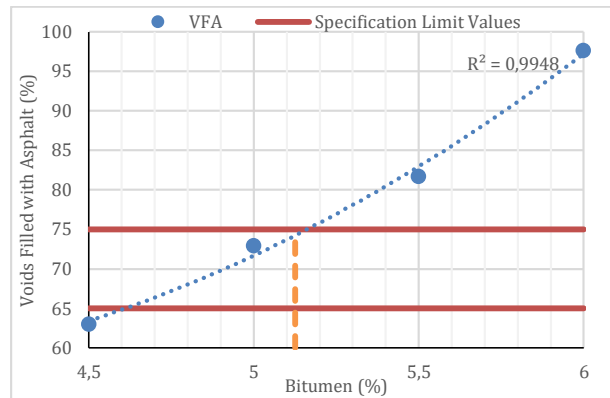


Figure 4. Change on voids filled with asphalt for different bitumen rates

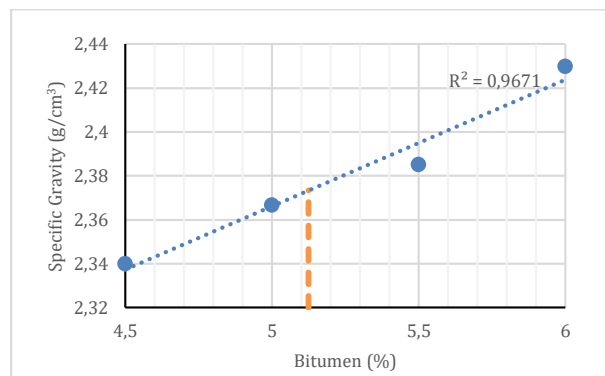


Figure 5. Change on specific gravity for different bitumen rates

Seen on Figure 2, air void content of 4% is ensured by 5.125%. Besides, the bitumen content ensures specification limits (14% min voids in mineral aggregate (VMA) (Figure 3) and 65 – 75% interval voids filled with asphalt (VFA) (Figure 4)). Also, specific gravity for different bitumen rates is given in Figure 5. Based on test results, the optimum bitumen content is used as 5.125%.

2.3. Sisal Fiber

Fibers, used in this study, are obtained from Sisal (Agave Sisalana) plants leaves. The most important parts of the characteristics of sisal fibers are given in Table 3. Photos of sisal fibers taken by light microscope are given in Figure 6.

Table 3. The features of sisal fiber (Mukherjee and Satyanarayana 1984; Joseph et al. 1999; Li et al. 2000; Oladele et al. 2014; Joseph and Thomas 1996; Mwaikambo and Ansell 2002)

Features	Value
<i>Chemical composition of fiber (by weight)</i>	%78-88 cellulose
	%8 lignin
	%10 hemi-celluloses
	%2 waxes
	%1 ash
<i>Crystallinity (%)</i>	70.90
<i>Density (g/cm³)</i>	1.45
<i>Diameter of fiber (µm)</i>	100-300
<i>Tensile strength (MPa)</i>	400-700
<i>Elongation (%)</i>	5-14
<i>Electrical properties</i>	Anti-static
<i>Tensile strength ratio (wet to dry)</i>	~1:2
<i>Fire resistance</i>	Good

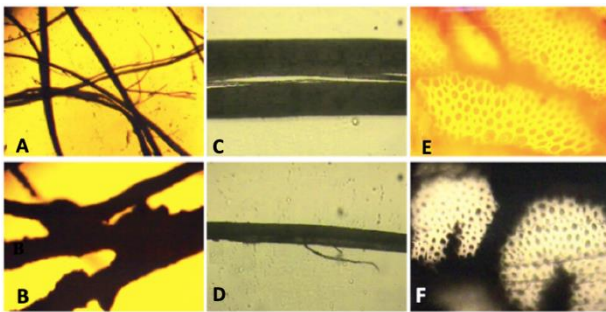


Figure 6. The Morphological analysis of sisal fiber bundles in different conditions

Photos shown in Figure 6 are taken with different magnifications. Photos of A and B are taken with 4x object lens, C and D with 10x object lens and for E and F 40x object lens. A group of basic sisal fibers can be seen from photo of A. A group of sisal fibers can be seen taken from the compacted specimens which are united with bitumen and fine aggregates from photo of B. Although C and D are taken with the same magnification, fineness difference between sisal fibers of different thicknesses can be easily seen. At E and F, cross sections of fibers are shown. E is the cross section of basic sisal fiber and F is cross section of sisal fibers taken from compacted specimens after loading.

3. Method

3.1. Indirect Tensile Strength Test

AASHTO T283 (2011) is adopted to determine the Indirect Tensile (IDT) strength of the prepared specimens. The ratio of the IDTC to IDTU is Tensile Strength Ratio (TSR). Moisture susceptibility is

represented by TSR. A minimum TSR value should be 80%.

3.2. Tensile Strength Test for Sisal Fiber

Morphology and diameter of fiber bundles used in this study are examined by Motic Light Microscopy and image analyzer program. Diameter of the SF are determined by measuring 100 random SF and calculating the mean of the results. Tensile strength test is conducted on basic sisal fiber bundles, extracted sisal fiber bundles from the samples subjected to Indirect Tensile Strength Test, and sisal fiber coated with bitumen. The strength test is performed by Lloyd LR5 K Plus (CRE/The principle of constant elongation rate). 50 mm long SF bounded to 100 N load cell with a 0.005 kN preload were strained at a speed of 50 mm/min. Each SF samples have been tested for five times. Sisal could be effected by mixture preparing conditions like high temperature, moisture etc. as explained in introduction section. By applying this test, the potential differences between the SF samples are determined.

4. Results and Discussion

SF are used in this study to obtain the usability as fiber in hot mix asphalt. Therefore, fibers in leaves of sisal plant are extracted. Obtained fibers had different diameters so to determine an average value, hundred samples are randomly selected from the fiber bundle and measured with an electronic microscope. In Figure 7, the variation of diameters for the basic sisal fibers are shown.

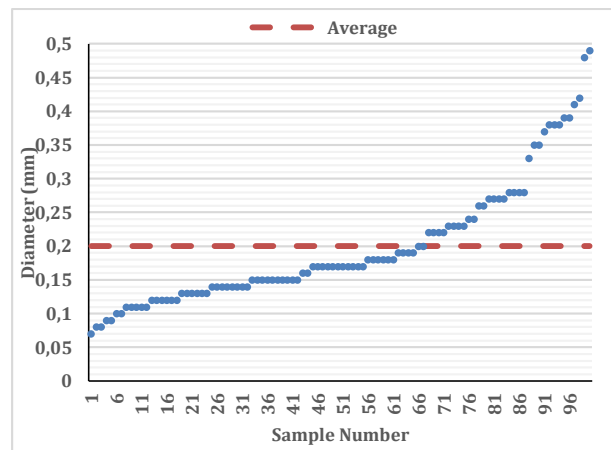


Figure 7. Diameter variation of random selected fiber samples

As seen on Figure 7, average diameter of the samples is obtained as 0.2 mm. Minimum diameter measurement was 0.07 mm and the maximum diameter have been 0.49 mm measured. There was a standard deviation of 0.092 between the diameter measurements.

In Figure 8, load versus elongation graph is shown for the single fiber in different conditions. Five strength analysis tests have been done for each fiber samples in different conditions, and the average values obtained from this test results are used for plotting Figure 8.

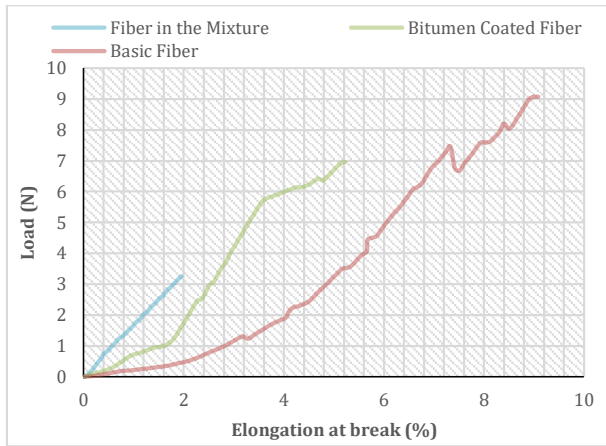


Figure 8. Load elongation graphics of sisal fibers in different conditions

As seen in Figure 8, results of fibers taken from mixture, fibers coated with bitumen and basic fibers are placed side by side. While basic fiber prolonged 9.07% with 9.08 N load at break, fibers taken from compacted specimens, and coated with bitumen had lower values. Minimum values are obtained from fibers taken from compacted specimens which are prolonged 2% with 3.3 N load. The reason that these fibers had the lowest values is that these fibers are damaged while trying to separate them from compacted specimens because of occurring of well attaching of fiber, bitumen and aggregate. Fibers which are coated with bitumen have only an elongation of 5.2% at 7 N load. The difference between basic fiber and fiber coated with bitumen can be explained with coating fiber with bitumen and restriction of elongation.

As seen on Figure 9, by increasing the SF ratio, surface area increases. As a result, bitumen doesn't bond around whole fiber surface.

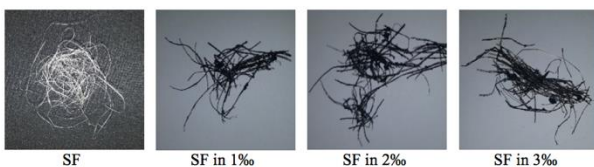


Figure 9. Reference sisal fiber and sisal fiber taken from compacted specimens

IDT values of SF added specimens are given in Figure 10. By adding short SF in the mixture, indirect tensile strength of the specimen decreases. Adding long SF gives lower unconditioned IDT results than reference specimen. However, the strength values for long SF

specimens are close to each other. This situation could be explained with increased SF rates in the mixture increases the surface area so bitumen is not enough to bond with all fibers.

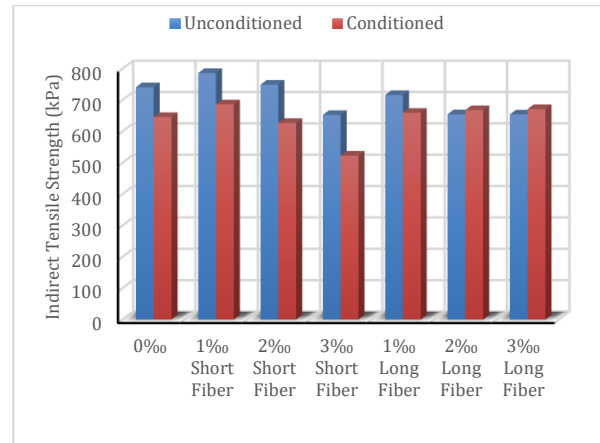


Figure 10. Conditioned and unconditioned IDT strength values for each specimen

Comparison of the conditioned and unconditioned IDT strength values are shown in Figure 11. As seen in Figure 11, 2 and 3% SF added specimens are nearest to the line of equality which gradient is one. That means that 2 and 3% SF added specimens almost isn't affected by the moisture. Although 1% added specimen is not close as 2 and 3% SF added specimens, specimens compacted with long sisal fibers are closer to the line of equality than the other specimens.

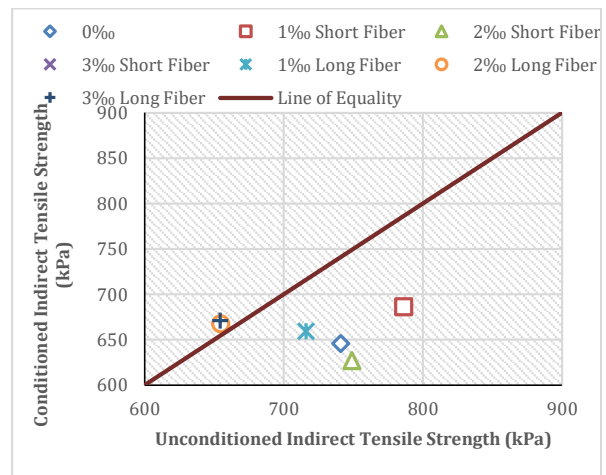


Figure 11. Comparison of the conditioned and unconditioned specimens' strength values

Tensile strength ratios (TSR) are shown in Figure 12. As seen in Figure 12, all specimens have greater TSR value than 80% which is minimum specification limit value. TSR results of short SF added specimens have a downward trend line, and 3% short SF added specimen is on the specification limit. However, long SF added specimens had a greater TSR value than

reference specimen. So, none of the prepared specimen is moisture susceptible.

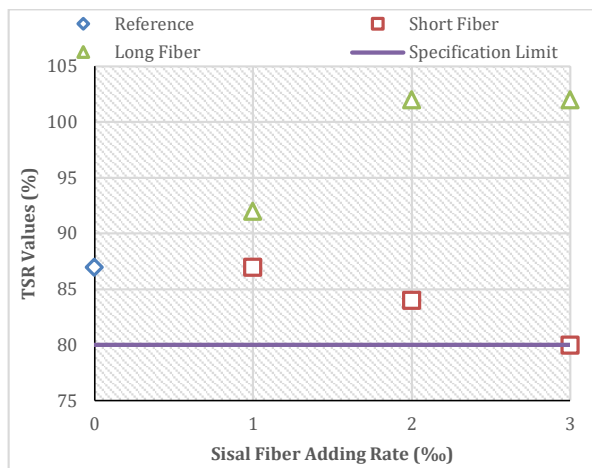


Figure 12. TSR values

5. Conclusion

The purpose of this study was to determine the usability of sisal fibers (SF) as a fiber material in dense graded hot mix asphalt (HMA) pavement. Optimum bitumen content for best suitable gradation is determined as 5.125% by weight of aggregate.

In this study, SF have been added into the HMA in six different conditions (1, 2 and 3‰ for both, short and long SF). IDT strengths of 1‰ short fiber added specimen is greater than reference specimen. Specimens compacted with long SF have lower IDTU strength values. However, IDTC strength values of specimens compacted with long SF are greater than reference specimens.

All specimens' TSR values are above 80%, minimum specification limit. Therefore, none of the specimens are moisture susceptible. By increase of short SF, the TSR values are decreasing. However, adding 1‰ long SF increases the TSR value approx. 5%. There is no difference between 2 and 3‰ long SF added specimens, and they are closest to one. So, they have most resistance against moisture.

After investigation of sisal fibers' morphologies in different conditions, single fiber of sisal which is coated by bitumen did not change but the outside of fiber degenerated because of high temperature of bitumen by mixing process. Obtained from both, during the mixing process observed and also as seen in morphological analysis, bitumen and aggregate attached very well because of the rough surface of bundles.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- AASHTO MP2, 2001. Standard specification for Superpave volumetric mix design, American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D.C.
- Abo-Qudais S, Al-Shweily H, 2007. Effect of aggregate properties on asphalt mixtures stripping and creep behavior, *Construction and Building Materials*, 21(9), 1886-1898.
- Airey G. D., Collop A. C., Zoorob S. E., Elliott R. C., 2008. The influence of aggregate, filler and bitumen on asphalt mixture moisture damage, *Construction and Building Materials*, 22(9), 2015-2024.
- Atav R., Namırtı O., 2011. İpek Liflerinin Dünü ve Bugünü, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt:1, Sayı:3, s.112-119.
- Cardone F., Ferotti G., Frigio F., Canestrari F., 2014. Influence of polymer modification on asphalt binder dynamic and steady flow viscosities, *Construction and Building Materials*, 71, 435-443.
- Cook J. G., 1984. *Handbook of Textile Fibers: Natural Fibers*, Merrow.
- DuBois E., Mehta Y., Nolan A., 2014. Correlation between multiple stress creep recovery (MSCR) results and polymer modification of binder, *Construction and Building Materials*, 65, 184-190
- Hassan H. F., Oraimi S. A., Taha A., 2005. Evaluation of open-graded friction course mixtures containing cellulose fibers and styrene butadiene rubber polymer, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(4), 416-422.
- Joseph K, Filho R. D. T., James B., Thomas S, Carvalho L. H., 1999. A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymercomposites, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), 367-379.
- Joseph K., Thomas S, 1996. Effect of Chemical Treatment on the Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites, *Polymer*, 37 (23), 5139-5149.
- Kacar A., 2018. Atık Kağıt Katkılı Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6 (1), 1-6.
- Khattak M. J., Khattab A., Rizvi H. R., Zhang P., 2012. The impact of carbon nano-fiber modification on asphalt binder rheology, *Construction and Building Materials*, 30, 257-264
- Li Y., Mai Y. W., Ye L., 2000. Sisal Fiber and Its Composites: a Review of Recent Developments,

- Composites Science and Technology, 60, 2037-2055.
- Lottman, 1982. R.P. NCHRP Report 246: Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete—Field Evaluation. In Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C.
- Morova N., Serin S., Terzi S., Saltan M., Ozdemir Kucukcapraz D., Sargin Karahancer S., Eriskin E., 2016. Utility of polyparaphenylene terephthalamide fiber in hot mix asphalt as a fiber, Construction and Building Materials, 107, 87-94
- Mukherjee P. S., Satyanarayana K. G., 1984. Structure and Properties of Some Vegetable Fibers Part 1 Sisal Fiber, Journal of Materials Science, 19, 3925-3934.
- Mwaikambo L. Y., Ansell M. P., 2002. Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization, Journal of Applied Polymer Science, 84(12), 2222-2234.
- Oladele I. O., Daramola O. O., Fasooto S., 2014. Effect of Chemical Treatment on the Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyester Composites, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 24, 1-12.
- Ondurucu A., Karacan A., 2018. Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6 (3), 435 – 447.
- Serin S., Morova N., Saltan M., Terzi S., 2012. Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures, Construction and Building Materials, 36, 238-244.
- Yilmaz M., Kok B. V., Kuloglu N., 2011. Effects of using asphaltite as filler on mechanical properties of hot mix asphalt, Construction and Building Materials, 25, 4279-4286.



ASSISTIVE TECHNOLOGIES FOR INDIVIDUALS WITH VISUAL IMPAIRMENT: CONTRIBUTION OF DESIGN IN THE FIELD OF CLOTHING

Başak SÜLLER ZOR*, Arzu VURUŞKAN

İzmir University of Economics, Fine Arts and Design Faculty, Dept. of Fashion and Textile Design, İzmir, Turkey

Keywords

Assistive Technology,
Visual Impairment,
Design,
Clothing,
Wearable Technology.

Abstract

According to data of World Health Organization, it was estimated that 253 million were visually impaired worldwide in 2017 (WHO, 2017). For those with moderate to total blindness and visual impairment, daily activities such as mobility, communication, education, clothing and shopping cannot be carried out independently. Assistive technologies (AT) offer solutions to contribute to the quality of life of those with visual impairments. Considering the daily obstacles faced by such individuals, as a prior step for design development of alternative ATs, this paper includes an overview of ATs. Since this overview addresses a lack of applications in clothing related AT, the following survey aims to acquire feedback from people with visual impairment, focusing on clothing related issues, with the aim of making improvements in design.

GÖRME ENGELLİ BİREYLER İÇİN YARDIMCI TEKNOLOJİLER: GİYİM ALANINDA TASARIMIN KATKISI

Anahtar Kelimeler

Yardımcı Teknolojiler,
Görme Engeli,
Tasarım,
Giyim,
Giyilebilir Teknoloji.

Öz

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, 2017 yılında 253 milyon insanın görme engeli olduğu öngörülmektedir (WHO, 2017). Orta dereceden toplam körlüğe ve görme engeline sahip olanlar için, hareketlilik, iletişim, eğitim, giyim ve alışveriş gibi günlük faaliyetler, bağımsız olarak gerçekleştirilemeyecek kadar zor olabilmektedir. Yardımcı teknolojiler görme engeli olan kişilerin yaşam kalitesine katkıda bulunacak çözümler sunmaktadır. Alternatif yardımcı teknolojilerin tasarımı ve geliştirilmesi için bir ön adım olarak ele alındığında, bu çalışma, görme engelli bireylerin karşılaştığı günlük engelleri göz önünde bulundurarak, yardımcı teknolojilerin genel bir incelemesini içermektedir. Bu genel incelemede, giyim alanı ile ilgili yardımcı teknolojilerin eksikliği dikkat çekmiştir. Bu sebeple çalışmanın devamında yapılan anket çalışması da görme engelli bireylerden, tasarımın katkısı ile gelişme sağlanabilecek ve giyim alanına odaklanan geri bildirimler almayı amaçlamaktadır.

Alıntı / Cite

Süller Zor, B., Vuruşkan, A., (2019). Assistive Technologies For Individuals With Visual Impairment: Contribution Of Design In The Field Of Clothing, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 913-925.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Süller Zor, 0000-0003-0490-6443
A. Vuruşkan, 0000-0003-1478-0442

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.11.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.07.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.09.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1. Introduction

Assistive technology (AT) is a current field, which can contribute to quality of life of people with visual impairment via innovative projects. According to estimates from World Health Organization data, there

were 253 million visually impaired people worldwide in 2017 (WHO, 2017). 36 million of them were reported as blind, and 217 million, as moderate to severely visually impaired. In addition, 81% were aged 50 years and above. There are four levels of visual function, according to the International

* İlgili yazar / Corresponding author: basak.suller@ieu.edu.tr, +90-232-488-5418

Classification of Diseases -10 (ICD – 10, Update and Revision 2006): (1) normal vision, (2) moderate visual impairment, (3) severe vision impairment, and (4) blindness. “Visual impairment” refers to all cases of moderate or severe vision impairment (i.e. low vision) and blindness (WHO, 2017). According to the WHO 2017 report, the major causes of visual impairment globally are uncorrected refractive errors (myopia, hyperopia or astigmatism) with 53 %, and un-operated cataract, with 25% (WHO, 2017).

Over the past 20 years, the social model of disability, in which disability is seen more as a social construction than a medical reality has come to the fore. An individual may have physical disability in a way that requires adaptation in daily life, but most obstacles stem from the attitude of the society and physical/environmental barriers (Kaduwanema, 2016). For these people, mobility, communication, education and other daily activities, such as clothing related issues or shopping can be very compelling. At this point, the medical model and the social model both agree that physical environment and opportunities should be made as accessible as possible for individuals with special requirements (Kaduwanema, 2016). Bringing such people to the collective communication environment, and facilitating their social, educational and the other daily life activities are significant social responsibilities.

This issue particularly interests designers, engineers and urban planners, due to their role in developing a proper design and planning approach to provide wider accessibility considering the needs of all. Related to this, there exist mobile applications, projects and some prototypes. Based upon the daily obstacles faced by people with visual impairment, this research aims to introduce a review of existing examples of uses of AT in daily life based on classification of usage area. The review focuses on major purposes, strengths and weaknesses of current examples, as design research, which leads to an analysis of the potential contribution of design in this context. Both research projects and commercial products are covered in this review.

For the subsequent phase of our design research, a short survey was conducted. The survey aimed to acquire feedback about the general AT usage, and consequently, develop design recommendations in this direction. In our research on existing AT applications, we have observed that current examples, either as research projects or commercial applications, are more related to navigation and object identification functions, while AT research on clothing field is much more limited. Therefore, a section of the survey was allocated specifically for clothing related issues in order to identify the relationship between individuals with visual impairment and the concept of design and clothing. After building a framework with

participant perspectives on the use of AT, design recommendations were generated.

2. Review of Assistive Technologies

Constant technological improvement in terms of devices, applications or production systems has changed the nature of interaction amongst people and with environment. These improvements have had positive outcomes for ATs, especially for people with sensory, cognitive, and physical impairments. AT gives those people independence in their daily activities and enhances their overall quality of life. By definition: “Assistive technology (often abbreviated as AT) is any item, piece of equipment, software or product system that is used to increase, maintain, or improve the functional capabilities of individuals with disabilities” (ATIA, 2015).

Table 1. AT Classification According to the Usage Area (WT refers to “wearable technology; App refers to “applications”)

ATs for MOBILITY	ATs for COMMUNICATION	ATs for DAILY ACTIVITIES
1-Wearable Obstacle Detection System (WT)	1-Braille Glove (WT)	1-BlindShopping (App)
2-NAVIG Project (WT)	2-Finger Reader (WT)	2-Trinetra (WT)
3-Microsoft 3D Soundscape Technology (App)	3-TalkBack (App)	3-Shop Talk (WT)
4-BuzzClip (WT)	4-BrailleBack (App)	4-Assistive Clothing Pattern Recognition System (WT)
5-BlindSquare (App)	5-VoiceOver (App)	5-LCW Sense (App)
6-Lazarillo (App)	6-KNFB Reader5(App)	6-Give Vision (App)
7-Lazzus (App)		7-OrCam MyEye 2.0 (WT)
		8-Tap Tap See (App)

The review of assistive technologies was classified in terms of their usage area in this study, as *mobility* (e.g. mobility AT/ the batcane, navigation AT/ context aware computing, orientation AT/ blind person’s navigator etc.), *communication* and *access to information* (e.g. screen readers, self-voicing applications and speech, text, Braille conversation technology etc.), and for *daily living* activities such as interaction with objects, clothing, shopping etc. In addition, in the main classification of AT examples, a sub-category was added for the initial discussion of research projects, and consequently the inclusion of commercial examples/ applications. Table 1 illustrates the three categories of AT use with the name of examples. Blue indicates research projects,

while orange refers to commercial examples/ applications. In addition to guiding the overview in this research paper, this table visually gives a clue about the allocation of wearable technologies and applications, and research projects and commercial examples in this field.

2.1. Assistive Technology for Mobility

The oldest and the best known example of AT is white cane that people with visually impairment still commonly use. However, since this tool can only detect nearby objects, and is intended to detect obstacles in the ground, it gives user limited time to change direction and may not be able to detect objects above ground level. Thus, in this part, we review research projects, technological applications and devices designed to enhance the white cane's function.

2.1.1. Wearable Obstacle Detection System

As an example of one the first research projects in this field, Bahadır (2011), developed a wearable obstacle detection system that warns users about obstacles and hazards, and enables them to navigate safely in indoor environment (Figure 1). The system comprises a wearable garment with sensors, actuators, power supplies and a data processing unit. The challenge in this system is to integrate technical elements in a wearable garment without affecting features such as garment flexibility and weight. The system, firstly, senses the surrounding environment and detects obstacles via sensors, and consequently, it guides the user by actuators through a feedback process interpreted in signal processing unit (Bahadır et al., 2011).



Figure 1. Wearable Obstacle Detection System
(<https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/dff23fc1-6f53-4980-9a9a-2fed2e27f8e9>)

2.1.2. NAVIG Project

The second research project example on navigation is the NAVIG system (2012), which has been designed and prototyped in order to provide visual information from the environment surrounding people with visual impairment. The system includes head-mounted stereoscopic cameras (Figure 2), SpikeNet Vision object localization algorithm, that identifies the images and even the objects sharing similar shape, and processes them in real-time based on pattern matching. The detection signals are transmitted to the user via 3D audio rendering engine (Kammoun et al., 2012).



Figure 2. NAVIG Project
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959031812000103#fig0020>)

2.1.3. Microsoft 3D Soundscape Technology

In addition to research projects, software and technology companies are developing a variety of ATs for people with visual impairment. For instance, Microsoft has developed 3D Soundscape Technology from a research project, which at the first stage, consists of a bone-conduction headset with a smartphone and indoor/ outdoor wireless beacons (Microsoft 2015). The system later evolved into the commercial application which runs on iPhone 5S or later versions or with most wired or Bluetooth stereo headsets. It allows real-time environment tracking with the smartphone's GPS and accelerometer sensors. By creating a 3D sound map, the device listens to the surroundings through sensors, and can determine the direction of the user. The headset, which transmits to the bone next to the ear, can also give information about the places and shops or any points of interest around and additional journey details (Microsoft, 2019).

2.1.4. BuzzClip

BuzzClip is a commercial wearable device by iMerciv, attachable to clothes (Figure 3), which is able to detect nearby obstacles. The working principle of the system is based on sending and receiving sound waves, and then transmitting them to user as intuitive

vibrations (Mali, 2015). It has three selectable modes, 1, 2 and 3 meters, and the company suggests selecting 1 meter mode for indoor usage, and 2 or 3 meter modes for outdoors. It works by sending warning vibrations about obstacles in its conical shaped detection area (Figure 3) (Imerciv, 2019). Creators of BuzzClip report that one of the main advantages of the system is that lighting condition or transparency of the object affects neither detection nor distance measurement (Mali, 2015).

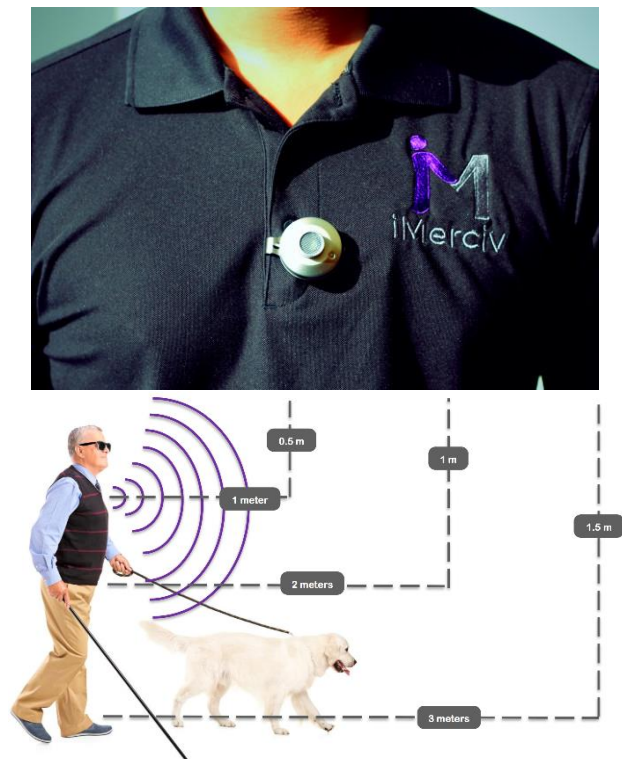


Figure 3. BuzzClip (<https://www.imerciv.com/user-guide/index.shtml>)

2.1.5. BlindSquare

BlindSquare is a GPS-based application which allows people with visual impairment to travel independently by describing the environment, highlighting points of interest, street intersections and venues through a dedicated speech synthesizer. The app enables users to access the most important functions through an audio menu via any headset or speaker which supports Apple's music controller. Thus, there is no need for the users to touch the phone screen. The app searches a 200 meter radius, and uses iOS-device's GPS capabilities to inform users about their surroundings on Foursquare and Open Street Map. The app is available in many languages (BlindSquare, 2019).

2.1.6. Lazarillo

Lazarillo is another commercial guidance application, which use voice messages to inform users about the current location and nearby services regarding bus stations, cafes, banks, restaurants, street intersections,

etc. It can give directions on how to reach your destination by different types of transportation. The application requires a mobile phone with an Android 4.3 operating system or iOS 9.0 (or newer versions), mobile internet and the activated GPS of the Smartphone. Because the application uses the main international databases for its maps, it can be used worldwide. The application is also able to work with the screen readers such as "Talkback" or "VoiceOver" (Lazarillo, 2019).

2.1.7. Lazzus

Another commercial navigation application is Lazzus which gives information on items near the users such as pedestrian crossings, street intersections, stairs and stores, at any given time, by creating an auditory field of vision within 100 meter radius. To provide greater accuracy, it uses two complementary data sources: Google Places and Open Street Map. The app has three modes serving to different types of demands. The first, "Beam Mode", informs the users of items in the current direction. The second, "360° Mode", highlights everything in users' immediate surroundings in every direction. The third, "Transport Mode", is automatically activated when the users travel by bus or car, and informs them about the streets through which they pass (Lazzus, 2019).

Mobile phone navigation applications, such as BlindSquare, Lazarillo and Lazzus are popular and practical tools for navigation and it is expected that the number of similar apps will rapidly increase. Even though their purpose is more advanced than the use of white cane, these apps still can be evaluated under the category of navigation.

2.2. Assistive Technology for Communication

Communication is a complex process that uses different forms as speech, vocalizations, gestures, and facial expressions, to exchange information with a communication partner about one's wants/need, experiences, ideas, thoughts and feelings. Communication can also be in the form of reading or sending text messages as online communication. For people with visual impairment, written communication ways, such as reading mobile phone or computer screen can be challenging, even impossible in some cases. At this point, assistive applications and devices have huge potential for people with vision loss. In the following section, descriptions of some examples of those research projects and commercial applications that make this process easier, and support communication of people with visual impairment (Table 1).

2.2.1. Braille Glove

Braille Glove (2014) is an example of a research project prototype helping to convert the Braille alphabet into text, and vice-versa. The touch sensors, made of copper and arranged like six Braille cells on the palm of the glove, wirelessly transmit texts to the receiving PC/mobile phone (Figure 4). When touching the sensors, the capacitance of the circuit changes, triggering the microcontroller and recording the touch. Tactile feedback patterns provided by small vibrating motors on the back of the glove enable the user to receive regular incoming text messages (English) in Braille. Then, the received data is compared with the entries in a look-up table (Coudhary et al., 2015).

This prototype is an example of wearable technologies with the use of a glove; however, the focus is overwhelmingly on the function, and therefore, aesthetic features and practicality are not the strongest characteristics of this specific product.

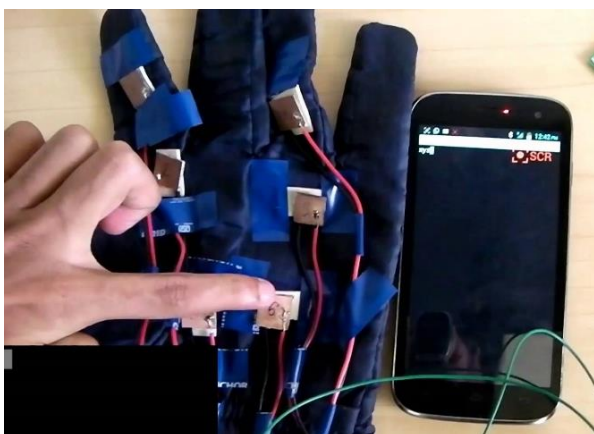


Figure 4. Braille Glove 2014
(https://www.youtube.com/watch?v=ONnZ_HP-dzM)

2.2.2. Finger Reader

Finger Reader is another research project prototype, under development at the MIT Media Lab. It is worn on the index finger and used for assisting in reading printed text, as well as an aid for language translation. The device consists of vibration motors embedded in the ring for tactile feedback, a dual-material case, and a high-resolution mini video camera (Figure 5). Wearers scan a text line with their finger and receive audio feedback of the words and a haptic feed. In addition, Finger Reader's software stack includes a sequential text-reading algorithm, hardware control driver, integration layer with Tesseract OCR and Flite Text-to-Speech feed (Shilkrot, 2015).

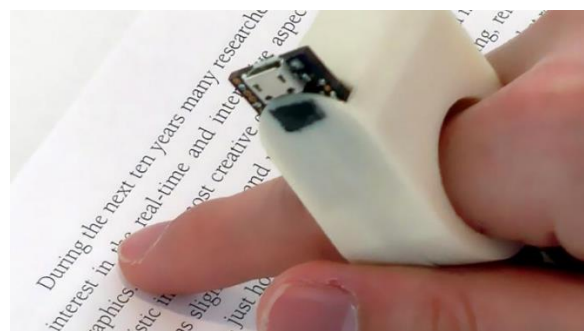


Figure 5. Finger Reader
(<http://alumni.media.mit.edu/~roys/>)

2.2.3. TalkBack

Besides research project prototypes, some services and applications providing easier communication are already on the market. TalkBack is one of those communication applications, developed by Google, installed into Android devices. The application enables users to interact with their devices, informing users about what they touch on the screen. Besides, through a screen reader service, users can access texts including menu names, time and notifications. It can read incoming messages aloud, and send voice and send text messages. In addition, via settings, users can adjust speech volume, start/ stop screen reading by shaking the device, or use a specific voice pitch as a signal to start typing.. (Hildenbrand, 2015).

2.2.4. BrailleBack

BrailleBack is another accessibility service specially developed for the visually impaired, allowing the use of computers and other mobile devices with the Braille alphabet. The application works with the TalkBack screen reader to provide a unified conversation and braille experience, and allows user to pair devices via Bluetooth, and display the text on the screen in Braille alphabet. The users can navigate or interact with their devices using the keys on the display. It also allows text entry using the device's Braille keyboard (Google BrailleBack, 2015).

2.2.5. VoiceOver

VoiceOver is an application for Apple products, while TalkBack and BrailleBack applications are suitable for Android devices. It uses gestures to signal the user's iPhone to speak what is written on the screen, including the description of all screen items, such as battery level, status, cell network, time, date etc. VoiceOver also provides contextual information, such as the adjoining objects or the location of objects on the screen (VoiceOver, 2017).

2.2.6. KNFB Reader

KNFB Reader is another application, which, in real-time, converts the picture of printed text into high-

quality audio output. Different from the other mobile readers, the KNFB Reader has built-in image processing technology that allows the users to take photos for accurate results of the things that they want to read or listen to. The system bases on image processing technology (or optical character recognition technology), which identifies the words in the image and allows them to access Braille. KNFB Reader can also provide access to single or multi-page documents, recognize and read printed materials in various languages, and link to Dropbox or OneDrive (KNFB Reader, 2017).

2.3. Assistive Technology for Daily Activities

All assistive technologies, from the most simple to most sophisticated and specialized high technology devices and applications, provide accessibility in daily life. This part focuses on the technologies required for daily living activities in or outside the home environment. AT examples are explained in terms of these activities, with research projects mentioned first, and the commercial examples, subsequently (Table 1).

The grocery shopping, shopping for clothes, and interacting with objects are some of the main challenges for people with visual impairment in daily life. Sighted shoppers can easily find their way around the store, find the products and find out related information, such as the ingredients/ composition and price, and then purchase the items. However, for people with visual impairment, it is very difficult to carry out these processes independently. For this purpose, projects and applications have been developed that will enable independent shopping, recognition of objects and identification of colors, some of which are investigated as following:

2.3.1. BlindShopping

BlindShopping is a smartphone application using entirely off-the-shelf technology, developed as a research project to assist shopping. The application processes the RFID data received via Bluetooth, products are recognized by pointing a QR code reader, and results are transmitted as the verbal navigation commands. The working principle of the system is mainly based on classification of products and environmental elements in the supermarket organization. Thus, with minimal environmental adjustments to navigate the store, search and select products, all products are grouped into different product categories, subdivided into product types, and again into concrete brand products. The supermarket is divided into cells of shelves and passageway cells. Thus, BlindShopping provides product category navigation, product search, product identification, and product selection (Lopez-de-Ipiña, 2011).

2.3.2. Trinetra

Trinetra system as another research project was developed at Carnegie Mellon University (2006), and consists of a Nokia mobile phone, a Bluetooth headset, a Baracoda IDBlue Pen, a Baracoda Pencil, and a Windows-based server. While the system is similar to BlindShopping, Trinetra differs in that it has a headset as a wearable technology item. The system enables people with visual impairments to shop independently. It uses both barcodes and RFID tags; for scanning barcodes, The Baracoda Pencil is used, and for RFID tags, the Baracoda IDBlue Pen. The user scans the product's barcode with a Baracoda Pencil, providing description of the product. Following this, the data are transferred wirelessly to the mobile phone *via* Bluetooth. The system on the phone first checks its mobile application's memory for previous scans of the barcode. If the barcode is already in the memory, the information is returned to the phone, if not, a request is sent to the remote server. The server communicates with a generic UPC database to get the necessary information (Lanigan et al., 2006).

2.3.3. Shop Talk

Shop Talk developed by researchers at Utah State University (2009), is a wearable system for people with visual impairments to independently shop in the supermarket environment, which is comprised of a portable computational unit, a numeric keypad, a wireless barcode scanner, base station, headphones, a USB hub, and a backpack to carry them (Figure 6) (Nicholson et al., 2009). The system assists those shoppers in supermarket navigation, product search, and selection.

Shop Talk represents the supermarket environment using data structures as a topological map of movement area, the supermarket inventory management system, and Barcode Connectivity Matrix (BCM). While topological map providing to achieve to the directional labels of "left", "right" and "forward" according to the supermarket floor plan, the supermarket inventory management system creates verbal descriptions of product information. Besides these data structures, the Barcode Connectivity Matrix (BCM) and Universal Product Code (UPC) barcode serve to provide information regarding aisle, aisle side, section, shelf, position, and product description (Jethani, 2012).

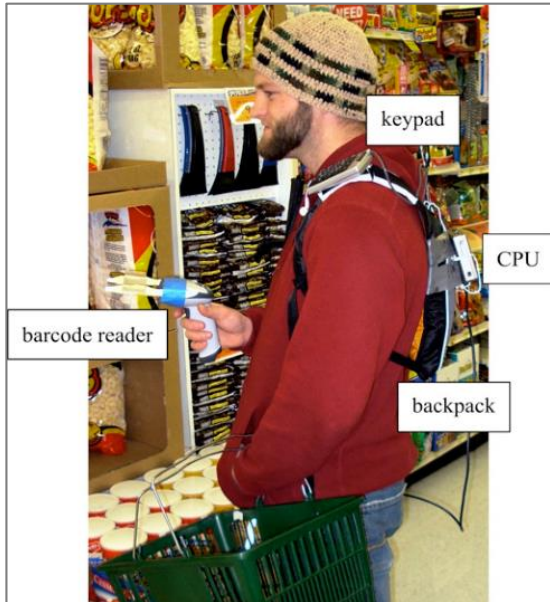


Figure 6. Shop Talk

(<https://benthamopen.com/contents/pdf/TOREHJ/T-OREHJ-2-11.pdf>)

2.3.4. Assistive Clothing Pattern Recognition System

Assistive Clothing Pattern Recognition System is a research project output composed of a camera, microphone, computer, and Bluetooth earpiece. This camera-based prototype system can recognize clothing patterns in four categories (plaid, striped, out of patternless, and irregular) and identify 11 colors (Figure 7).

In order to capture clothing images, camera mounted upon a sunglass is used, and to recognize patterns researchers proposed Radon Signature descriptor, which creates 2 or 3 dimensional images by projecting an object from every angle. The system can be controlled by speech input through microphone, and audio description of clothing patterns and colors arrive via Bluetooth earpiece (Yang et al., 2014).

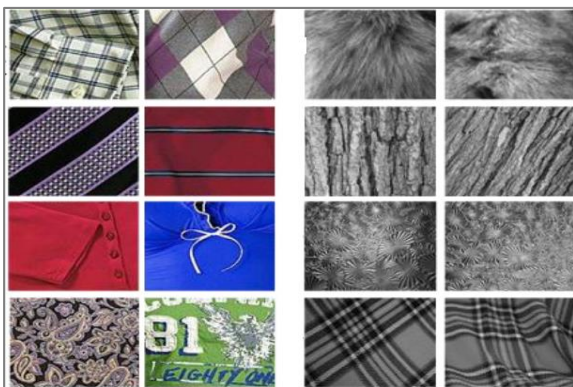


Figure 7. Assistive Clothing Pattern Recognition System

(<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6739993>)

2.3.5. LCW Sense

LCW Sense is one of the commercial examples, as an application for specifically designed for people with visual impairment by LCW clothing company's RD department, and can be free-downloaded from Appstore or Google PlayStore to mobile phones. The application promises users the freedom to shop alone and provides product information such as color, pattern, fabric type, washing instructions, price, and information about the care label. It distinguishes clothes by scanning the product barcode. If the user likes the product, it can add it to 'my favorites list, and if purchased, to "my wardrobe" list (LCW, 2017). The application was tested by the authors and, and worked partially; product was identified from the barcode, but after the this step the exact product information was not found. LCW is a clothing popular brand in Turkey, targeting a wide range of customers. This application, therefore, carries an importance indicating that mobile phone apps are becoming more widespread for a variety of purposes, including social responsibility projects.

2.3.6. Give Vision

The Give Vision is a commercial application with a blind-friendly user interface, which was designed by two developers with visually impairment to provide feedback on the environment around the user, via hands-free control of a smartphone. The application aims to assist users during traveling, shopping, reading text, and recognizing places and objects by using image recognition features and algorithms (Munche, 2015).

It can also be integrated with other smartphone applications for messaging and calls. The other innovative solution of the Give Vision Company is SightPlus hands-free and portable wearable headset (Figure 8), that enables users to magnify nearby or farther objects, and change the contrast or apply

custom filters. Although the device has a wide area of usage, it is only suitable for stationary activities such as reading, watching TV, recognizing people's faces, sports events, playing music etc., and not for mobility or driving (SightPlus, 2018).



Figure 8. Give Vision, SightPlus Headset
(<https://www.givevision.net/>)

2.3.7. OrCam MyEye 2.0

OrCam MyEye 2.0 is a commercial device consists of smart camera and earpiece attached to the user's eyeglass frame (Figure 9). Working principle of device is through capturing the text or any visual information, and then reading or identifying as directed by the user (OrCam, 2017).



Figure 9. OrCam MyEye
(<https://www.orcam.com/en/myeye2/>)

The device provides real-time identification of previously stored faces in its memory (up to 100 faces), and announces the information in the user's own voice. In addition, OrCam enables the user to shop independently as the device has a database of product barcodes and stores, and it also has color detection features that allows the user to identify product colors (OrCam, 2017).

2.3.8. The TapTapSee

The TapTapSee is a mobile camera application designed specifically to allow iOS users with visual impairment to take a picture of any object by double-tapping the screen and to get a description of it in real-time. The application uses VoiceOver to audibly identify the visual information about object. In addition, the application can repeat the previous image's identification, upload images from the camera roll, and share identification via social media, text or e-mail (The TapTapSee, 2017).

3. Survey Results

After reviewing the AT literature in general terms, it was observed that the examples are more related with navigation and text/object identification functions. Even though there are some wearable technology items in the market, the overview reveals that most commercial approaches include mobile phone applications for mobility and communication, while there is limited research and examples of AT in the clothing field. The review addresses a lack of applications, specially in clothing related fields, which defined the focus of our subsequent survey. The survey was designed in order to acquire feedback from people with visual impairment, focusing on clothing related issues, which would lead to design improvements.

The survey consisted of 10 questions including 3 closed-ended and 7 open-ended questions. Comments from 9 participants (5 with total blindness, 1 very low sight, and 3 low) were evaluated and discussed in this section. Even though questionnaire reached many people (i.e. via e-mail to various related associations via [surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com)), and no personal identifiers were sought, few were willing to participate, therefore, evaluations were based on this limited number. The survey consists of 10 questions as follows;

Q1 Which of the following is your age range?
(a-15-24; b- 25-34; c- 35-44; d- 45 and above)

Q2 What is your educational level and occupational status?

Q3 Which of the following is your visual impairment level? (a-Low; b-Very Low; c-Nearly Blind; d-Blind)

Q4 Are design and aesthetic values in clothing important to you? (a-Yes; b-No and comments)

Q5 What are the factors that are important to you in the selection of clothes?

Q6 In your daily life, what obstacles do you face in terms of clothing? (During shopping, during use, etc.)

Q7 Are there any methods you resort to in order to overcome these obstacles? If so, what are these methods?

Q8 Do you have information about the assistive technologies that are designed or produced for individuals with visual impairment or blindness? Do you follow these innovations?

Q9 Are there any assistive technologies (software, application, device, etc.) that you are currently using? If so, what are these?

Q10 Would you like to use an assistive technology product in the clothing field? If you answered yes, what kind of assistive technology would you need, and for what purpose?

The survey results indicated that all participants were able to independently manage their lives, carry out their professions and participate in social activities. However, they highlighted the main obstacles in daily life were caused by the social perception of "having a disability". Most problems they face are not due to the lack of sight, but social misperceptions and inadequate physical conditions, inaccessibility to open and close spaces, and the inadequate implementation of suitable designs. One participant claimed that even though creating spaces for disabilities is shown as a positive discrimination, it might lead to discrimination in other areas of life. Thus, he suggested that it would be more appropriate to create inclusive common spaces for all of society. Even though this is not within the scope of this research, this has been noted as one major complaint from the participants, where design can contribute to resolve such issues/problems. Similar complaints were outlined by other participants, such as the need to share public spaces equally, however, these were outside the scope of this project, therefore, were not included here in detail.

The first three questions of the survey consisted of information about the demographics and visual impairment level of the participants. According to the result of the first question, one participant is between the age of 15 and 24; two of them 25-34; four of them 35-44 and two of them are in the "45 and above" age category. The question regarding educational level and occupational status was answered by eight of nine participants, revealing that one graduated from primary school, seven are either studying at university (2) or have graduated with a bachelor degree (5). The occupations range from housewife to executive (one housewife, one teacher, one executive, one freelancer, 2 civil servants, one lawyer, and one consultant). According to the total data of visual impairment level from all participants, the results include 3 low sighted, 1 very low sighted and 5 totally blind individuals.

Following questions aimed to evaluate participants' relationship with design and clothing, and to gain insight about the obstacles in this field as well as receiving their comments on ATs. All survey participants agreed that the design and aesthetic values in clothing are important. Participants frequently stated that being visually impaired does not prevent them from taking part in social life, and that their priority in social settings is "appearance". For this reason, one of them also noted that even if individuals with a visual impairment cannot see themselves, clothing must be appropriate for places and occasions for a good first impression and ensuring proper communication. When participants were asked about selecting clothing, they mentioned a variety of factors. In addition to garment related factors, such as quality, fiber content, price, fit, comfort and colour, another factor mentioned by participants was a supportive shopping assistant.

In addition, one participant commented that for her selection important factors were, first, the color harmony, and followed by fabric texture, ornaments or decorations, which she sensed with her hands. She added that, as a personal opinion, for those who do not see, a visual image on the fabric alone does not mean anything without a pattern to detect and sense with hand. Besides, another participant remarked that, because she/he has a remembrance of colour, and a sensitive touch, matching colours and matching materials by touching are two important factors in garment selection.

When considering obstacles faced by the participants in terms of clothing (during shopping, home use, etc.), one participant noted that for people with visual impairment, "clothing" is not just clothing one's body, but is a rather long process starting with going to a store, choosing a product, combining, purchasing, and even continuing with caring/ washing the product according to the instructions given. Relatedly, one participant mentioned struggling with the washing process. The other answers are commonly about the problems in selection of colors, reaching the garment's fabric, design and price information. The same participant also argued that people whose blindness is not congenital can ask their family members, friends or sales person about the clothing/ product information, and can interpret this advice according to their own visual memories; however, people with congenital blindness have to rely on others' tastes and suggestions. On the other hand, one participant commented it was not always possible to trust sales people, because sales-oriented person can mislead, or their design taste can be very different, adding "I don't know if a garment looks good on me. In daily life it is very difficult for me to adjust the color matching of my clothes by myself without anyone seeing." Another participant had a similar problem, in that when she/he goes shopping with a relative or friend, the most difficult and distressing occurrence is when they

showed her/him the style that they themselves preferred. Thus she/he experiences the most trouble in finding a garment in her/his own style, or what she/he likes. The other person will often give various reasons for not liking it. The participant continued that just as sighted people can decide their own clothing by themselves according to their own style, people with visual impairments but who have not congenital vision loss should also be able to select their own style, or a service should be provided by a Professional (e.g. professional stylist, fashion designer etc.) in general.

Following on from the 6th question, in the 7th, participants were asked if they have any methods to overcome obstacles. Regarding this, one participant referred to LCW Sense application (given in Section 2.3.5), even though he had never tried it himself. On one hand, participants noted that some just ask for the salesperson's opinion or ask friends/relatives for the help, especially for color combinations, while one participant tried to read garment information on the smartphone zoom application. In addition, one participant prefers to go shopping with relatives familiar with her/his taste, and who are unbiased. On the other hand, one of the participants approached to the question in terms of the domestic use, i.e., she/he sorts clothes by colours - blue at the top and green at the bottom, but she/he doesn't find this method very effective because of the risk of confusion, which undermines self-confidence.

Following the examination of participants' relationship with clothing, the last three questions were asked in order to examine their approaches to the ATs. One of the participants stated that she/he has no idea about ATs designed or produced for individuals with visual impairment or blindness, while another reported knowing a few examples but was not well informed on these technologies. However most of the participants have knowledge about assistive technologies, follow the innovations and actively use them, especially the applications. Some participants commented as "I'm very interested in technology. I follow the innovations closely, of course there are new works for us. We are also pleased with them and we are expecting from the experts working on this subject, more productive, improving innovations for us.", "Yes, I use technology. I like to use technology at every point which makes my job easier." Considering the comments of the participants, a more widespread information and outreach system should be established on assistive technologies and their uses. For active and technology conscious users, the designs of ATs should be updated with innovative approaches and a design-technology integrated understanding should be adopted in the production process of ATs.

In addition, most of the participants stated that they use smartphone including text reader and/or navigation applications. One participant gave as examples the TapTap See application that she/he

used to reach information, such as reading books or newspaper columnists, watching films in the cinema, etc. However, only two participants mentioned any AT for clothing. These two participants indicated that they used only applications for identifying colors, and these were not always accurate, and do not work with nuances (Q9). Relatively, in the last question (Q10), it was asked whether they would like to use an assistive technology product in the clothing field, and what kind of assistive technology they would need. 8 participants answered "yes", and they would most like to use an AT giving color, pattern, design and price information of a garment. Also, one participant would like to use an AT offering an easy-to-use identification for clothing items.

4. Discussion of Results and Contribution of Design

As seen with the survey outcomes and the review of AT examples, many AT examples exist for mobility, reading, and for getting the product information via barcode reading. An increasing number of mobile applications is one of the directions in terms of such ATs, but not all of the applications are convenient to be installed in both iOS and Android. Besides, the operating speed of the application, the image quality (for image processing-based apps) and the accuracy of the information transmitted to the user may depend on the performance of the user's mobile devices. Installing different apps for different purposes can slow down the mobile devices' performance after a while. These can be mentioned as the negative sides of the applications.

Another aspect in ATs are the systems described as wearable technologies. It is believed that ATs in the form of wearable technologies are so roughly designed that they lack aesthetic and functionality. The main problem is the failure to fully integrate electronic and technical materials into clothing and textiles. The technical materials' weight and size are also two important factors that affect the mobility, comfort and aesthetic appearance of wearable technologies. Regarding these problems, contribution of design and innovations in textile and material field come into the prominence. Thus, these innovations may allow scaling -down in size of technical materials, even to nano size, reducing their weight, and give them flexibility. For instance, the use of a flexible battery or 3D printed tactile sensors allows the production of a more aesthetically pleasing and lighter BrailleGlove prototype as seen in Figure 4. The interfaces of these wearables and the applications should be designed as user-friendly, uncomplicated, and should feedback the data correctly.

On the other hand, in terms of clothing, there are very few examples (i.e. mostly as just color identifier), and when the input from participants in the survey are evaluated, it is seen that selecting proper clothing might be an issue for people with visual impairment.

Investigating users' necessities, demands, abilities and restrictions will add value for such research and applications. Therefore, design products should focus on this problem without discrimination. Relatedly, when designing an assistive technology in the field of clothing, it is necessary to address this area as a whole, from shopping to domestic/ in-house use. Considering the participants' comments, the most troublesome issues are that they cannot perceive garments' colors or create suitable color combinations during shopping, and have difficulty washing the garments. In addition, they demand easy access to the price, fabric content and care instructions information. Here, technology integrated design solutions can contribute. One design solution could be labels including garment information and care instructions printed in Braille, which can be standardized across brands. The important point is that they should be produced in the size and with the material which do not discomfort the user. Secondly, Barcode or QR code reader apps designed with user-friendly interfaces should become widespread in the clothing field. This can be implemented by individual brands such as LCW Sense example (i.e. section 2.3.5), or a group of companies (e.g. Inditex, H&M etc.) can design an app that include a common barcode/ QR code pool for their brands. In addition to the apps, wearable technology is an up-and-coming area. Therefore, the technologies used in ATs for the other fields can be adapted to the wearable technologies for clothing field. For instance, an AT in the form of wearable technology can be designed using micro/ nano materials, and including image processing and recognizing features (i.e. features can be adapted from 2.3.7. OrCam MyEye example).

The important point is that for both app and wearable technology directions, designers should focus on comprehensiveness. In both directions, the ATs designed should be able to apply the steps of color and pattern recognition, price and fabric content information to the people with visual impairments, and should be able to offer garment combinations ideas in the shopping process. Relatedly, relying on others for selection of clothes was noted as a common problem in the survey results. Combination suggestions prepared by experts, such as stylists or fashion designers, can be stored in a data pool, and integrated into the wearable systems, or designed as an online service app serving as a supportive sales assistant. Intelligent fashion styling and recommendation systems could offer solutions for users with visual impairment, where artificial intelligence can learn the taste of the user and provide style recommendations accordingly as a shopping assistant (Vuruşkan et al., 2015)

5. Conclusion

In this paper, assistive technology examples for people with visual impairments were reviewed according to their usage area, and a short survey was conducted.

Some of the examples in the review were commercial, while the others were conducted as research projects. Thus, there was an examination of firstly, AT for mobility, and then respectively, AT for communication, and for daily activities. In terms of mobility, the selected projects and applications offered solutions for safely navigation in indoor and outdoor environments. Communication was not only regarded as being among individuals, but also as communication with devices, and for accessing information. Following this, AT examples for daily activities were examined, according to their functions, for shopping, clothing and interaction with objects.

In conclusion, considering social perspective, in order to improve the physical environment and facilitate daily activities, designers need information and tools that could improve the design and production processes, from design concept to final product or service. In addition, through constantly improving technologies in terms of devices, applications or production system, it is possible to reveal positive outcomes from the perspective of assistive technologies for people with visual impairments, ranging from moderate level to total blindness. Thus, those applications or devices allow people to live independently and enhance their overall quality of life. In terms of the design perspective, a crucial point in assistive technology design is the need to effectively analyze the needs of individual users. The user's ability, restrictions and needs, context of use, the technology itself and its features are important parameters for investigation and development.

Further work will focus on more ATs as a form of wearable technologies for people with visual impairments, and in the clothing field. In this direction, in order to develop a wearable technology design, firstly context of use will be determined according to the survey analysis and literature on the obstacles in the clothing field. Following this, a wearable technology item will be designed considering full-integration of system to the surfaces, and maximum user-friendliness.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Assistive Technology Industry Association (ATIA), 2015. What is AT? Available: <http://www.atia.org/at-resources/what-is-at/>
- Bahadır, S. K., Koncar, V., Kalaoglu, F., 2011. Wearable Obstacle Detection System Fully Integrated to Textile Structures for Visually Impaired People. *Sensors and Actuators A: Physical*, 179(40): 297 – 311. Available: <https://ori-nuxeo.univ->

- lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/dff23fc1-6f53-4980-9a9a-2fed2e27f8e9
- BlindSquare, What is BlindSquare? 2019. Available: <http://www.blindsquare.com/about/>
- Choudhary, T., Kulkarni S., Reddy, P., 2015. A Braille-based mobile Communication and Translation Glove for Deaf-blind People. 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC), 1-4. DOI: 10.1109/PERVASIVE.2015.7087033
- Google BrailleBack, 2015. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.googlecode.eyesfree.brailleback&hl=tr>
- Hildenbrand, J., 2015. What is Google TalkBack? Available: <http://www.androidcentral.com/what-google-talk-back>
- Jethani, S., 2012. Lists, Spatial and Assistive Technologies for the Blind. *Journal of Media and Culture* 15(5). Available: <http://journal.media-culture.org.au/index.php/mcjournal/article/view/558>
- Kaduwaneema, J., 2016. Defining Disability Today. *Disabled World* 2016. Available: <https://www.disabled-world.com/definitions/disability-today.php>
- Kammoun, S., Parsehian, G., Gutierrez, O., Brilhault, A., Serpa, A., Raynal, M., Oriola, B., Macé, M.J.-M., Auvray, M., Denis, M., Thorpe, S. J., Truillet, P., Katz, B. F. G., Jouffrais, C., 2012. Navigation and Space Perception Assistance for the Visually Impaired: The NAVIG Project. *IRBM Innovation and Research in BioMedical Engineering*, 33, 182-189.
- KNFB Reader, 2017. What Can KNFB Reader Do for You? Available: <https://knfbreader.com/>
- Lanigan, P. E., Paulos, A. M., Williams, A. W., Narasimhan, P., 2006. *Trinetra: Assistive Technologies for the Blind*, CyLab Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA. 1-18, (2006). Available: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=cylab>
- Lazarillo, Lazarillo Features. 2019. Available: <https://www.lazarillo.cl/en/>
- Lazzus, What is Lazzus? How does it work? 2019. Available: <http://www.lazzus.com/>
- LC Waikiki, 2017. Görme Engelli Bireyler İçin LCW Sense Uygulamasını Hayata Geçirdi. Available: <http://corporate.lcwaikiki.com/Etkinlikler-Detay/lc-waikiki-gorme-engelli-bireyler-icin-lcw-sense-uygulamasini-hayata-gecirdi>
- López-de-Ipiña D., Lorigo T., López U., 2011. BlindShopping: Enabling Accessible Shopping for Visually Impaired People through Mobile Technologies. In: Abdulrazak B., Giroux S., Bouchard B., Pigot H., Mokhtari M. (eds) *Toward Useful Services for Elderly and People with Disabilities*. Springer, Berlin, Heidelberg. ICOST 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6719, 266-270.
- Mali, A., 2015. The BuzzClip: Wearable Mobility Tool for the Blind. Available: <https://www.indiegogo.com/projects/the-buzzclip-wearable-mobility-tool-for-the-blind#/> (2015).
- Microsoft Devices Team, 2015. Microsoft's 3D Soundscape Technology Research Helps Visually Impaired. Available: <https://blogs.windows.com/devices/2014/11/14/microsoft-research-3d-soundscape-technology-helps-visually-impaired/>, (2015).
- Muche, K., 2015. How Technology is Working to Help Blind and Partially Sighted People? Available: <https://csprod.verizonwireless.com/news/article/2015/12/how-technology-is-working-to-help-blind-people.html>
- Nicholson, J., Kulyukin, V., Coster, D., 2009. ShopTalk: Independent Blind Shopping Through Verbal Route Directions and Barcode Scans, *The Open Rehabilitation Journal*, 2, 11-23.
- OrCam, 2017. About OrCam. Available: <https://www.orcam.com/en/about/>
- Shilkrot, R., Huber, J., Wong, M. E., Maes, P., Nanayakkara, S., 2017. FingerReader: A Wearable Device to Explore Printed Text on the Go. *International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, ACM, (2015). DOI: 10.1145/2702123.2702421
- The TapTapSee. 2017. Available: <http://taptapseeapp.com/>
- VoiceOver, 2017. Available: <https://www.apple.com/tr/accessibility/iphone/vision/>
- Vuruskan, A., Ince, T., Bulgun, E. & Guzelis, C. (2015). Intelligent fashion styling using genetic search and neural classification. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 27(2), 283-301. <http://dx.doi.org/10.1108/IJCST-02-2014-0022>
- World Health Organization (WHO), 2017. Vision Impairment and Blindness, Fact Sheet. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>

Yang, X., Yuan, S., Tian, Y., 2014. Assistive Clothing Pattern Recognition for Visually Impaired People. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(2), 234-243. Available: <http://xiaodongyang.org/publications/papers/thms14.pdf>



A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF SOFT COMPUTING BASED MPPT TECHNIQUES FOR PARTIAL SHADING CONDITIONS IN PV SYSTEMS

Okan BİNGÖL*, Burçin ÖZKAYA

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, Isparta, Turkey

Keywords

*Photovoltaic System,
Maximum Power Point
Tracking,
Soft Computing Technique.*

Abstract

Nowadays, solar or photovoltaic energy is the most commonly used renewable energy resources in the world. Despite its advantages such as freely available, low maintenance cost, pollution-free, inexhaustible, and reliable, its low conversion efficiency is a major drawback. To increase the efficiency of the photovoltaic system, all photovoltaic modules in the array must be operated at maximum power point. Therefore, maximum power point tracking technique is used for predicting and tracking the maximum power point. In the literature, maximum power point tracking techniques are generally classified as soft computing and conventional. Soft computing techniques are more preferred from both of them, because they can accurately track maximum power point of photovoltaic systems. In this study, an extensive review of soft computing based maximum power point tracking techniques under partial shading conditions until today is presented. The techniques are compared from the point of photovoltaic array dependency, sensors required, tracking efficiency, tracking speed, algorithm complexity, and oscillation around maximum power point.

PV SİSTEMLERDE KISMİ GÖLGELENME KOŞULLARINDA ESNEK HESAPLAMA TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler

*Fotovoltaik Sistem,
Maksimum Güç Noktası
Takibi,
Esnek Hesaplama Teknikleri.*

Öz

Günümüzde güneş ya da fotovoltaik enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, maliyetsiz, atmosfer dostu, işletme ve bakım maliyetinin az olması ve evrensel olarak her yerde bulunması gibi avantajlarına rağmen, düşük enerji verimliliği en büyük dezavantajdır. Fotovoltaik sistemlerin verimliliğini arttırabilmek için fotovoltaik dizideki modüller maksimum güç noktalarında çalıştırılmalıdır. Bu nedenle, maksimum güç noktasını tahmin etmek ve izlemek için maksimum güç noktası izleme teknikleri kullanılır. Literatürde, maksimum güç noktası izleme teknikleri genellikle esnek hesaplama ve klasik teknikler olmak üzere sınıflandırılır. Ancak, maksimum güç noktasını doğru bir şekilde takip edebildikleri için esnek hesaplama teknikleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada, geçmişten günümüze kadar kısmi gölgeleme koşullarında esnek hesaplama tabanlı maksimum güç noktası izleme tekniklerinin kapsamlı bir derlemesi sunulmuştur. Teknikler, fotovoltaik dizi bağımlılığı, gereken sensörler, takip verimliliği, takip hızı, algoritma karmaşıklığı ve maksimum güç noktası etrafında salınım durumları açısından karşılaştırılmıştır.

Alıntı / Cite

Bingöl, O, Özkaya, B., (2019). A Comprehensive Overview of Soft Computing Based MPPT Techniques for Partial Shading Conditions in PV Systems, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 926-939.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O.Bingöl, 0000-0001-9817-7266
B. Özkaya, 0000-0002-9858-3982

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

* İlgili yazar / Corresponding author: okanbingol@isparta.edu.tr, +90-246-211-1481

1. Introduction

As the human population is increasing with each passing day in the world, the energy demand is also increasing. Despite this, the conventional energy resources such as coal and petroleum decreases drastically. Moreover, greenhouse emission increases due to usage of conventional energy sources. For these reasons, interest in the solar or photovoltaic (PV) energy between the renewable energy resources increases by degrees because of its advantages such as cleanliness, free of cost, inexhaustible, and less maintenance cost (Ngan and Tan, 2011; Eltawil and Zhao, 2013; Bendib et al., 2015; Saravanan and Babu, 2016; Dileep and Singh, 2017; Bingöl and Özkaya, 2018). Despite advantages, PV systems have many disadvantages such as the low conversion efficiency, the variation of maximum power under changing environmental conditions, nonlinear characteristic, and low conversion efficiency (Ngan and Tan, 2011; Eltawil and Zhao, 2013; Bouilouta et al., 2013; Enany et al., 2016). Due to these disadvantages, PV system must be run at maximum power point (MPP) to achieve maximum efficiency in operation. In order to enhance the performance of the PV system, maximum power point tracking (MPPT) can be mostly used in PV systems (Liu et al., 2016; Dileep and Singh, 2017). MPPT is used to predict and track the MPP of the PV system and then to force to run at the MPP under all environmental conditions (Saravanan and Babu, 2016; Amir et al., 2016).

The MPP changes with changing of the solar irradiation and temperature (Bouilouta et al., 2013; Dileep and Singh, 2017). Under partial shading conditions (PSCs), the PV modules in the PV array don't get uniform solar irradiation, so there is multiple local and one global peak point on power-voltage (P-V) characteristic of array due to using bypass diodes connected to the each PV module. In the present case, MPPT of the PV array is a complex and challenging task (Ji et al., 2011; Bouilouta et al., 2013; Liu et al., 2015; Seyedmahmoudian et al., 2016).

Many research about MPPT methods have been presented in the literature and they can be generally categorized as soft computing and conventional techniques (Ram and Rajasekar, 2017). The most used conventional techniques are perturb and observe (P&O), hill climbing (HC), fractional open circuit voltage (FOCV), incremental conductance (INC), and fractional short circuit current (FSCC) (Eltawil and Zhao, 2013; Bhatnagar and Nema, 2013; Reisi et al., 2013). While the conventional MPPT techniques are good for tracking the MPP under uniform solar irradiation, these techniques fail to track the MPP under PSCs. Moreover, the conventional techniques show high steady state oscillations, poor convergence, and slow tracking speed under PSCs to track the MPP. Due to the disadvantages of the conventional MPPT techniques, soft computing (SC) based MPPT techniques have been given in the literature. Soft computing methods are highly suitable for PSCs due to their robustness, flexibility, and reliability (Ahmed and Salam, 2015; Belhachat and Larbes, 2015).

In this paper, soft computing based MPPT techniques in the literature till date are presented on the contrary to most of the reviews about MPPT techniques. The working principle and structures of all techniques are explained in detail. Moreover, a comprehensive analysis is presented for all techniques according to following criteria: PV array dependency, tracking efficiency, tracking speed, sensors required, algorithm complexity, and oscillation around maximum power point. The information collected and edited in this study will be useful for future research in this area.

The paper is structured as follows: the effect of partial shading on PV system is explained in Section 2. In Section 3, MPPT techniques under partial shading and a general classification of SC based MPPT techniques are presented. Section 4 discusses the SC based MPPT techniques for some criteria.

2. Effect of Partial Shading on PV Characteristics

One of the most important factors that cause negative effect on a PV array is PSCs. Partial shading (PS) can be defined as non-uniform distribution of solar irradiation for all modules in a PV array. Various factors such as tree and building shadow, movement of the clouds, dust on a PV module can causes PS. Under uniform conditions, all modules in a PV array have same electrical characteristics. However, when PSCs occurs, electrical characteristics of the shaded modules are different from the unshaded modules. The shaded PV module generates the less current than the unshaded PV module. In this case, the shaded module carry negative voltage and the power will be delivered. Therefore, the heat of the module increases and this may damage the module, which is called 'hot spot'. In order to prevent the hot spot effects, bypass diodes are connected in parallel to the PV modules. Although the bypass diodes prevent the hot spot problem, multi peak points in the P-V characteristic of the array are occurred (Bidram et al., 2012; Moballeggh and Jiang, 2014; Malathy and Ramaprabha, 2017; Bana and Saini, 2017). To explain the effects of PSCs on the PV array, a 3×1 series connected PV array is shown in Figure 1. P-V and I-V characteristics of PV array are given in Figure 2 (a) and (b). When P-V characteristic are analyzed, there is one global MPP under uniform condition. Although, there is one MPP without bypass diode, three peak point have been occurred with bypass diode. According to I-V characteristics, the current of the PS with bypass diode is same with the uniform condition because bypass diodes provide an alternate current path.

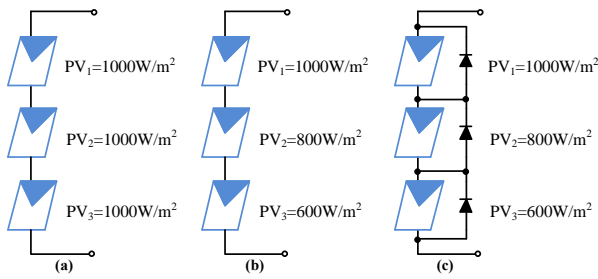


Figure 1. 3×1 series connected PV array under (a) uniform solar irradiation, (b) PS without bypass diode, and (c) PS with bypass diode

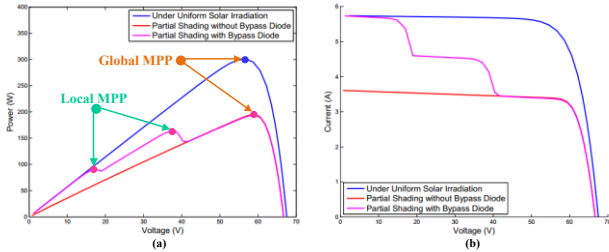


Figure 2. (a) P-V and (b) I-V characteristics of PV array

3. Maximum Power Point Tracking Techniques under PSCs

A general block diagram of MPPT based PV system is given in Figure 3. The extracting maximum power is done by adjusting the duty cycle of DC-DC converter. From the sensed parameters, which can be measured temperature (T), solar irradiance (G), PV voltage (V_{PV}) and current (I_{PV}), the MPPT algorithm generates the optimum duty cycle so as to obtain maximum power from PV system (Salam et al, 2013; Ishaque and Salam, 2013).

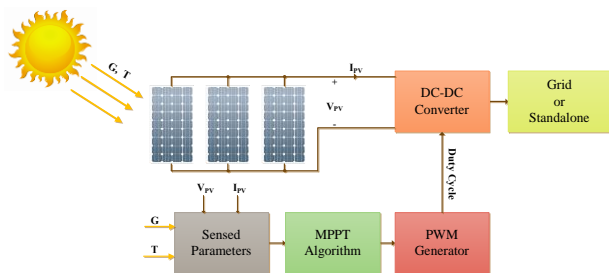


Figure 3. A general block diagram of MPPT based PV system

Generally, MPPT algorithms can be categorized as soft computing and conventional techniques in the literature. The conventional techniques are HC, P&O, FOCV, FSCC, and INC. The most important drawback of conventional techniques is that they cannot track global MPP under PSCs. Due to this reason, SC based MPPT techniques have been presented in the literature. SC techniques are highly suitable for PSCs due to their robustness, flexibility, and reliability. Classifying of the SC based MPPT techniques are demonstrated in Figure 4 (Salam et al, 2013; Ishaque and Salam, 2013; Jordehi, 2016).

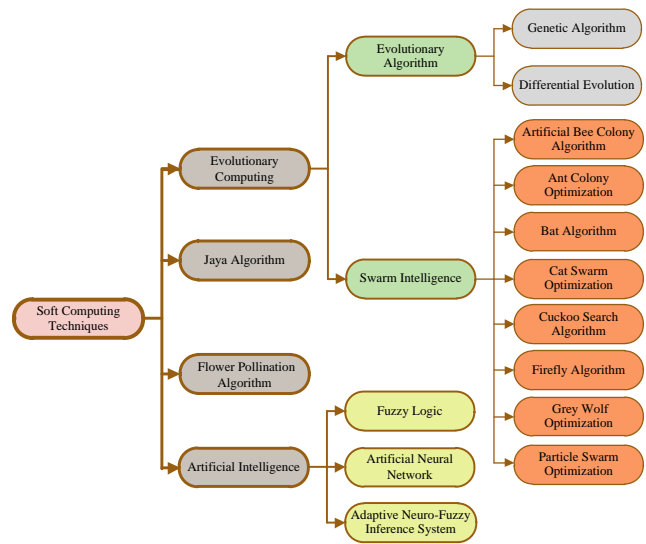


Figure 4. Classifying of the SC based MPPT techniques

3.1 Artificial Bee Colony Algorithm

The Artificial Bee Colony (ABC) algorithm proposed by Karaboga is based on the foraging behavior of honey bees (Karaboga, 2005). In ABC, artificial bee’s colony composes of three types of bees: employed bees used to search the food and to share this information with the colony, unemployed or onlooker bees which try to find a food source by watching the employed bees, and scout bees searching a new food source randomly. They communicate and coordinate to each other to obtain optimal solution in a short time (Karaboga, 2010; Sundareswaran et al, 2015; Soufyane Benyoucef et al, 2015; Mohapatra et al., 2017). In the algorithm, location of a food source and the quantity of nectar denote a solution of the optimization problem and the fitness value of the related solution, respectively. The algorithm starts with a parameter initialization and it generates an arbitrarily initial population (P) of SN solutions, which is the population size. Each solution x_i is n -dimensional vector. For initialization process, Equation (1) is used.

$$x_{i,j} = x_{min,i} + rand[0, 1](x_{max,i} - x_{min,i}), \quad i = 1, \dots, SN, \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Here, n is the number of optimization parameters, $x_{max,i}$ and $x_{min,i}$ are the upper and lower bound of the $x_{i,j}$, respectively. The employed bees evaluate the new food sources and they are used the Equation (2) for generating a candidate food position (v_i) from the old value (x_i) in memory.

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (2)$$

In Equation (2), x_k is an arbitrarily selected food source, $\varphi_{i,j}$ is a random number between $[-1, 1]$, $k=1, \dots, SN$ and it must be different from i . The onlooker bees select food source of employed bee calculated on the basis of probability connected to the food source as below:

$$p_i = \frac{f(x_i)}{\sum_{n=1}^{SN} f(x_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, SN \quad (3)$$

where $f(x_i)$ is the fitness function of x_i . Performance of old and new candidate source position are compared. When the new food source is equal or better than the old one, the old one is replaced with a new one. On the other hand, the old one is preserved in the memory. If a position can't be improved during the specified number of cycles, it is assumed that the food source is given up. In this case, the scout bees find out a new food source with x_i using Equation (1) (Karaboga and Basturk, 2007; Karaboga, 2009; Sawant et al., 2016).

Sundareswaran et al. (2015) have carried out simulation and experimental study for two different PV array configurations under PSCs. Both the results of experimental and simulation demonstrate that the ABC algorithm is far superior to particle swarm optimization (PSO) and enhanced P&O with regard to confirmed convergence to global optimum with minimum time and oscillations are reduced. In another study, the proposed ABC algorithm have been compared to PSO under PSC. The proposed algorithm has better tracking performance and convergence, but slow convergence speed compared to PSO (Soufyane Benyoucef et al., 2015).

3.2. Ant Colony Optimization

The Ant Colony Optimization (ACO) presented by Dorigo and Gambardella is inspired by foraging behavior of the ants (Dorigo and Gambardella, 1997; Jiang and Maskell, 2014). Each ant in population is allured to other ant with its attractive force. Depending on the attractive force, the ants migrate from the lower strength zone to the higher strength zone. After each iteration, attractive force is calculated and ants move to the optimum solution [5]. Firstly, K random solutions whose size is greater than number of ants in population (N) are generated and stored in the solution archive. The solutions are ranked by their fitness value $f(s_j)$ and it is given in Equation (4) (Jiang and Maskell, 2014; Das et al., 2017).

$$f(s_1) \leq f(s_2) \leq \dots \leq f(s_K) \quad (4)$$

Gaussian distribution function given in Equation (5) is used for determining the positions of ants.

$$G_j(x) = \sum_{l=1}^K w_l g_l^j(x) = \sum_{l=1}^K w_l \frac{1}{\sigma_l^j \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(x-\mu_l^j)^2}{2(\sigma_l^j)^2}\right]} \quad (5)$$

Here, $G_j(x)$ is the Gaussian kernel for j^{th} dimension of the solution, σ_l^j and μ_l^j are j^{th} dimensional standard deviation and mean value and w_l is the weightage factor. They are respectively calculated by Equations (6-8).

$$\sigma_l^j = \varepsilon \sum_{i=1}^K \frac{|s_i^j - s_l^j|}{K-1} \quad (6)$$

$$\mu^j = \{\mu_1^j, \dots, \mu_l^j, \dots, \mu_K^j\} = \{s_1^j, \dots, s_l^j, \dots, s_K^j\} \quad (7)$$

$$w_l = \frac{1}{QK\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(l-1)^2}{2Q^2K^2}\right]}, \quad w_K \leq \dots \leq w_l \leq \dots \leq w_2 \leq w_1 \quad (8)$$

where ε is the convergence speed, Q is the parameter of best optimal operating solution. The probability value of Gaussian function is given as follows:

$$P_l = \frac{w_l}{\sum_{l=1}^K w_l} \quad (9)$$

The iteration process is repeated until new optimal solution is produced [37].

Jiang and Maskell (2014) have proposed a uniform implementation scheme where there is a single central MPPT. The efficiency of the ACO based MPPT is confirmed with simulations and experimental setup under uniform and PSCs. In another study, the authors have compared the ACO to constant voltage tracking (CVT), PSO, and P&O under different PSCs (Jiang and Maskell, 2013).

3.3. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) architecture is an integration of fuzzy logic and neural network algorithm. The general structure of the ANFIS for 2 inputs (x and y) is shown in Figure 5. The functions of each layer are described below. In the structure, there are 5 layer and each layer consists of several nodes (Jiang, 1993; Abu-Rub et al., 2012). The functioning of the ANFIS is as follows:

Layer 1: It is the fuzzification layer. Each node i is an adaptive node given by:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1 \text{ and } 2 \quad (10)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3 \text{ and } 4 \quad (11)$$

where A_i and B_i are the linguistic labels characterized by μ_{A_i} and μ_{B_i} , respectively.

Layer 2: The nodes in the layer are fixed nodes and labeled as Π . Each node calculates the firing strengths of each rule by cross multiplying all incoming rules. Firing strength is represented as w_i .

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 1 \text{ and } 2 \quad (12)$$

Layer 3: The nodes are also fixed nodes labeled as N . In this node, the ratio of the each firing strength of i^{th} rule to the sum of firing strength of all rules are calculated as:

$$O_{3,i} = \frac{w_i}{\sum w_i} = \bar{w}_i, \quad i = 1 \text{ and } 2 \quad (13)$$

Layer 4: Every node i is an adaptive node with a node function:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y), \quad i = 1 \text{ and } 2 \quad (14)$$

where α , β , and γ are the constant parameters.

Layer 5: The final output is the weighted average of outputs of all rule.

$$O_{5,i} = \sum_{i=1}^2 \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^2 \bar{w}_i f_i}{\sum_{i=1}^2 \bar{w}_i} \quad (15)$$

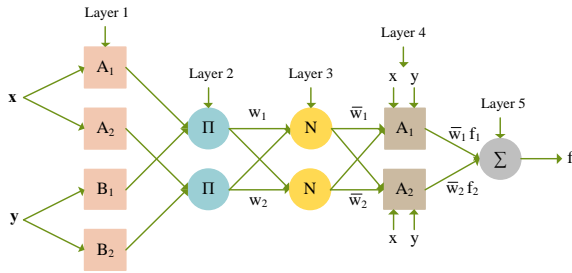


Figure 5. The general structure of the ANFIS

Abu-Rub et al. (2012) have presented an ANFIS-based MPPT controller under fast varying weather condition. The simulation results demonstrates that the maximum power is obtained with proposed MPPT method under rapidly changing environmental conditions. In another study, TCT configured PV array have been used under PSCs for different PSCs. The results indicate that ANFIS-based MPPT method can effectively track MPP (Belhachat, F., & Larbes, C., 2017).

3.4. Artificial Neural Network

The Artificial Neural Network is inspired by biological nervous systems such as the brain. It composes of connectors and neurons and similar with brain neuron structure. The architecture of a multilayer feed forward network consists of an input layer in which input data groups are introduced to the network, hidden layer which receives the data from input layer, processes it, and then transmits it to the output layer, and an output layer which processes the data received from the hidden layer and creates the output. Information is generally stored as a set of connection weights. Training is the process of changing the connection weights using a methodology that is appropriate to the learning process. A network uses a learning method, which is a process defining the relation between the system inputs and outputs, and one of the most usual learning methods is the back propagation algorithm (Kalogirou, 2001). In (Rizzo and Scelba, 2015), the duty cycle of the DC-DC converter is adjusted according to the error between the desired and measured PV voltages. As a result, numerical simulations have confirmed the validity of the ANN based MPPT. Syafaruddin et al. (2009) have been presented a novel MPPT system using ANN and FL under PSCs. ANN is used for specifying the MPP voltage under PSCs and the MPP voltage is used as reference voltage in fuzzy logic. The results show that much more power can be obtained with the proposed system and efficiency can be increased.

3.5. Bat Algorithm

Bat Algorithm inspired by the behavior of bats while searching for food is proposed by Xin-She Yang. The main concept behind the BA is constructed using three simple and basic ideas (Yang and Gandomi, 2012; Gandomi and Yang, 2014; Kaced et al., 2017):

1. To feel the distance, all bats use echolocation and they can detect to distance of prey, background obstacles, and difference in the available prey or food in the search path.
2. Each bat flies arbitrarily with velocity v_i at position x_i with a fixed frequency f_{min} , loudness A_0 , and changing wavelength λ for searching the prey. They adjust their wavelength or frequency and can adjust the pulse emission rate $r_i \in [0, 1]$ based on the proximity of the prey.
3. Loudness of the bats changes A_0 to a minimum fixed value A_{min} as reducing with decreased distance of the food. BA starts its search using a random initial population. The process of updating the position and velocity of bats at time step t is as follows:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (16)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x')f_i \quad (17)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (18)$$

where β is defined for uniform distribution as a vector and selected between $[0, 1]$. x' is the current global best location, f_{min} and f_{max} are the minimum and maximum frequency of the i^{th} bat, and β is a random value between $[0, 1]$. In algorithm, a random number β is generated and if this valued is greater than r_i , a new solution around the bat x_i is produced and it is calculated with Equation (19).

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \quad (19)$$

Here, ε is a random number between $[-1, 1]$ and A^t is the average loudness of all bats at t^{th} time step. Moreover, the loudness and rate parameter are renewed as follows:

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (20)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0(1 - e^{-\gamma t}) \quad (21)$$

where α and γ represent the constant values. If a bat finds its prey, the loudness value decreases. Loudness and pulse emission rate are inversely proportional to each other.

In a study, bat algorithm based MPPT method is proposed under PSCs. To affirm the efficiency of the BAT, experimental and simulation studies have been implemented under PSCs. The results demonstrate that the efficiency of the method is improved (Kaced et al., 2017).

3.6. Cat Swarm Optimization

Cat Swarm Optimization (CSO) suggested by Chu and Tsai is based on the living habits and foraging of cats. In

algorithm, each cat in the swarm has its own position which represents the solution set, velocity for each dimension, and a fitness value. Moreover, a flag is used to determine the mode of the cat. In CSO, the behavior of cats into two modes: seeking mode (SM), in which cats always remain alert and move very slowly, and tracing mode (TM) in which the cats chase the prey when feeling it. All cats in the population are arbitrarily divided down the middle groups at each iteration. One of them is carried by SM, while the other is carried by TM. The ratio between two groups is controlled by the mixture ratio (MR) (Chu and Tsai, 2007; Panda et al., 2011; Guo et al., 2016; Guo et al., 2017).

Seeking mode (SM)

A cat moves slowly and spend most of time to rest, but it is always alert in seeking mode. This mode has four main parameters; seeking range of the selected dimension (SRD) specifying the change of value for the chosen dimension, seeking memory pool (SMP) demonstrating the count of a cat copy, counts of dimension to change (CDC) symbolized the number of dimensions to be mutated, and self-position consideration (SPC) determining whether it is one of the candidate points to be moved to where it is currently located. This mode consists of four steps. These are;

1. Create SMP copies of the i^{th} cat and store them in SMP.
2. Perform a mutation operator to X_{kd} . Here, $k \in [1, SMP]$, $d \in [1, D]$, and D is the dimensions number.
- 3) Assess the fitness value of all mutated copies in SMP and find the copy (X_{best}).
- 4) If X_i is worse than X_{best} in terms of fitness value, replace X_i with X_{best} .

Tracing mode (TM)

In TM, cats desire to trace targets and foods and they move rapidly toward a new position during chasing process. This mode can be defined as follows:

1. Calculate the velocity using the Equation (22).

$$V_{i,d} = w \times V_{i,d} + r_1 \times c_1 \times (X_{best,d} - X_{i,d}) \tag{22}$$

where X_{best} represents the best position among all cats, c_1 is an acceleration constant, w is the inertia weight, and r_1 is the random number between [0, 1].

2. Check the velocities whether or not they are in the maximum velocity range. If the new velocity exceeds the maximum value, it sets equal to this limit.
3. Calculate the position using Equation (23).

$$X_{i,d} = X_{i,d} + V_{i,d} \tag{23}$$

Guo et al. (2017) have proposed a modified cat swarm optimization based MPPT method. The validity of the algorithm is confirmed with various simulation and experiments under different PSCs. According to results, the algorithm is system independent, high performance with regard to tracking accuracy and convergence speed,

has high ability to find global MPP, and removes the power oscillation around MPP.

3.7. Cuckoo Search Algorithm

Cuckoo Search (CS) based on the brood parasitism of some cuckoo birds is developed by Yang and Deb (Yang and Deb, 2009). There are three types of brood parasitism: intraspecific brood parasitism, cooperative breeding, and nest takeover. When a host bird discover the eggs in its nest, it may either throw these eggs or build a new nest in another place. Cuckoo search model has three rules (Yang, 2013; Ahmed and Salam, 2014; Rezk et al., 2017):

1. Only one egg is produced by a cuckoo bird at a time.
2. The best nest will be transported to future generations.
3. Host nests have been considered fixed. Moreover, eggs thrown by a cuckoo are explored with a probability between [0, 1] by the host bird.

In CS algorithm, Lévy flights is a random walk of cuckoo birds used for generating new eggs and is specified by the power law as follows:

$$y = l^{-\lambda}, \quad (1 < \lambda < 3) \tag{24}$$

where λ is the variance and l is the flight length. To generate new solution, the Lévy flight is practiced using the Equation (25).

$$x_i^{(t+1)} = x_i^t + \alpha \oplus Lévy(\lambda) \tag{25}$$

Here, x_i^t is the sample, α is the step size, t and i are the number of iteration and sample, respectively. The value of α is the step size used in most cases as:

$$\alpha = \alpha_0(x_j^{(t)} - x_i^{(t)}) \tag{26}$$

where α_0 is the initial step size, $x_j^{(t)}$ and $x_i^{(t)}$ are the two samples.

CS algorithm is similar to the GA and PSO methods. Due to using Lévy flights for step size, CS has a faster convergence and more efficient random [9].

In (Ahmed and Salam, 2014), the algorithm have been compared with PSO and P&O algorithms under PSCs. According to simulation results, CS has better performance than P&O and PSO according to transient behavior, steady state, and convergence speed. Furthermore, CS is shown to be tracking ability of MPP under PSCs. In another study, the performance of the PSO and CS have been evaluated against INR based tracker under three different PS scenarios. The results show that PSO and CS based MPPT methods have stability and high accuracy to achieve MPP for all shading scenarios (Rezk et al., 2017).

3.8. Differential Evolution Algorithm

Differential Evolution (DE) is evolutionary based algorithm proposed by Price and Storn. DE is based on the mutation so that the operating point is closer to the optimum value in the search space. DE has three fundamental process: selection, crossover, and mutation. The algorithm begins with initialization process and the population is arbitrarily initialized with the initial parameters. For each individual in population, fitness function is calculated and the operating point is moved to the best solution according to fitness function values (Storn and Price, 1997; Taheri et al., 2010; Tajuddin et al., 2012; Tajuddin et al., 2013).

In (Taheri et al., 2010), the DE algorithm is compared with the P&O under both uniform and PSCs. The simulation results demonstrates that it can track MPP faster and more accurate than P&O. Tajuddin et al. (2012) have evaluated the DE based MPPT method with regard to tracking capability for non-uniform or rapidly changing solar irradiation. The simulation results show that it has fast and accurate convergence under test conditions. In another study, a modified DE algorithm is proposed for providing fast and accurate convergence to global MPP under PSCs. The performance of the algorithm has been assessed using simulation under changing of solar irradiation. According to simulation results, modified DE based MPPT algorithm is better than HC from the point of convergence speed and accuracy (Tajuddin et al., 2013).

3.9. Firefly Algorithm

The Firefly Algorithm (FA) proposed by Yang is inspired by fireflies flashing behaviors. The behaviors of fireflies is that they communicate, search for prey, and find mates. In order to simplify the algorithm, three assumptions are considered (Yang, 2010; Yetayew et al., 2016; Dhivya and Kumar, 2017; Teshome et al., 2017):

1. There is no gender in fireflies and every firefly is attracted to other fireflies without considering their gender.
2. The attractiveness of a firefly is directly proportional to the brightness of the firefly. For example, the less bright firefly will move towards the brighter firefly. Moreover, when the distance between fireflies increases, attractiveness and brightness decrease.
3. The brightness of a firefly is specified by the objective function.

The two main functions in FFA are the formulation of attractiveness and the change in light intensity. The distance between two fireflies is expressed as the Euclidean distance given in Equation (27).

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^D (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (27)$$

Here, D denotes the dimension, $x_{i,k}$ is the k th dimension of the i^{th} firefly, $x_{j,k}$ is the k th dimension of the j^{th} firefly, r_{ij} is

the distance between i^{th} and j^{th} fireflies. The attractiveness β of a firefly is defined as:

$$\beta(r_{ij}) = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (28)$$

where β_0 is the attractiveness at $r=0$. The movement of the i^{th} firefly can be expressed as:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha(rand - 0.5) \quad (29)$$

where α is a random movement factor between [0, 1].

In a study, the authors proposed a FA based MPPT method for sepic converter. Also, efficiency and performance of the FA are compared to P&O and PSO in simulation under PSCs. According to results, the FA tracks the global MPP faster than the others. It also reduces convergence and increases the efficiency of the converter (Dhivya and Kumar, 2017). In (Yetayew et al., 2016), the performance comparison of firefly and incremental conductance algorithms are presented under PSCs. The experimental results show that firefly algorithm has accurate tracking capability, fast dynamic response for PS, and low oscillation by comparison with incremental conductance algorithm.

3.10. Fuzzy Logic Control

Fuzzy logic control (FLC) is based on the principles of fuzzy set theory developed by Zadeh in 1965 (Ross, 2009). In binary logic, a variable is either ‘completely true’ or ‘completely false’. However, in FLC, a variable can take a value between 0 and 1. The most important advantage of the FLC is that there is no need for precise mathematical modeling and the decision is based on estimated values. The general structure of FLC is shown in Figure 6.

Fuzzification: Each element of input data is converted into suitable linguistic values so that can be compared to the rules in the rule base. There are different membership functions such as, Gaussian, triangular, and trapezoidal.

Fuzzy inference process: It combines membership functions with the control rules to derive the fuzzy output.

Defuzzification: It uses different methods such as center of gravity, center of area, and center of sums method in order to convert the linguistic variables to numerical values. Gravity center and field center methods are often used in defuzzification methods (Das et al., 2017).

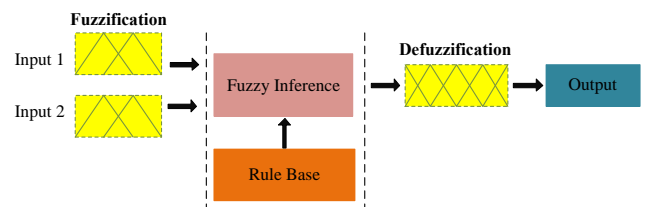


Figure 6. The general structure of FLC

3.11. Flower Pollination Algorithm

Flower Pollination Algorithm (FPA) proposed by Xie Yang is based on the pollination processes of the flower in the nature. The main process of this algorithm is the reproduction by pollination based on the transfer of pollen from flower to another. There is two type transfer: biotic pollination done by animals that visit the flowers called pollinators and abiotic pollination like by wind, gravity or water. The FPA algorithm is developed with the following rules (Yang et al., 2013; Yang et al., 2014; Ram et al., 2017; Ram and Rajasekar, 2017):

1. Cross pollination and biotic can be regarded as a global pollination process where flower pollen gametes are realized by pollinators carrying pollen move to comply with Levy flights.
2. Self-pollination and abiotic are used for local pollination, where the transfer of pollens between same species.
3. The flower constant can be developed by pollinators.
4. The exchange between local and global pollination can be checked by switch probability p which is between $[0, 1]$.

The above rules are transformed to appropriate update equations. Therefore, for global pollination step and flower constant can be presented by Equation (30).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g_{best} - x_i^t) \quad (30)$$

Here, x_i^t is the pollen, g_{best} is the current best solution, γ is the scaling factor which controls the step size, and $L(\lambda)$ is the Lévy flights-based step size. Insects can fly over long distances with Lévy distribution given in Equation (31).

$$L(\lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi}{2})}{\pi} \frac{1}{S^{1+\lambda}}, \quad S \gg S_0 > 0 \quad (31)$$

Here, $\Gamma(\lambda)$ is the gamma which is valid for large steps ($S \gg S_0 > 0$). Then, in order to model the local pollination, Equation (32) is used.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (32)$$

Here, x_i^t and x_j^t are the pollens from different flowers of the same plant species and ε represents the local search in uniform distribution between $[0, 1]$.

In (Shaiek et al., 2013), the performance of the FPA is evaluated for ten different shading conditions and its tracking performance is compared to PSO. It is found that FPA is capable of extracting the maximum power and has fast convergence speed. In (Subha and Himavathi, 2017), comprehensive performance evaluation of the FPA based MPPT method have been carried out under three shading pattern using simulation and hardware. According to results, the superiority of the FPA is proved when compared with P&O and PSO according to efficiency and convergence time. Moreover, it is more robust than the others and has quick convergence with zero steady-state oscillations.

3.12. Genetic Algorithm

Genetic Algorithm is an evolutionary computation introduced by Holland in 1975 through by the principles of natural evolution. The purpose of the algorithm is to create best species from its predecessors. In algorithm, a chromosome consisting of a fixed gene population represents a candidate solution. It has three fundamental operator: selection, crossover, and mutation. In selection process, a chromosome is randomly selected from the current generation for inclusion in the next generation to their fitness value. In crossover, two chromosomes are combined in order to produce a new chromosome. The mutation operator is used to provide genetic diversity (Mirjalili et al., 2014; Smida and Sakly, 2015). Smida and Sakly, (2015) have implemented, evaluated, and compared P&O, INC, and the GA methods under PSCs. Among these algorithms, GA has extracted the global MPP and tracks the global MPP when PSCs occurred.

3.13. Grey Wolf Optimization

Grey wolf optimization (GWO) is inspired by social hierarchy and hunting behavior of grey wolves. They live a strict social dominant hierarchy (Mohanty et al., 2016). There are four types of grey wolves: alpha (α) wolves which are the leader and decision maker, beta (β) and delta (δ) wolves which assist the α in decision making, and omega (ω) wolves which are the bottom of the pyramid and should submit to all the other dominant wolves. The main steps of grey wolf hunting are as follows:

- a) Catching, monitoring and approaching the prey.
- b) Seeking, surrounding, and disturbing the prey.
- c) Attacking the prey.

During hunting, grey wolves surrounds the prey and the surrounding behavior can be modeled with Equation (33) and (34).

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}_p(t)| \quad (33)$$

$$\vec{X}(t + 1) = |\vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D}| \quad (34)$$

Here, X and X_p is the position vector of grey wolf and prey, respectively, t is the number of iteration, A , C , and D are the coefficient vectors. A and C are calculated using Equation (35) and (36).

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (35)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (36)$$

Here, a decreases linearly from 2 to 0 and r_1 and r_2 is the random vectors between $[0, 1]$ (Mohanty et al., 2016; Rao, 2016; Mohanty et al., 2017).

In (Mohanty et al., 2017), GWO based MPPT method have been proposed. The proposed algorithm are compared with improved PSO (IPSO) and P&O under PSCs. According to experimental and simulation results, GWO is

better than IPSO and P&O with respect to tracking speed and tracking accuracy. Also, it has zero steady-state oscillations and high power efficiency.

3.14. Jaya Algorithm

Jaya algorithm presented by Rao is based on the principle of avoiding worst solutions (Huang et al., 2017). First, the worst solution is find and then, all solutions are removed from it. After, worst solution is updated from the worst solution. Thus, all solutions at the next iteration are better than previous worst solution. In the algorithm, fitness function is $P=f(V)$ and the solution is calculated as:

$$V_{i,j}^{k+1} = V_{i,j}^k + rand_1 \times (V_{i,best}^k - |V_{i,j}^k|) - rand_2 \times (V_{i,worst}^k - |V_{i,j}^k|), k = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, p \quad (37)$$

where $V_{i,j}^k$, $V_{i,best}^k$, and $V_{i,worst}^k$ respectively represent the value of the i^{th} variable of the j^{th} solution, the value of variable i for the best solution, and the value of variable i for the worst solution during the k^{th} iteration. k , n , j , and p represents the number of iterations, maximum number of iterations, number of solutions, and maximum number of solutions. Moreover, $rand_1$ and $rand_2$ are the random numbers between $[0, 1]$. The next iterative updating is done with Equation (38) (Kennedy and Eberhart, 1995; Kumar et al., 2017).

$$V_{i,j}^{k+1} = \begin{cases} V_{i,j}^k, & \text{if } f(V_{i,j}^k) > f(V_{i,j}^{k+1}) \\ V_{i,j}^{k+1}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (38)$$

Kumar et al. (2017) have proposed Jaya based MPPT method and simulated it under various PSCs. According to results, the proposed method requires less iterations to converge to the GMPP and shows higher dynamical tracking efficiency than PSO methods.

3.15. Particle Swarm Optimization Algorithm

Particle Swarm Optimization (PSO) presented by Kennedy and Eberhart is inspired by the natural behavior of the fish flocks and birds (Ishaque et al., 2011; Badis et al., 2016). In the algorithm, a particle represents the each individual in the swarm and each particle has a velocity and position vector. These particles follow the same behavior: Each particle adjusts its position to best position of the swarm whose value is the most closest to the target. The algorithm initializes with a group of random solutions and tries to find the best value by updating each iteration. Each particle keeps its current and previous positions in the memory and determines the best position until that iteration which is called the personal best value (p_{best}). In addition, the best position of the whole particles by controlling the p_{best} values of the particles is determined and it is called global best position (g_{best}). After finding these values, velocity and position of the particles are updated as follows:

$$v_i^{k+1} = w \cdot v_i^k + c_1 r_1 (p_{best_i}^k - x_i^k) + c_2 r_2 (g_{best}^k - x_i^k) \quad (39)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (40)$$

where k is the number of iterations, i represents the optimization vector variable, v_i^k and x_i^k are respectively the velocity and position of particle i of the k^{th} iteration, c_1 is the cognitive coefficient of the individual particles, c_2 is the social coefficient of all particles, r_1 and r_2 are the random variables between $[0, 1]$, and w is the inertia weight factor (Ishaque et al., 2012; Jumpasri et al., 2014). Ishaque et al. (2011) have compared to PSO with GA based MPPT under same PSCs. PSO based MPPT is more efficient than GA. Also, it is swiftly tracked the MPP than GA. In (Jumpasri et al., 2014), a modified PSO has been proposed. It has low tracking speed, and ability to track the MPP for the extreme environmental condition when compared to HC method. In another study, a comparative study between the HC and PSO based MPPT techniques has been presented. According to simulation and experimental results, PSO based technique can find global MPP more efficiently than HC. Moreover, PSO can reduce the steady state oscillation (Rajasekar et al., 2014). Babu et al. (2015) have presented a modified PSO technique for MPPT. According to simulation and experimental results, modified PSO has good tracking speed, almost zero steady state oscillations, and ability to track MPP under PSCs.

4. Discussion

In the literature, different MPPT techniques have been presented so as to track the MPP. Each technique has advantages and disadvantages. In this article, a comprehensive comparison between SC based MPPT techniques has been done on the following parameters: PV array dependency, sensors required, tracking efficiency, tracking speed, algorithm complexity, and oscillation around MPP. In Table 1, comprehensive analysis of SC based MPPT techniques is given. However, this analysis may not be a final conclusion because the studies for each technique have nor carried out under same conditions. Therefore, it is not possible to compare the methods on a common platform. Consequently, the authors have tried to do their best to provide a realistic comparison.

4.1. PV Array Dependency

An ideal MPPT technique should be array independent. In other words, it can track the MPP for all type of cell technologies, PV array size, and all configurations. While ANN, ANFIS, and FLC techniques are array dependent, other soft computing techniques are array independent.

4.2. Sensors Required

The sensors used in MPPT can be voltage, current, temperature, and solar irradiation. Generally, voltage and current sensors are used, but the ideal situation is to use only one sensor when the system consists of large size PV array with separate MPPT.

4.3. Tracking Speed

Tracking speed of the MPPT techniques can be defined as the speed of them to achieve the MPP. Under PSCs, global MPP changes and the MPPT technique must adapt and track the global MPP as quickly as possible. As a result, tracking speed is a crucial factor for MPPT under PSCs.

4.4. Algorithm Complexity

Basically, it is difficult to evaluate the MPPT methods according to algorithm complexity. SC based MPPT techniques are more complex than conventional techniques. Among the SC based techniques, there is no criteria to rank the complexities. However, in this paper, an evaluation and ranking are done according to algorithm parameters, number of steps and calculations, and complexity of structure.

4.5. Tracking Efficiency

Tracking efficiency can be determined as the tracking accuracy of the MPPT. It is calculated by Equation (43).

$$\eta = \frac{\text{Tracked power}}{V_{mpp}I_{mpp}} \tag{43}$$

5. Conclusion

In this paper, 15 SC based MPPT techniques used for PV system have been reviewed and presented. SC techniques are preferred due to the tracking ability under PSCs. Mathematical equations and flowchart of the each SC based MPPT technique are given in detail. Also, research articles about MPPT techniques, mentioned in the article, are carefully analyzed and listed in every subsections. These techniques are extensively compared with each other with regard to photovoltaic array dependency, sensors required, tracking efficiency, tracking speed, algorithm complexity, oscillation around maximum power point, and implementation.

Table 1. Comprehensive analysis of SC based MPPT techniques

MPPT Techniques	PV array dependency	Sensors	Tracking speed	Efficiency	Oscillation around MPP	Algorithm complexity
Artificial Bee Colony Algorithm	No	V, I	Fast	High	No	Complex
Ant Colony Optimization	No	V, I	Fast	High	No	Complex
Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	Yes	V, I, T, G	Fast	Low	No	Complex
Artificial Neural Networks	Yes	V, I, G	Fast	Low	No	Complex
Bat Algorithm	No	V, I	Fast	High	No	Complex
Cat Swarm Optimization	No	V, I	Fast	High	No	Medium
Cuckoo Search Algorithm	No	V, I	Very Fast	High	No	Medium
Differential Evolution Algorithm	No	V, I	Medium	High	No	Medium
Firefly Algorithm	No	V, I	Very Fast	High	No	Medium
Fuzzy Logic Control	Yes	V, I	Medium	Low	No	Medium
Flower Pollination Algorithm	No	V, I	Very Fast	High	No	Medium
Genetic Algorithm	No	V, I	Medium	High	No	Complex
Grey Wolf Optimization	No	V, I	Very Fast	High	No	Medium
Jaya Algorithm	No	V, I	Very Fast	High	No	Medium
Particle Swarm Optimization Algorithm	No	V, I	Fast	High	No	Medium

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

Ahmed, J., & Salam, Z., 2014. A Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV system using Cuckoo Search with partial shading capability. *Applied Energy*, 119, 118-130.

Ahmed, J., & Salam, Z., 2015. A critical evaluation on maximum power point tracking methods for

partial shading in PV systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 933-953.

Amir, A., Selvaraj, J., & Rahim, N. A., 2016. Study of the MPP tracking algorithms: Focusing the numerical method techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 350-371.

Babu, T. S., Rajasekar, N., & Sangeetha, K., 2015. Modified particle swarm optimization technique based maximum power point tracking for uniform and under partial shading condition. *Applied soft computing*, 34, 613-624.

- Badis, A., Mansouri, M. N., & Sakly, A., 2016. PSO and GA-based maximum power point tracking for partially shaded photovoltaic systems. In Renewable Energy Congress (IREC), 2016 7th International (pp. 1-6). IEEE.
- Bana, S., & Saini, R. P., 2017. Experimental investigation on power output of different photovoltaic array configurations under uniform and partial shading scenarios. *Energy*, 127, 438-453.
- Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F., 2015. A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 637-648.
- Belhachat, F., Larbes, C., 2015. Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions. *Solar Energy*, 120, 399-418.
- Belhachat, F., & Larbes, C., 2017. Global maximum power point tracking based on ANFIS approach for PV array configurations under partial shading conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 875-889.
- Bhatnagar, P., & Nema, R. K., 2013. Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 224-241.
- Bidram, A., Davoudi, A., & Balog, R. S., 2012. Control and circuit techniques to mitigate partial shading effects in photovoltaic arrays. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2(4), 532-546.
- Bingöl, O., & Özkaya, B., 2018. Analysis and comparison of different PV array configurations under partial shading conditions. *Solar Energy*, 160, 336-343.
- Bouilouta, A., Mellit, A., & Kalogirou, S. A., 2013. New MPPT method for stand-alone photovoltaic systems operating under partially shaded conditions. *Energy*, 55, 1172-1185.
- Chu, S. C., & Tsai, P. W., 2007. Computational intelligence based on the behavior of cats. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 3(1), 163-173.
- Das, S. K., Verma, D., Nema, S., & Nema, R. K., 2017. Shading mitigation techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 369-390.
- Dileep, G., & Singh, S. N., 2017. Application of soft computing techniques for maximum power point tracking of SPV system. *Solar Energy*, 141, 182-202.
- Dhivya, P., & Kumar, K. R., 2017. MPPT based control of sepic converter using firefly algorithm for solar PV system under partial shaded conditions. In Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT), 2017 International Conference on IEEE, 1-8.
- Dorigo, M., & Gambardella, L. M., 1997. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 1(1), 53-66.
- Eltawil, M. A., & Zhao, Z., 2013. MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 793-813.
- Enany, M. A., Farahat, M. A., & Nasr, A., 2016. Modeling and evaluation of main maximum power point tracking algorithms for photovoltaics systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1578-1586.
- Gandomi, A. H., & Yang, X. S., 2014. Chaotic bat algorithm. *Journal of Computational Science*, 5(2), 224-232.
- Guo, L., Meng, Z., Sun, Y., & Wang, L., 2016. Parameter identification and sensitivity analysis of solar cell models with cat swarm optimization algorithm. *Energy conversion and management*, 108, 520-528.
- Guo, L., Meng, Z., Sun, Y., & Wang, L. (2018). A modified cat swarm optimization based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partially shaded condition. *Energy*, 144, 501-514.
- Huang, C., Zhang, Z., Wang, L., Song, Z., & Long, H., 2017. A novel global maximum power point tracking method for PV system using Jaya algorithm, 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 1-5.
- Ishaque, K., Salam, Z., Taheri, H., & Shamsudin, A., 2011. Maximum power point tracking for PV system under partial shading condition via particle swarm optimization. In Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), IEEE, 5-9.
- Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M., & Mekhilef, S., 2012. An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation. *IEEE transactions on Power Electronics*, 27(8), 3627-3638.
- Ishaque, K., & Salam, Z., 2013. A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 475-488.

- Jang, J. S., 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Ji, Y. H., Jung, D. Y., Kim, J. G., Kim, J. H., Lee, T. W., & Won, C. Y., 2011. A real maximum power point tracking method for mismatching compensation in PV array under partially shaded conditions. *IEEE Transactions on power electronics*, 26(4), 1001-1009.
- Jiang, L. L., Maskell, D. L., & Patra, J. C., 2013. A novel ant colony optimization-based maximum power point tracking for photovoltaic systems under partially shaded conditions. *Energy and Buildings*, 58, 227-236.
- Jiang, L. L., & Maskell, D. L., 2014. A uniform implementation scheme for evolutionary optimization algorithms and the experimental implementation of an ACO based MPPT for PV systems under partial shading. In *Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, IEEE, 1-8.
- Jordehi, A. R., 2016. Maximum power point tracking in photovoltaic (PV) systems: A review of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1127-1138.
- Jumpasri, N., Pinsuntia, K., Woranetsuttikul, K., Nilsakorn, T., & Khan-ngern, W., 2014. Improved particle swarm optimization algorithm using average model on MPPT for partial shading in PV array. In *Electrical Engineering Congress (iEECON)*, 2014 International IEEE, 1-4.
- Kaced, K., Larbes, C., Ramzan, N., Bounabi, M., & Elabadine Dahmane, Z., 2017. Bat algorithm based maximum power point tracking for photovoltaic system under partial shading conditions. *Solar Energy*, 158, 490-503.
- Kalogirou, S. A., 2001. Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 5(4), 373-401.
- Karaboga, D., & Basturk, B., 2007. Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems. In *International fuzzy systems association world congress*, Springer, 789-798.
- Karaboga, N., 2009. A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters. *Journal of the Franklin Institute*, 346(4), 328-348.
- Karaboga, D., 2010. Artificial bee colony algorithm. *Scholarpedia*, 5(3), 6915.
- Karaboga, D., 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization Technical report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 200.
- Kennedy, J., & Eberhart, R., 1995. PSO optimization. In *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 4, 1941-1948.
- Kumar, N., Hussain, I., Singh, B., & Panigrahi, B. K., 2017. Rapid MPPT for uniformly and partial shaded PV system by using JayaDE algorithm in highly fluctuating atmospheric conditions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(5), 2406-2416.
- Liu, Y. H., Chen, J. H., & Huang, J. W., 2015. A review of maximum power point tracking techniques for use in partially shaded conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 436-453.
- Liu, L., Meng, X., & Liu, C., 2016. A review of maximum power point tracking methods of PV power system at uniform and partial shading. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1500-1507.
- Malathy, S., & Ramaprabha, R. (2018). Reconfiguration strategies to extract maximum power from photovoltaic array under partially shaded conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2922-2934.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A., 2014. Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- Moballeggh, S., & Jiang, J., 2014. Modeling, prediction, and experimental validations of power peaks of PV arrays under partial shading conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(1), 293-300.
- Mohanty, S., Subudhi, B., & Ray, P. K., 2016. A new MPPT design using grey wolf optimization technique for photovoltaic system under partial shading conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1), 181-188.
- Mohanty, S., Subudhi, B., & Ray, P. K., 2017. A grey wolf-assisted perturb & observe MPPT algorithm for a PV system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32(1), 340-347.
- Mohapatra, A., Nayak, B., Das, P., & Mohanty, K. B., 2017. A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 854-867.
- Momoh, J. A., 2015. Adaptive stochastic optimization techniques with applications. CRC Press.
- Ngan, M. S., & Tan, C. W., 2011. A study of maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. In *Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC)*, 2011 IEEE, 22-27.

- Panda, G., Pradhan, P. M., & Majhi, B., 2011. IIR system identification using cat swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12671-12683.
- Rajasekar, N., Vysakh, M., Thakur, H. V., Azharuddin, S. M., Muralidhar, K., Paul, D., & Babu, T. S., 2014. Application of modified particle swarm optimization for maximum power point tracking under partial shading condition. *Energy Procedia*, 61, 2633-2639.
- Ram, J. P., & Rajasekar, N., 2017. A new global maximum power point tracking technique for solar photovoltaic (PV) system under partial shading conditions (PSC). *Energy*, 118, 512-525.
- Ram, J. P., Babu, T. S., & Rajasekar, N., 2017. A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 826-847.
- Ram, J. P., & Rajasekar, N., 2017. A novel flower pollination based global maximum power point method for solar maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(11), 8486-8499.
- Rao, R., 2016. Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34.
- Reisi, A. R., Moradi, M. H., & Jamasb, S., 2013. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 433-443.
- Rezk, H., Fathy, A., & Abdelaziz, A. Y., 2017. A comparison of different global MPPT techniques based on meta-heuristic algorithms for photovoltaic system subjected to partial shading conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 377-386.
- Rizzo, S. A., & Scelba, G., 2015. ANN based MPPT method for rapidly variable shading conditions. *Applied Energy*, 145, 124-132.
- Ross, T. J., 2009. *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
- Salam, Z., Ahmed, J., & Merugu, B. S., 2013. The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review. *Applied Energy*, 107, 135-148.
- Saravanan, S., & Babu, N. R., 2016. Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 192-204.
- Sawant, P. T., Lbhattar, P. C., & Bhattar, C. L., 2016. Enhancement of PV system based on artificial bee colony algorithm under dynamic conditions. In *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, IEEE International Conference on IEEE, 1251-1255.
- Seyedmahmoudian, M., Horan, B., Soon, T. K., Rahmani, R., Oo, A. M. T., Mekhilef, S., & Stojcevski, A., 2016. State of the art artificial intelligence-based MPPT techniques for mitigating partial shading effects on PV systems—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 435-455.
- Shaiek, Y., Smida, M. B., Sakly, A., & Mimouni, M. F., 2013. Comparison between conventional methods and GA approach for maximum power point tracking of shaded solar PV generators. *Solar energy*, 90, 107-122.
- Smida, M. B., & Sakly, A., 2015. Genetic based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for grid connected PV systems operating under partial shaded conditions. In *Modelling, Identification and Control (ICMIC)*, 2015 7th International Conference on IEEE, 1-6.
- Sundareswaran, K., Sankar, P., Nayak, P. S. R., Simon, S. P., & Palani, S., 2015. Enhanced energy output from a PV system under partial shaded conditions through artificial bee colony. *IEEE transactions on sustainable energy*, 6(1), 198-209.
- Soufyane Benyoucef, A., Chouder, A., Kara, K., & Silvestre, S., 2015. Artificial bee colony based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for PV systems operating under partial shaded conditions. *Applied Soft Computing*, 32, 38-48.
- Storn, R., & Price, K., 1997. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.
- Subha, R., & Himavathi, S., 2017. MPPT of PV systems under partial shaded conditions using flower pollination algorithm. In *Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT)*, 2017 International Conference on IEEE, 206-210.
- Syafaruddin, Karatepe, E., Hiyama, T., 2009. Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions. *IET Renewable Power Generation*, 3(2), 239-253.
- Taheri, H., Salam, Z., & Ishaque, K., 2010. A novel maximum power point tracking control of photovoltaic system under partial and rapidly fluctuating shadow conditions using differential

- evolution. In *Industrial Electronics & Applications (ISIEA)*, 2010 IEEE Symposium on IEEE, 82-87.
- Tajuddin, M. F. N., Ayob, S. M., & Salam, Z., 2012. Tracking of maximum power point in partial shading condition using differential evolution (DE). In *Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference on IEEE*, 384-389.
- Tajuddin, M. F. N., Ayob, S. M., Salam, Z., & Saad, M. S., 2013. Evolutionary based maximum power point tracking technique using differential evolution algorithm. *Energy and Buildings*, 67, 245-252.
- Teshome, D. F., Lee, C. H., Lin, Y. W., & Lian, K. L., 2017. A modified firefly algorithm for photovoltaic maximum power point tracking control under partial shading. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(2), 661-671.
- Yang, X. S., & Deb, S., 2009. Cuckoo search via Lévy flights. In *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on IEEE*, 210-214.
- Yang, X. S., 2010. *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press.
- Yang, X. S., & Hossein Gandomi, A., 2012. Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering Computations*, 29(5), 464-483.
- Yang, X. S., 2013. *Cuckoo search and firefly algorithm: theory and applications*. Springer.
- Yang, X. S., Karamanoglu, M., & He, X., 2013. Multi-objective flower algorithm for optimization. *Procedia Computer Science*, 18, 861-868. Yang, X. S., Karamanoglu, M., & He, X., 2014. Flower pollination algorithm: a novel approach for multiobjective optimization. *Engineering Optimization*, 46(9), 1222-1237.
- Yetayew, T. T., Jyothsna, T. R., & Kusuma, G., 2016. Evaluation of Incremental conductance and Firefly algorithm for PV MPPT application under partial shade condition. In *Power Systems (ICPS), 2016 IEEE 6th International Conference on IEEE*, 1-6.