

Sistein İçeren Yeni Bir Adsorban Sentezi ve Sulu Ortamdan Pb(II) ve Hg(II) İyonlarının Giderimi

Synthesis of A New Cysteine Containing Adsorbent and Removal of Pb(II) and Hg(II) Ions From Aqueous Media

Sabahattin DENİZ¹ , Güler DARTAN² , Yalçın Kaan TÜRKMENOĞLU² 

¹Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü 34722 Göztepe Kampüsü, İSTANBUL

²Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü 34722 Göztepe Kampüsü, İSTANBUL

Öz

Sulu ortamlardaki ağır metal kirliliği canlı hayatı için çok önemli sorunlara neden olabilmektedir. Pek çok organik kirleticilere göre sulu ortamda daha kararlı bir yapıda bulunabilmeleri ve biyolojik ortamlarda birikebilmeleri çevre sağlığı açısından geri dönülemez zararlara neden olabilmektedir. Gelişen ve artan sanayii üretimi atık olarak pek çok ağır metal oluşturmakta ve bunların kontrolsüz deşarjı temiz su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple sulu ortamdan ağır metal giderimi tüm canlılar için oldukça önemli bir konudur.

Bu çalışmada 3-aminopropilsilika sistein ile modifiye edilerek yeni bir adsorban sentezlendi ve karakterize edildi. Ardından sentezlenen bu adsorbanın Pb(II) ve Hg(II) iyonları için adsorpsiyon kapasitesi incelendi. Maksimum adsorpsiyon için en uygun şartlar (temas süresi, pH) belirlendi. Sentezlenen adsorbanın Pb(II) ve Hg(II) iyonları için pH=6' da 60 dakikada maksimum adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla $12,32 \pm 0,2$ ve $100,6 \pm 0,2$ mg g⁻¹ olarak belirlendi.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Sistein, Ağır metal, Kurşun, Cıva

Abstract

The heavy metal pollution in aqueous media can cause very important problems for living life. Compared to many organic pollutants, they can cause irreversible damages in terms of environmental health because they are more stable in aqueous environment and accumulate in biological environments. Developing and rising industrial production generates many heavy metals as waste, and their uncontrolled discharge causes a decrease in the clean water resources. Therefore, removal of heavy metals from aqueous environments is a crucial issue for all living species.

Presently, there is growing interest removing of heavy metal ions by adsorption methods in the use of modified silica gel. Silica gel has great importance as a solid support. In this work silica gel is chosen for the preparation of modified products because of having a lot of advantages such as high surface area, high mechanical endurance and thermal stability.

This study consists of two steps. First is modification of 3-aminopropylsilica with cysteine and characterized and second is determination of adsorption capacity of this adsorbent for Pb (II) and Hg (II) ions and optimum conditions (contact time, pH) for maximum adsorption. For determining of optimum conditions, adsorption experiments have been carried out at the pH range of 3 – 7 and contact time range of 10 – 120 minutes. The maximum adsorption capacity in 60 minutes at pH 6 for Pb (II) and Hg (II) ions were determined such as 12.32 ± 0.2 and 100.6 ± 0.2 mg g⁻¹, respectively. The adsorption studies also have been carried out at optimum conditions in synthetic wastewater and tap water by spiking heavy metal ions. The results showed that foreign ions have not any negative effect on adsorption of Pb(II) but unfortunately, they have on adsorption of Hg(II) ions. Having such satisfactory adsorption results, cysteine modified 3-aminopropylsilica is a potential candidate adsorbent for Pb(II) and Hg(II) removal from aqueous media.

Keywords: Adsorption, Cysteine, Heavy metal, Lead, Mercury

I. GİRİŞ

Canlı yaşamının temel kaynağı şüphesiz ki sudur. Yerkrimiz yaklaşık %70' inden fazlasının suyla kaplı olmasına rağmen tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır. Su kaynaklarının bilinçsiz kullanımı, kullanıma uygun su talebindeki artışlar, yer altı ve yer üstü su kalitesinin bozulması gibi sebepler çok yakın zamanda su kıtlığına neden olabilecek sebeplerden sayılabilir [1].

Dünya nüfusunun hızlı artışı, sanayileşmenin aşırı artması ancak buna paralel olarak çevre bilincinin bu hızda gelişmemesi kullanılabilir su kaynaklarını hızla tüketmektedir. Özellikle sanayileşmenin hızlı artması getirdiği pek çok avantaj yanında ürettiği atıklar nedeniyle çevre ve dolayısıyla canlılar için önemli tehditler oluşturmaktadır.

Çeşitli sanayii kuruluşlarının ürettiği zararlı atıkları genel olarak organik ve anorganik atıklar olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Bunlardan organik atıklar anorganik atıklara göre çevre ortamında daha dayanıksız olabilmektedir. Ancak anorganik atıklar özellikle sulu ortamlarda uzun zaman boyunca kalabilmekte ve birikimlere neden olabilmektedirler. Anorganik atıklar dendiğinde ise akla çoğunlukla ağır metaller gelmektedir.

Ağır metaller için çeşitli tanımlar yapılabilmektedir. Bu metallere "ağır metal" denmesinin sebebi fiziksel özellikleri bakımından yoğunluklarının 5 g cm^{-3} ten daha fazla olmalarıdır. Bu şekilde tanımlanabilecek içlerinde demir, bakır, kurşun, çinko, nikel, kobalt, cıva, kromun da olduğu 60' dan fazla ağır metal vardır [2].

Her ne kadar ağır metal dendiğinde pek çoğumuzun aklına sadece zehirli etkileri gelse de aslında ağır metaller biyolojik süreçteki etki derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak iki sınıfa ayrılabilirler. Bunlardan demir, bakır, çinko, nikel ve selenyum bazı biyokimyasal reaksiyonlarda kofaktör olarak rol oynamaları sebebiyle organizma yapısında belirli düzeylerde bulunmaları gerekmektedir. Ancak belirli bir derişimin (1-10 ppm) üstünde olduklarında toksik etki gösterirler. Ancak kurşun, cıva ve kadmiyum gibi ağır metallerin çok düşük derişimleri bile toksik etkiye sahiptir. Ağır metallerin insan sağlığı üzerine etkileri psikolojik bozukluklardan başlar deri, sindirim, kardiyovasküler, hormon ve immün sistem problemlerini de içeren pek çok fizyolojik probleme sebep olurlarken ve en nihayetinden pek çok kanser oluşumuna da sebep olmaktadır [3].

Bazı ağır metal tuzları suda iyi çözünmeleri nedeniyle sulu ortamlara kolaylıkla karışırlar. Bunların pek çoğu da suda renksiz olarak çözündüklerinden ağır metal ile kirlenmiş suların kolaylıkla fark edilmesi imkânsızdır. Çeşitli sanayi kuruluşlarından sulu ortamlara karışan ağır metal iyonları özellikle deniz, akarsu ve göllerin sedimanlarında az

çözünür tuzları halinde çökelti oluştururlar. Böylelikle suda çözülmüş ağır metal azaldığında sedimanlar suya ağır metal iyonlarını salarlar. Bu durum ağır metal kirliliğinin ne kadar tehlikeli olabileceğini göstermektedir. Bu şekilde ağır metal iyonları ile kirlenmiş sularda yaşayan canlılar, bünyelerine ağır metalleri alırlar ve ağır metaller sucul ortamlarda en küçük canlıların bünyesinden besin zinciri ile diğer canlıların bünyesine konsantrasyonu artarak geçer ve pek çok canlıyı tehdit ederler.

Tüm bu olumsuzluklar düşünüldüğünde ağır metal gideriminin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Sulardan ağır metal giderimi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; sıvı-sıvı ekstraksiyon, iyon değişimi, çöktürme, ters ozmos ve adsorpsiyondur [4-7]. Bunlar arasında adsorpsiyon yöntemi, ağır metallerin veya diğer kirleticilerin sulu ortamdan bir katı yüzeyine tutturularak ortamdan uzaklaştırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır [8]. Son yıllarda adsorbanların kapasitesini arttırmak ve ortamda başka iyonlar da varken seçim metal iyonlarını uzaklaştırmak için seçimli adsorpsiyon çok önemli bir konu haline gelmiştir [9,10].

Bu çalışmada; silika esaslı mikro partiküllerin sistein ile modifiye edilerek yeni bir adsorban sentezlenmiş ve karakterize edilmiştir. Sentezlenen bu adsorbanın farklı miktarlarda Pb(II) ve Hg(II) iyonu içeren numunelerdeki Pb(II) ve Hg(II) iyonlarının maksimum adsorpsiyonu için optimum ortam şartları belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

Deneylerde; 3-Aminopropil silika jel (40-63 μm , $\sim 1 \text{ mmol g}^{-1} \text{ NH}_2$ içerir) sistein ve sodyum asetat trihidrat Sigma-Aldrich marka, glutaraldehit (%25 sulu çözeltisi), etanol, kurşun (II) nitrat, cıva (II) nitrat monohidrat Merck, 1000 mg L^{-1} lik Pb (II) ve Hg (II) standart çözeltiler Merck marka kullanılmıştır. Deneylerde $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$ dirence sahip saf su kullanılmış ve Millipore Milli Q-water purification system ultra saf su cihazından elde edilmiştir.

FT-IR ölçümleri Perkin-Elmer marka ATR-FTIR cihazı ile yapılmıştır. Kurşun ve cıva analizleri için Analytik Jena marka ZENit 700P model alevli atomik adsorpsiyon spektrofotometresi kullanılmıştır. Tartım işlemlerinde Precisa XB 220 A model $0,001 \text{ g}$ hassasiyete sahip analitik terazi, düşük hacimlerdeki çözeltilerin ve çözücülerin aktarımı için Eppendorf Research Plus marka $100-100\mu\text{L}$ ve $100-1000\mu\text{L}$ otomatik pipetler, pH ölçümleri yapmak için Mettler Toledo pH metre ve çözeltilerin karıştırılmasında Heidolph marka MR 3001 K model manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

Santrifüj işlemlerinde ise Hettich marka EBA 21 model santrifüj cihazı kullanılmıştır.

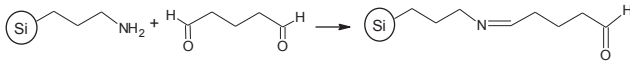
2.2. Yöntem

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

- İlk aşamada Pb(II) ve Hg(II) iyonları için spesifik olacağı düşünülen silika esaslı modifiye adsorban sentezlendi ve yapısı aydınlatıldı.
- İkinci aşamada ise sentezlenen adsorbanın farklı konsantrasyonlarda Pb(II) ve Hg(II) iyonları içeren sulu çözeltilerle muamele edilerek adsorpsiyon kapasitesi tespit edildi ve maksimum adsorpsiyon yapacağı optimum şartlar belirlendi.

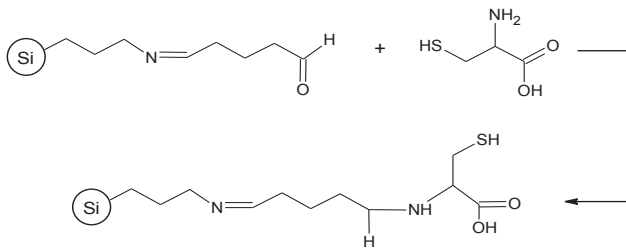
2.2.1. Adsorbanın sentezi

2 gram 3-Aminopropil Silika, 60 mL glutaraldehit çözeltisine azar azar ve yavaşça ilave edildi. Maddeler 750 rpm karıştırma hızında 2 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Sonrasında oluşan kahverengimsi katı madde saf su ve etanol ile yıkandı ve 4500 rpm' de 5 dakika santrifüj edilerek ayrıldı. Bu yıkama işlemi 5 defa yapıldı. Bu aşamadaki reaksiyon Şekil 1. deki gibidir.



Şekil 1. 3-Aminopropil Silika ile Glutarialdehitin Reaksiyonu

0,5 gram L-sisteinin bir miktar saf suda çözülmesiyle ele geçen çözelti, Şekil 1.' deki reaksiyona göre elde edilen madde ile karıştırıldı ve oda sıcaklığında 750 rpm' de bir gece karışmaya bırakıldı. Reaksiyon bittikten sonra elde edilen adsorban madde saf su ve etanol ile yıkanarak 4500 rpm' de 5 dakika santrifüj edildi. Ardından dekante edilerek katı madde ayrıldı. Ele geçen katı adsorban vakum etüvünde 40 °C' de 3 saat kurutuldu. Bu aşamadaki reaksiyon Şekil 2. deki gibidir.



Şekil 2. 3-Aminopropilsilika ve Glutaraldehitin Reaksiyon Ürünü ile L-Sisteinin Reaksiyonu

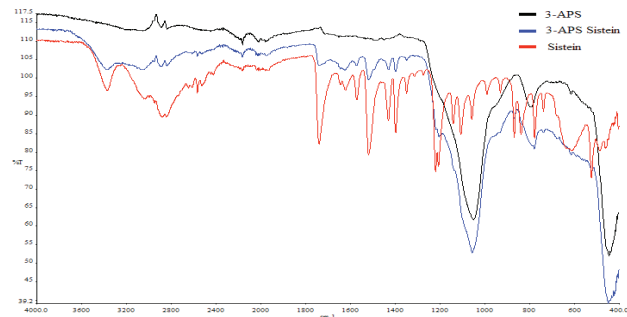
2.2.1. Adsorpsiyon çalışmaları

Sentezlenen adsorbanın Pb(II) ve Hg(II) iyonları için adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için 0,1 g adsorban farklı konsantrasyonlarda metal çözeltileri ile, pH 3-7 aralığındaki tampon çözeltilerde ve 10 – 120 dakika temas sürelerinde manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Her bir çalışmada adsorban ve çözelti 4500 rpm 5 dakika santrifüjlenerek ayrıldı. Santrifüj sonrası ele geçen çözelti PTFE filtre ile süzülükten sonra çözelti Alevli Atomik Adsorpsiyon (AAAS) ile analiz edildi. Tüm analizler üçer defa tekrar edildi ve sonuçların ortalaması %95 güven aralığında verildi. Çalışmamızdaki ölçümlerin belirsizlik bütçesi; AAS cihazı, pH metre, analitik terazi, kantitatif cam ölçü kapları (pipet, balonjoje) ve manyetik karıştırıcıdan gelen belirsizliklerin toplamından oluşmaktadır.

III. BULGULAR

3.1. Karakterizasyon

3-aminopropil silikanın sistein ile modifiye edilmesiyle elde edilen adsorban ve başlangıç maddelerinin ATR-FTIR spektrumları Şekil 3. de gösterilmiştir. Sentezlenen adsorbana ait spektrumda 3363 cm⁻¹ de -OH gerilmesine ait pik, 3048 cm⁻¹ de -CH₂ gerilme ait pik, 2550 cm⁻¹ de -SH gerilmesine ait pik, 1742 cm⁻¹ de sistein molekülünün karboksil karboniline ait gerilme pik, 1571 cm⁻¹ de C=N gerilmesine ait pik, 1517 cm⁻¹ de C=N titreşimine ait pik, 1623 cm⁻¹ de -CS gerilmesine ait pik, 1207 cm⁻¹ ve 1057 cm⁻¹ de -CO gerilmesine ait pik ve 777 cm⁻¹ de, =CH gerilmesine ait pikler gözlenmiştir [11,12].

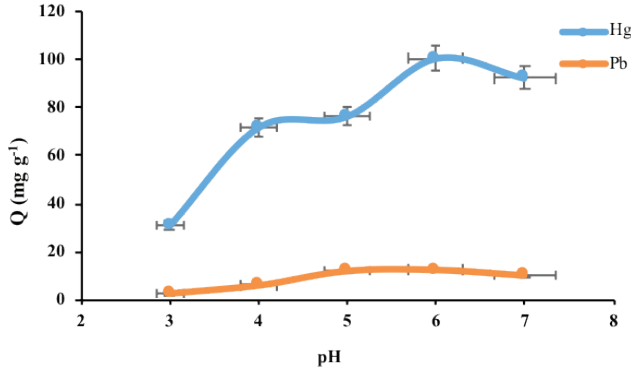


Şekil 3. Adsorban ve Başlangıç Maddelerinin FTIR spektrumu

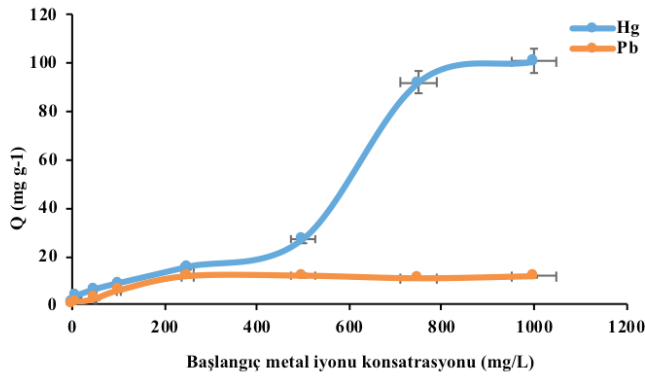
3.2. pH Etkisi

Pb(II) ve Hg(II) iyonlarının adsorpsiyonuna ortam pH' ının etkisini incelemek amacıyla pH; 3, 4, 5, 6 ve 7 değerlerinde 100 ppm konsantrasyonlarında hazırlanan

çözeltilerden 20' şer mL alındı. Bu çözeltilerin üzerine 0,1 gram sentezlenen adsorban madde ilave edildi. Adsorpsiyonun hangi pH değerinde daha etkili olduğunun incelenmesi amacıyla elde edilen karışım 90 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Sonuçlar Şekil 4.' te gösterilmiştir. Buna göre sistein modifiyeli silika adsorbanı Pb(II) ve Hg(II) iyonları için pH=6' da maksimum adsorpsiyon gözlemlendi.



Şekil 4. Pb(II) ve Hg(II) Adsorpsiyonuna pH' ın Etkisi

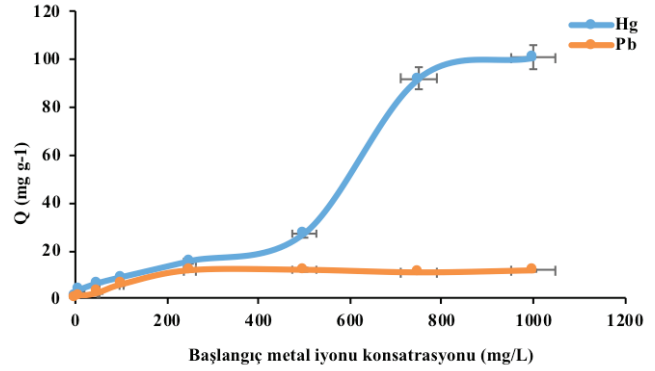


Şekil 5. Pb(II) ve Hg(II) Adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

3.4. Temas Süresi

Adsorbanla çözeltinin temas süresinin adsorpsiyona etkisi incelemek amacıyla; pH=6' da, Pb(II) için

250 ppm ve Hg(II) için 750 ppm' lik çözeltilerle 10 – 120 dakika aralığında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak her bir durum için analizler yapıldı. Sonuçlar Şekil 6.' da gösterildi. Elde edilen sonuçlara göre her iki iyon için de 60 dakikada maksimum adsorpsiyona ulaşıldığı ve adsorpsiyon değerlerinin bu süreden sonra sabit kaldığı gözlemlendi.



Şekil 6. Pb(II) ve Hg(II) Adsorpsiyonuna temas süresinin etkisi

3.5. Yabancı İyonların Etkisi

Sulu ortamda bulunabilecek başka iyonların adsorpsiyona etkisini incelemek için hazırlanan sentetik atık suyuna [13] ve musluk suyuna Pb(II) ve Hg(II) iyonlarından son konsantrasyonları 100 ppm olacak şekilde ilave edildi ve pH=6' da 60 dakika süre ile adsorbanla karıştırıldı. Elde edilen sonuçlar Tablo 1.' de gösterilmiştir.

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 3-aminopropil silika, sistein ile modifiye edilerek yeni bir adsorban sentezlendi. Sentezlenen bu adsorbanın yapısı FTIR ile karakterize edildi. Adsorbanın, Pb(II) ve Hg(II) iyonları için maksimum adsorpsiyon için gerekli optimum şartlar belirlendi. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.' de gösterilmiştir.

Tablo 1. Pb(II) ve Hg(II) iyonlarının farklı ortamlardaki adsorpsiyonu

Metal iyonu	Saf Su		Sentetik Atık Su		Muskuk Suyu	
	mg g ⁻¹	mmol g ⁻¹	mg g ⁻¹	mmol g ⁻¹	mg g ⁻¹	mmol g ⁻¹
Pb(II)	12,32± 0,2	0,059± 0,001	14,2± 0,1	0,069± 0,003	10,75± 0,04	0,052± 0,006
Hg(II)	100,60± 0,2	0,502± 0,002	29,34± 0,07	0,146± 0,002	53,8± 0,1	0,268± 0,002

Tablo 2. Pb(II) ve Hg(II) iyonlarının adsorpsiyonu için optimum şartlar

Metal İyonu	pH	Başlangıç Konsantrasyonu (mg. L ⁻¹)	Temas Süresi (dakika)	Adsorpsiyon Miktarı (mg.g ⁻¹)
Pb(II)	6	250	60	12,32 ± 0,2
Hg(II)	6	750	60	100,6 ± 0,2

Elde edilen sonuçlara göre; sentezlenen adsorbanın Pb(II) ve Hg(II) iyonları için pH=6' da 60 dakikada maksimum adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla 12,32 ± 0,2 ve 100,6 ± 0,2 mg g⁻¹ olarak belirlendi.

Sentezlenen adsorban maddenin maksimum adsorpsiyon kapasitesi başka adsorbanların adsorpsiyon kapasiteleri ile kıyaslanmış ve sonuçlar Tablo 3.' te verilmiştir. Yapılan bu çalışma farklı çalışmalar ile kıyaslandığında adsorpsiyon kapasitesinin diğer çalışmalara göre nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi değerlendirildiğinde bu çalışmada sentezlenen adsorbanın benzerlerine göre daha avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Sentezlenen Adsorbanın Benzer Diğer Adsorbanlarla Karşılaştırılması

Sistem	Çalışılan Metal	pH	Adsorpsiyon Kapasitesi (mg. g ⁻¹)	Referans
1,3,4-trithiane	Pb(II), Hg(II)	5	9,50 – 35,5	14
Choline modifiye silika jel	Pb(II), Hg(II)	7	11,7 – 60,1	15
B1 vitamini modifiyeli 3-aminopropil silika jel	Pb(II), Hg(II)	5	9,54 – 39,4	16
P(VIM/AAc/HEMA) hidrojel	Pb(II)	4,5	30,38	17
Sistein ile modifiye edilmiş 3-aminopropil silika jel	Pb(II), Hg(II)	6	12,32 – 100,6	Bu Çalışma

TEŞEKKÜR

Bu çalışma FEN-C-YLP-110915-0447 numaralı proje kapsamında Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPKO) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gültekin, S., Sesal, C., Kayhan, F.E. (2016). İstanbul ili Anadolu yakası doğal kaynak sularının kimyasal analizlerinin değerlendirilmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 28(4), 132-140.
- [2] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- [3] Özbolat, G., Tuli. A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521.
- [4] Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), (2011) 361-377.
- [5] Choi, J. W., Chung, S.G., Hong, S.W., Kim, D.J., Lee, S.H. (2012). Development of an environmentally friendly adsorbent for the removal of toxic heavy metals from aqueous solution. *Water Air Soil Pollut.*, 223(4), 1837-1846.
- [6] Bulut, Y., Tez, Z. (2007). Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption. *Journal of Environmental Sciences*, 19(2), 160-166.
- [7] Aydın, H., Bulut, Y., Yerlikaya, Ç. (2008). Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 37-45.
- [8] Sağ, Y., Yalçuk, A., Kutsal, T. (2000). Mono and multi component biosorption of heavy metal ions on *Rhizopusarrhizus* in a CFST. *Process Biochemistry*, 35(8), 787-799.
- [9] Goswami, A., Singh, A. K. (2002). Silica gel functionalized with resacetophenone: synthesis of a new chelating matrix and its application as metal ion collector for their flame atomic absorption ion collector for their flame atomic absorption spectrometric determination, *Analytica Chimica Acta*, 454(2), 229-240.
- [10] Çubuk, S., Fırlak, M., Kök Yetimoğlu, E., Kahraman, M. V. (2014). Moleküler olarak baskılanmış çapraz bağlanan hidrojeller ile sulu çözeltideki altın iyonlarının adsorpsiyonu. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 115-120.
- [11] Radi, S., Tighadouini, S., Bacquet, M., Degoutin, S., Cazier, F., Zaghrioui, M., Mabkhot, Y.N. (2014). Organically modified silica with pyrazole-3-carbaldehyde as a new sorbent for solid-liquid extraction of heavy metals. *Molecules*, 19(1), 247-262.
- [12] Leopold, N., Cîntă-Pînzaru, S., Baia, M., Antonescu, E., Cozar, O., Kiefer, W., Popp, J. (2005). Raman and surface-enhanced Raman study of thiamine at different pH values. *Vibrational Spectroscopy*, 39(2), 169-176.
- [13] Kara A., Uzun L., Beşirli N., Denizli A. (2004). Poly(ethylene glycol dimethacrylate-n-vinyl imidazole) beads for heavy metal removal. *Journal of Hazardous Material*, 106(2-3), 93-99.
- [14] Ercan, Ö., Aydın, A. (2013). Removal of mercury, antimony, cadmium and lead from aqueous solution using 1,3,5-trithiane as an adsorbent. *J. Braz. Chem. Soc.*, 24(5), 865-872.
- [15] Abdel-Fattah T., Mahmoud M.E. (2011). Heavy metal ions extraction from aqueous media using nanoporous silica. *Chemical Engineering Journal*, 175: 117-123, (2011).

- [16] Deniz, S., Tasci, N., Yetimoglu, E. K., Kahraman, M. V. (2017). A new thiamine functionalized silica microparticules as a sorbent for removal of lead, mercury and cadmium ions in aqueous media. *J. Serb. Chem. Soc.*, 82(2), 215–226.
- [17] Fırlak, M., Yetimoğlu, E. K., Kahraman, M. V., Apohan, N. K., Deniz, S. (2010). Removal of lead and cadmium ions from aqueous solutions using sulphur and oxygen donor ligand bearing hydrogels. *Separation Science and Technology*, 45(1), 116-128.

Montaj Hattı Dengelemede Çevrim Süresinin Minimizasyonu için Yeniden İşleme İstasyonunun Kullanımı: Hata Oranı ve İstasyon Pozisyonunun Etkileri

Using Rework Station for Minimizing Cycle Time in Assembly Line Balancing: Effects of Rework Rate and Station Position

Elif KAYMAZ¹ , Fatih ÇAVDUR¹ 

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Öz

Montaj hatlarında yeniden işleme istasyonları genellikle yalnızca uygun olmayan ürünlerin yeniden işlenmesi için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yeniden işleme istasyonunun yalnızca bu amaçla kullanılması, özellikle montaj hattında hata oranının düşük olması durumunda, istasyonda bulunan kaynakların kullanım oranını düşürmektedir. Bu çalışmada, yeniden işleme istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılmasını dikkate alarak çevrim süresini minimize etmeyi amaçlayan bir karışık-tamsayılı programlama modeli önerilmektedir. Önerilen model, montaj hattındaki farklı hata oranlarının yanısıra, yeniden işleme istasyonunun sadece montaj hattı sonunda değil, farklı pozisyonlarda konumlandırılmasını da dikkate almaktadır. Modelin performansı, literatürdeki çeşitli örneklerle üzerinde test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, Yeniden İşleme İstasyonu, Tamsayılı Programlama, Çevrim Süresi Minimizasyonu

Abstract

This paper includes five sections as (i) Introduction, (ii) Literature Review, (iii) Material and Method, (iv) Findings and (v) Discussion and Conclusion. In the first section (Introduction), a brief introduction to assembly lines and assembly line balancing is presented and the outline of the paper is summarized. The second section (Literature Review) presents some related studies from the literature. Material and Method section makes the problem definition and describes the proposed mixed-integer programming model. Following section (Findings) presents the implementation results where some example problems from the literature are solved using the proposed mixed-integer programming model. In the last section (Discussion and Conclusion), concluding remarks are presented.

In assembly lines, rework stations are generally used only for reprocessing of defective products. However, the use of the rework station only for such reprocessing operations reduces the utilizations of the resources available in the station, especially if the defect rate of the assembly line is low. It is noted that the idea of using rework stations for performing standard tasks gets attention in such assembly lines with relatively low defect rates to minimize cycle times and use available resources more efficiently. In this paper, we propose a mixed-integer programming model to minimize the cycle time of an assembly line where the rework station is also used for performing standard tasks in addition to reprocessing operations of defective products. Using the proposed model, we take into account different rework station positions rather than just positioning the rework station at the end of the assembly line as well as different defect rates. Additionally, it is also possible to penalize the rework station standard task assignments with the proposed mixed-integer programming model using a model parameter to restrict the number of the standard tasks assigned to the rework station.

A numerical example is presented for illustration using a sample dataset (Jackson dataset) from the literature with 11 tasks and 3 stations. Consideration of the rework station for performing standard tasks then increases the total number of stations to four (i.e., 3 standard stations + 1 rework station) in the numerical example. We present the solution details for the numerical example by representing all task assignments to the standard stations as well as the rework station. We also consider different rework station positions and rework rates as well as two cases where it is allowed to assign standard tasks to the rework station without any restriction and it is penalized (restricted) to make such assignments,

respectively, using the corresponding model parameter. For the convenience of the reader, original problem solution is also provided.

In addition to the Jackson dataset, we also test the performance of the proposed mixed-integer programming model using two other sample datasets (Mitchells and Heskiaoff datasets) with 21 and 28 tasks, respectively, accessible at “http://assembly-line-balancing.mansci.de”. In computational experiments, all problems are solved to optimality for two different number-of-stations combinations (3 and 4 stations for the Jackson dataset, 3 and 5 stations for the Mitchells dataset and 4 and 5 for the Heskiaoff dataset) with three different rework station positions (as the last three station positions for the corresponding dataset) and rework rates (rework rates of 0%, 25% and 50%) are considered. Maximal Software Mathematical Programming Language (MPL) with Gurobi Optimizer is used for performing the computational experiments. We present the results (i.e., cycle time and computer solution time) for each dataset with a particular number of stations and its modified version with an additional station (i.e., rework station) in the corresponding datasets. We analyze the effects of different rework station positions and defect rates on the solutions. It is noted that the datasets considered in this study are solved to optimality in reasonable time periods since the maximum of computer solution times is 0.04 seconds observed for the Heskiaoff dataset as the largest dataset considered in this study. It is also noted that the proposed mixed-integer programming model can be used for assigning standard tasks to the rework station of an assembly line if it is extended to consider additional constraints about some practical issues in real-life problems such as human factors (ergonomics) or technical restrictions. On the other hand, recent technological developments (i.e., smart factories etc.) might make it easier to deal with such issues in real-life assembly lines of the near future. In future studies, the proposed mixed-integer programming model can be extended to include such real-life characteristics. Additionally, although the optimal solutions of the assembly line balancing problems of the sample datasets considered in this study can be obtained in reasonable time periods using a personal computer, considering larger problem instances might require more computational power or the development of some heuristics or meta-heuristics.

Keywords: Assembly Line Balancing, Rework Station, Integer Programming, Cycle Time Minimization

I. GİRİŞ

Çeşitli amaçlara göre (çevrim süresinin, istasyon sayısının minimizasyonu vb.) montaj hatlarında gerçekleştirilen hat dengeleme çalışmaları genel olarak Montaj Hattı Dengeleme (MHD) ve bu çalışmalara karşılık gelen problemler de MHD problemleri olarak adlandırılmaktadır.

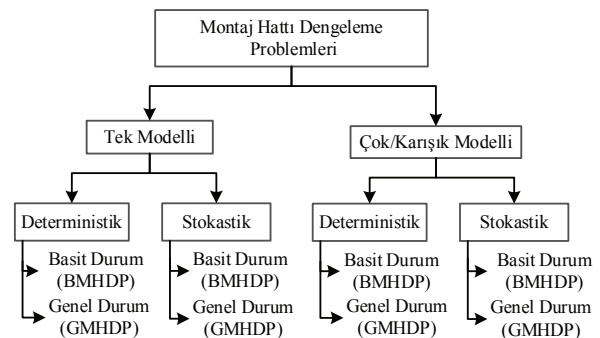
Montaj hatlarında ardışık iş istasyonlarında sırasıyla işlem gören iş parçası son istasyondan nihai ürün olarak çıkmaktadır. Genel olarak, son istasyonda gerçekleştirilmesi gereken görevler tamamlandıktan sonra, ayrıca ürün ile ilgili gerekli görülen

kalite kontrol işlemleri de yapılmaktadır. Söz konusu kalite kontrol işlemleri sonucunda, ürün önceden belirlenen özellikleri taşıyor ise (ürün hatalı ise) bazen hatanın meydana geldiği iş istasyonuna, bazen de montaj hattından bağımsız olarak çalışan bir Yeniden İşleme (Yİ) istasyonuna gönderilerek, gerekli hata giderme çalışmaları gerçekleştirilmektedir [1]. Yİ istasyonunun yalnızca hatalı ürünlerin hata giderme işlemleri için kullanılması, özellikle montaj hattındaki hata oranının düşük olması durumunda, bu istasyonda bulunan iş gücü, makine-teçhizat vb. kaynakların etkin bir biçimde kullanılmamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, yeniden işleme istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılmasını dikkate alarak çevrim süresini minimize etmeyi amaçlayan bir karışık-tamsayı programlama modeli önerilmektedir.

Yİ istasyonu genellikle montaj hattının sonuna konumlandırılmakla birlikte, bu çalışmada ele alındığı şekilde standart bir iş istasyonu olarak kullanılması durumunda, Yİ istasyonuna atanacak görev sayısı öncelik ilişkileri nedeniyle istasyon pozisyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğinden, Yİ istasyonunun hangi pozisyonda konumlandırıldığı da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Yİ istasyonunun son üç istasyon pozisyonunda konumlandırılması ele alınarak çözüme olan etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak, öncelikli olarak hata giderme işlemleri için tasarlanmış olan Yİ istasyonuna atanabilecek olan görevlerin sayısı, montaj hattı hata oranına bağlı olarak da değişkenlik göstereceğinden, üç farklı hata oranı için elde edilen çözümler analiz edilmiştir.

II. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde montaj hatlarının dengelenmesi kavramı ilk kez 1954 yılında Bryton tarafından dikkate alınmıştır [2]. Montaj hattı dengeleme probleminin tanımını ise Salveson 1955 yılında yapmıştır [3]. MHD problemlerinin sınıflandırılması ile ilgili çeşitli kaynaklarda farklı sınıflandırmalara rastlamak mümkündür. Örneğin, Ghosh ve Gagnon [4] tarafından yapılan bir çalışmada MHD problemleri Şekil 1’deki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. MHD problemlerinin sınıflandırılması [4]

Bu sınıflandırmaya göre MHD problemleri tek modellenli ve çok/karışık modellenli olmak üzere iki sınıftan oluşmaktadır. Tek modellenli montaj hatlarında tek tip ürün modeli üretilirken çok/karışık modellenli montaj hatlarında birden fazla tipte ürün üretilmesi söz konusudur. Öte yandan, görev sürelerine bağlı olarak da deterministik ve stokastik görev süreli montaj hatları olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmanın ötesinde, MHD problemindeki en temel unsurların dikkate alındığı montaj hattı dengeleme problemleri Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (BMHDP) olarak adlandırılmaktadır. BMHDP için çeşitli varsayımlar kullanılmaktadır [5].

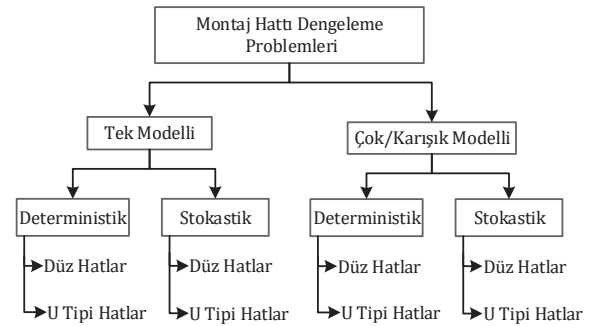
- Tüm girdi parametreleri belirlidir.
- Bir görev birden fazla istasyona bölünemez.
- Teknolojik ve organizasyonel kısıtlardan dolayı görevler keyfi bir sırayla gerçekleştirilemez.
- Tüm görevler yapılmalıdır.
- Tüm istasyonlar tüm görevleri gerçekleştirebilecek ekipman ve donanıma sahiptir.
- Her görev herhangi bir istasyonda yapılabilir.
- Tüm hat, besleyici veya paralel alt montaj hatlı olmayacak şekilde seri olarak düzenlenmiş olmalıdır.
- Çevrim süresi verilmiştir ve sabittir (BMHDP-1 için).
- İstasyon sayısı verilmiştir ve sabittir (BMHDP-2 için).

BMHDP ile ilgili belirlenmiş olan varsayımlar gerçek dünya montaj hattı sistemlerine göre oldukça kısıtlayıcı olmaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda alan kısıtları, bölgesel kısıtlar, paralel istasyon ve paralel görev gibi çeşitli ek kısıtlar ve problem özellikleri içeren daha genelleştirilmiş montaj hattı dengeleme problemlerini (GMHDP) tanımlama, formüle etme ve çözme yönündeki çalışmalar artmıştır [6]. BMHDP ve GMHDP ile ilgili olarak kapsamlı çalışmalar arasında Scholl ve Becker [7], Becker ve Scholl [6] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sayılabilir.

BMHDP amaç fonksiyonuna bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar BMHDP-1, BMHDP-2, BMHDP-E ve BMHDP-F'dir. BMHDP-1 (Tip-1 MHD problemi) ve BMHDP-2 (Tip-2 MHD problemi) ikili bir ilişkiye sahiptir; BMHDP-1 verilen sabit çevrim süresi için istasyon sayısını minimize ederken, diğeri ise verilen sabit istasyon sayısı için çevrim süresini minimize etmektedir. BMHDP-1 araştırmacılar için popüler bir araştırma alanı olmasına rağmen, BMHDP-2 daha az çalışılmıştır [8]. BMHDP-E, hat etkinliği maksimize etmeye ve boşta kalma süresini minimize etmeye, başka bir ifadeyle, iş istasyonlarının sayısını ve çevrim süresini minimize etmeye çalışmaktadır [9]. BMHDP-F

stasyon sayısı ve çevrim süresinin belirli bir kombinasyonu için uygun bir hat dengesi sağlamayı amaçlamaktadır [7]. Bu çalışmada dikkate alınan problem Tip 2 MHD problemi sınıfına girmektedir.

MHD problemleri ile ilgili bir diğer sınıflandırmada Şekil 2'de verilmiştir [10]. Bu sınıflandırmaya göre, MHD problemleri, tek-çok/karışık modellenli ve deterministik-stokastik görev süreli MHD problemleri olmak üzere iki ayrı sınıftan oluşmaktadır. Önceki sınıflandırmadan farklı olarak bu sınıflandırmada, montaj hatları hattın yerleşimine göre düz ve U tip hatlar olarak iki sınıfta incelenmektedir. Düz montaj hatları birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşmaktadır [11]. Bu tip montaj hatları iş akışının daha hızlı olması, konveyör sistemlerinin daha kolay uygulanabilirliği açısından sıklıkla tercih edilmektedir. U tipi montaj hatlarında hem giriş hem de çıkış aynı konumdadır. Bu hatlarda iki kaynağın arasına yerleştirilen işçilerin birinden diğere yürütmesine izin verilmektedir. Bu nedenle aynı çevrim süresince burada çalışan işçiler iki veya daha fazla iş parçası üzerinde çalışabilirler. Son yıllarda, tam zamanında üretim sistemlerinin bir sonucu olarak U-tipi hatlar daha yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır [11]. Yapılan sınıflandırmalarda genellikle düz hatlar ve U tipi hatlar kullanılsa da bu tip hatların yanısıra montaj hatlarında paralel hatlar [12] ve çift yönlü hatlar [13] olmak üzere çeşitli hat yapıları da kullanılmaktadır.



Şekil 2. MHD problemlerinin sınıflandırılması [10]

MHD problemlerinin çözüm yöntemleri, kesin çözüm ve yaklaşık çözüm veren yöntemler olmak üzere sınıflandırılabilir. Kesin çözüm veren yöntemler tamsayı programlama [14] dal sınır algoritması [15], dinamik programlama [16] ve hedef programlama [17] gibi yöntemlerden oluşmaktadır. Yaklaşık çözüm veren yöntemler kesin çözüm veren yöntemlerin aksine optimallığı garanti etmemekle birlikte, daha kısa sürede iyi çözümler sunabilmeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Yaklaşık çözüm veren yöntemler sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımları içerir. Sezgisel yaklaşımlar

belirli bir problemin çözümünde kullanılırlar. Diğer yandan, çok sayıda çeşitli meta-sezgisel yaklaşımlar çok farklı tipte optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır [18]. MHD problemlerinin çözümünde kullanılan kesin çözüm ve yaklaşık çözüm veren yöntemlerin kapsamlı bir incelemesi Boysen ve ark. [19] tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan tek modellenmiş deterministik BMHDP'nin çözümü için literatürde çok sayıda yaklaşım önerilmiştir. Deckro ve Rangachari [20] çalışmalarında istasyon sayısını minimize etmek amacıyla bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Kilince ve Bayhan [21] tarafından yapılan çalışmada BMHDP-1 problemi ele alınmış, belirli bir çevrim süresi için istasyon sayısını minimize etmek amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada etkinleştirilmiş aramalar için bir Petri net yaklaşımı önerilmiştir. Rubinovitz ve Levitin [22] deterministik görev süreli tek modellenmiş MHD problemi için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Kim ve ark. [23], BMHDP'nin çözümü için çeşitli amaçların dikkate alındığı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Suwanarongsri ve Puangdownreong [24] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tek modellenmiş MHD problemi için tabu arama ve kısmi rastgele permütasyon tekniği kullanılarak yeni bir hibrit yöntem geliştirilmiştir. Tapkan ve ark. [25] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise istasyon sayısını minimize etmek amacıyla bir tamsayı programlama modeli formüle edilmiş, ancak problemin karmaşıklığından dolayı arı algoritması ve yapay arı kolonisi algoritması önerilmiştir. Baykasoglu ve Dereli [26], deterministik görev süreli çift taraflı MHD probleminin çözümü için karınca kolonisi tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Baykasoglu [27] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, basit ve U-tipi MHD problemleri için "düzgünlük indeksi" ve "hat performansını" maksimize etmek (veya istasyon sayısını minimize etmek) amaçlanmıştır, bu amaç doğrultusunda tavlama benzetimi tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir.

Bir montaj hattının yalnızca görev sürelerini dikkate alarak dengelenmesi, bazı operatörlerin fiziksel olarak aşırı iş yüküne maruz kalmasına neden olabilir [28]. Ergonomi ve iş sağlığı alanında yapılan çalışmalar aşırı iş yükünün işle ilgili yaralanmaların ana nedenlerinden biri olduğunu göstermiştir. Ergonomik anlamda iyi tasarlanmamış montaj hatları, çalışanlar üzerinde kalıcı hasarlara neden olabilmektedir. Bu nedenle hat dengeleme çalışmaları yapılırken ergonomik risk faktörlerinin de dikkate alınması oldukça önemlidir [29].

MHD problemlerinde ergonomik faktörlerin dikkate alındığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Güner ve Hasgül [30] tarafından yapılan çalışmada ergonomik faktörler içeren yeni bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir.

Barathwaj ve ark. [31] çalışmalarında istasyon sayısı ve her istasyondaki gerçekleştirilen iş yükü içeriğini azaltmayı amaçlamaktadırlar.

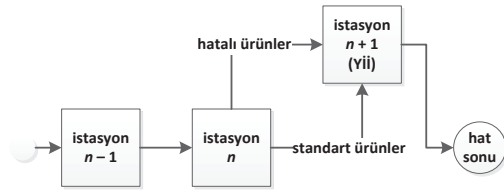
Bu çalışmada, Yİ istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılmasını dikkate alarak çevrim süresini minimize etmeyi amaçlayan bir karışık-tamsayı programlama modeli önerilmektedir. Önerilen model ile görevler arasındaki öncelik ilişkilerine bağlı olarak Yİ istasyonunun farklı pozisyonlarda konumlandırılmasının ve montaj hattındaki hata oranının çözüme olan etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak, Yİ istasyonuna atanabilecek işlerin sayısını sınırlandırmak için kullanılan ceza katsayısı ile bu istasyonda çalışan kişilerin maruz kalabileceği ergonomik risk unsurlarının (Yİ istasyonunda standart olmayan işlerin yapılması nedeniyle daha fazla yorulma vb.) da model dâhil edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

III. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada deterministik görev süreli tek modellenmiş düz montaj hattı ile ilgili hat dengeleme problemi ele alınmıştır. Seri üretim montaj hatlarında farklı işlem sürelerine sahip operasyonlar bir araya gelerek istasyonları oluşturmakta ve istasyonlarda belirlenen sıraya göre işlem gören iş parçaları son istasyondan ürün olarak çıkmaktadır. Son istasyondan çıkan ürün belirlenen tanımlara uygun değil ise başka bir ifadeyle hatalı ürün ise Yeniden İşleme (Yİ) istasyonuna gönderilerek bu istasyonda gerekli olan denetleyici ve düzenleyici işlemler gerçekleştirilir.

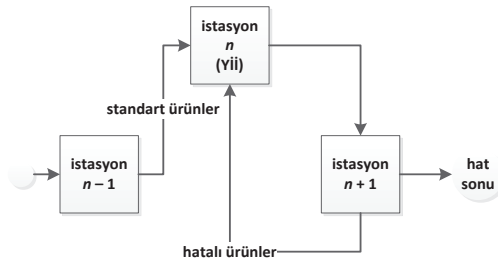
Yİ istasyonunun çalışması montaj hattındaki hata oranına göre değişkenlik göstermektedir. Hata oranı düşük olduğu durumda bu istasyonda bulunan kaynaklar daha az kullanılmaktadır bu durumda burada bulunan kaynakların verimli şekilde kullanılmamasına neden olmaktadır. Çalışmada üç farklı hata oranı dikkate alınmıştır.

Montaj hattındaki öncelik ilişkileri görevlerin yapılış sırasını etkilediğinden, Yİ istasyonunun atanabilecek görevlerin sayısı Yİ istasyonunun bulunduğu pozisyona bağlı olarak değişebilmekte ve bu durumda çevrim süresini etkileme potansiyeli bulundurmaktadır. Bu nedenle Yİ istasyonunun bulunduğu pozisyon değiştirilerek, en uygun pozisyonda olmasını sağlamak çevrim süresini minimize etmek açısından önem kazanabilir. Çalışmada Yİ istasyonunun son üç istasyona ait pozisyonlarda bulunduğu durumlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda Yİ istasyonunun bulunduğu pozisyona göre üç farklı alternatif tasarım oluşturulmaktadır. Yİ istasyonunun son istasyon (Şekil 3) ve sondan önceki istasyon (Şekil 4) pozisyonlarında bulunduğu durum için oluşturulan tasarımlar verilmektedir.



Şekil 3. Yİ İstasyonunun (Yİİ) son istasyon pozisyonunda bulunması

Şekil 3’de Yİ istasyonu ($n + 1$). istasyon pozisyonundadır. Burada Yİ istasyonu sadece kalite kontrol sonucunda çıkan hatalı ürünlerin düzenlendiği bir istasyon olarak değil, aynı zamanda n . istasyondan gelen iş parçasını işleyen bir istasyon ($(n + 1)$. istasyon) olarak da görev yapmaktadır. Şekil 4’te Yİ istasyonu n . istasyon pozisyonundadır, son istasyondan gelen hatalı ürünlere ek olarak, bir önceki istasyondan ($(n - 1)$. istasyon) gelen iş parçasının da işlendiği standart bir istasyon olarak da görev yapmaktadır. Benzer şekilde, Yİ istasyonu ($n - 1$). istasyon pozisyonunda olduğunda, diğer durumlarda olduğu gibi son istasyondan ($(n + 1)$. istasyon) gelen hatalı ürünlere ek olarak, bir önceki istasyondan ($(n - 2)$. istasyon) gelen iş parçasının da işlendiği standart bir istasyon olarak da görev yapmaktadır.



Şekil 4. Yİ İstasyonunun (Yİİ) son istasyon öncesi pozisyonunda bulunması

Yİ istasyonunun daha önceki istasyonların bulunduğu pozisyonlara alınması da mümkün olabilir. Bununla birlikte Yİ istasyonunun öncelikli görevinin hatalı ürünlerin yeniden işlenmesi olduğu düşünüldüğünde, bu istasyonun son istasyon pozisyonundan fiziksel olarak uzaklaşması, yeniden işleme gerektiren parçaların taşıma mesafelerinin ve sürelerinin artmasına neden olmaktadır. Öte yandan, Yİ istasyonu son istasyon pozisyonunda yer alması yerine, verilen alternatif tasarımlarda olduğu gibi son istasyon yakınlarındaki pozisyonlarda bulunması durumunda, öncelik ilişkileri kısıtlarına bağlı olarak Yİ istasyonuna atanabilecek potansiyel görevlerin sayısı değişebilmektedir. Bununla birlikte,

Yİ istasyon pozisyonu ilk istasyona doğru yaklaştığında, yeniden işleme gerektiren ürünlerin taşıma süre ve mesafeleri artarken, Yİ istasyon pozisyonu son istasyona doğru yaklaştığında ise yeniden işleme gerektiren ürünlerin taşıma süre ve mesafelerinin azalması söz konusudur. Dolayısıyla, Yİ istasyonunun optimal pozisyonu bütün bu unsurların (taşıma süre ve mesafeleri, öncelik ilişkileri kısıtlarına bağlı olarak Yİ istasyonuna atanabilecek görevlerin sayısı) birlikte dikkate alınmasıyla belirlenebilir.

Bu çalışmada, Yİ istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılması durumunda çevrim süresini minimize etmek için bir karışık-tamsayı programlama modeli önerilmektedir. Model detayları aşağıda verilmektedir.

İndisler, Parametreler ve Değişkenler;

- i Görevler
- j iş istasyonları
- m görev sayısı
- n standart iş istasyonu sayısı
- r Yİ istasyonu pozisyonu
- β hata oranı katsayısı
- t_i i . görevin işlem süresi
- γ Yİ istasyonuna atanabilecek işlerin sayısını sınırlandırmak için kullanılan ceza katsayısı
- p_{ik} i görevi k görevinin öncülü ise 1, değilse 0 değerini alan öncelik ilişkisi matrisi elemanları
- c çevrim süresi değişkeni
- x_{ij} i görevi j istasyonuna atanmışsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan karar değişkenleri

Amaç Fonksiyonu;

$$\min z = c \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{n+1} x_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} jx_{ij} \leq \sum_{j=1}^{n+1} jx_{kj}, \quad \forall i, k: p_{ik} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i x_{ij} \leq c, \quad \forall j \quad (4)$$

$$\beta^\gamma \left(\sum_{i=1}^m t_i x_{ij} \right) \leq c, \quad j = r \quad (5)$$

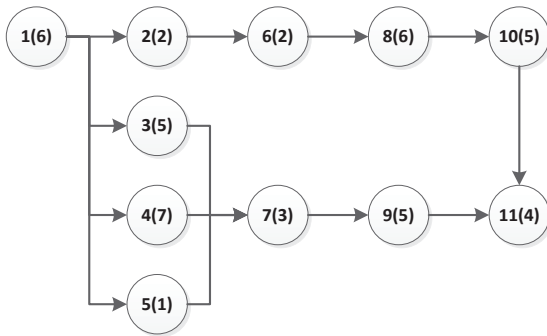
$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$c \geq 0 \quad (7)$$

Modelin amaç fonksiyonu (Denklem 1) çevrim süresini minimize etmektedir. Denklem 2 ile verilen kısıt görevlerin istasyonlara atanmasını, Denklem 3 ile verilen kısıt da görevler arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alınmasını sağlamaktadır. Denklem 4 bir istasyona atanan görevlerin işlem sürelerinin toplamını çevrim süresi ile sınırlandırırken, Denklem 5 ile montaj hattındaki hata oranına bağlı olarak Yİ istasyonuna atanabilecek olan görevler sınırlandırılmaktadır. Denklemde bulunan β hata oranı katsayısı ile Yİ istasyonuna atanan görevlerin toplam işlem süresinin belirli bir oranının hata giderme işlemleri için kullanılmasıyla, Yİ istasyonuna atanan görevlerin işlem sürelerinin toplamının çevrim süresini aşmaması sağlanmaktadır. Bu denklemde bulunan γ parametresi Yİ istasyonuna atanabilecek işlerin sayısını sınırlandırmak için kullanılan bir ceza katsayısı olarak tanımlanmış olup, bu şekilde Yİ istasyonunda çalışan kişilerin maruz kalabileceği ergonomik risk unsurlarının (Yİ istasyonunda standart olmayan işlerin yapılması nedeniyle daha fazla yorulma vb.) da modele dâhil edilmesi amaçlanmaktadır. Denklem 6 ve 7 değişken tanımlarını ifade etmektedir.

IV. BULGULAR

Bu çalışmada Jackson, Mitchells ve Hesliaooff test problemleri kullanılmıştır. Söz konusu test problemlerine <http://assembly-line-balancing.mansci.de> adresinden erişilebilir. Önerilen yöntemin çalışması detaylı olarak 11 görevden oluşan Jackson test problemi üzerinde gösterilmiştir. Jackson örneklemini için işlem süreleri ve görevlerin öncelik ilişkilerini gösteren bir ağ yapısı (öncelik ilişkisi diyagramı) Şekil 5'te verilmiştir. Bu ağ yapısında düğümler görevleri, bağlantılar da görevler arasındaki öncelik ilişkilerini göstermektedir.



Şekil 5. Jackson örneklemini için öncelik ilişkisi diyagramı ve işlem süreleri

Önerilen modelde Yİ istasyonu hatalı ürünlerin yeniden işlendiği bir istasyon olarak kullanılmasının yanısıra

standart bir iş istasyonu olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, Yİ istasyonunun ne oranda hatalı ürünler için kullanıldığı çevrim süresini etkileyen bir faktördür. Montaj hattındaki hata oranının düşük seviyede olması durumunda Yİ istasyonunun kullanım oranı düşük olacağından, bu istasyona atanabilecek görevlerin sayısı (diğer istasyonlarda yapılabilecek olan diğer görevler) artmaktadır. Bu nedenle, bu istasyona daha fazla görev ataması gerçekleştirilebilir. Ancak hata oranı yüksek olduğunda ise Yİ istasyonu çoğunlukla hatalı ürünlerin işlenmesi için kullanılacağından, Yİ istasyonuna daha az sayıda görev ataması yapılabilir. Hata oranının çözüme olan etkisini gösterebilmek için model %0 ($\beta = 1,00$), %25 ($\beta = 1,25$), %50 ($\beta = 1,50$) olmak üzere üç farklı hata oranı için çözülmüştür. Jackson örneklemini ve diğer test problemlerinin çözümleri Intel (R) Core™ i7-7500 CPU 2.70GHz 2.90GHz donanım özellikleri olan kişisel bir bilgisayarda, Mathematical Programming Language (MPL) ortamında GUROBI çözücüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Montaj hattındaki hata oranına ek olarak, Yİ istasyonunun pozisyon değişiminin çözüme olan etkileri incelenmiştir. Yaklaşımın gösterimi için kullanılan Jackson örneklemini, montaj hattında 3 istasyon olan durum göz önüne alınarak çözülmüştür. Görevler arasındaki öncelik ilişkileri, görevlerin yapılış sırasını etkilediğinden, Yİ istasyonu pozisyonuna göre çevrim süresi değişebilmektedir. Bu nedenle, Yİ istasyonunun pozisyonunun değiştirilmesinin çözüm üzerindeki etkisini göstermek amacı ile farklı Yİ istasyonu pozisyonları dikkate alınmıştır. Buna ek olarak Jackson örneklemini, Yİ istasyonuna atanabilecek olan görevlerin sayısını sınırlandırmak için kullanılan γ ceza katsayısı $\gamma = 1$ ve $\gamma = 2$ olarak alınarak iki farklı γ değerinin etkileri incelenmiştir.

Yİ istasyonu pozisyonu son 3 istasyona karşılık gelecek şekilde değiştirilerek çözümler elde edilmiştir. Bu nedenle, örneklemin 3 istasyon içeren versiyonu dikkate alındığından (Yİ istasyonu ile birlikte toplam olarak 4 istasyon), Yİ istasyonunun, 2, 3 ve 4. istasyon pozisyonlarında olmak üzere üç farklı durumu için model çözülmüştür. Hata oranının %25 ($\beta = 1,25$) ve $\gamma = 1$ olan durum üç farklı Yİ istasyonu pozisyon için elde edilen sonuçlar Şekil 6-a, Şekil 6-b ve Şekil 6-c'de gösterilmiştir.

Şekil 6-a'da Yİ istasyonunun 4. istasyon pozisyonunda (son istasyon) olduğu durumdaki çözümü göstermektedir. Yİ istasyonunun sondan bir önceki istasyon (3. istasyon) pozisyonunda olması durumunda elde edilen çözüm ise Şekil 6-b'de görülmektedir. Benzer şekilde, Şekil 6-c'de Yİ istasyonunun 2. istasyon pozisyonunda olduğu durum verilmiştir. Yİ istasyonu 2. istasyon pozisyonunda olduğunda (Şekil 6-c) çevrim süresinin 12,5 zaman birimi olduğu ve bu

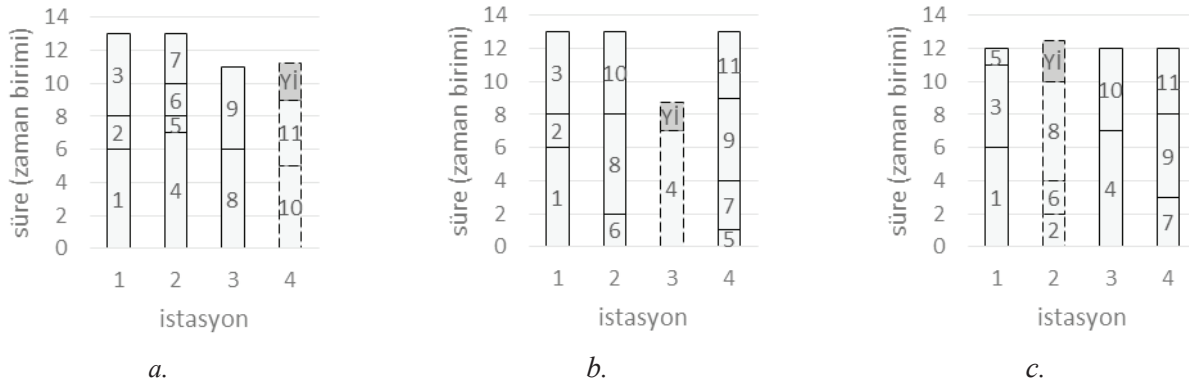
istasyona, üç görevin atandığı görülmektedir. Yİ istasyonu 3. istasyon pozisyonunda olduğu durumda (Şekil 6-b), Yİ istasyonuna sadece bir görev atandığı ve çevrim süresinin ise 13 zaman birimi olduğu görülmektedir. Yİ istasyonunun son istasyon olması durumunda (Şekil 6-a) ise çevrim süresinin yine 13 zaman birimi olduğu, bununla birlikte bu istasyona iki görev atandığı görülmektedir.

Şekil 7-a, Şekil 7-b ve Şekil 7-c de hata oranı %25 ($\beta = 1.25$) ve $\gamma = 2$ olan durum dikkate alınarak üç farklı Yİ istasyonu pozisyonu için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekil 7-a'da Yİ istasyonunun 4. istasyon pozisyonunda (son istasyon) olduğu durum, Şekil 7-b'de Yİ istasyonunun 3. istasyon pozisyonunda olduğu durum ve Şekil 7-c'de Yİ istasyonunun 2. istasyon pozisyonunda olduğu durum için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yİ istasyonu 2. istasyon pozisyonunda olduğunda çevrim süresinin 13 zaman birimi olduğu ve Yİ istasyonuna sadece bir görev

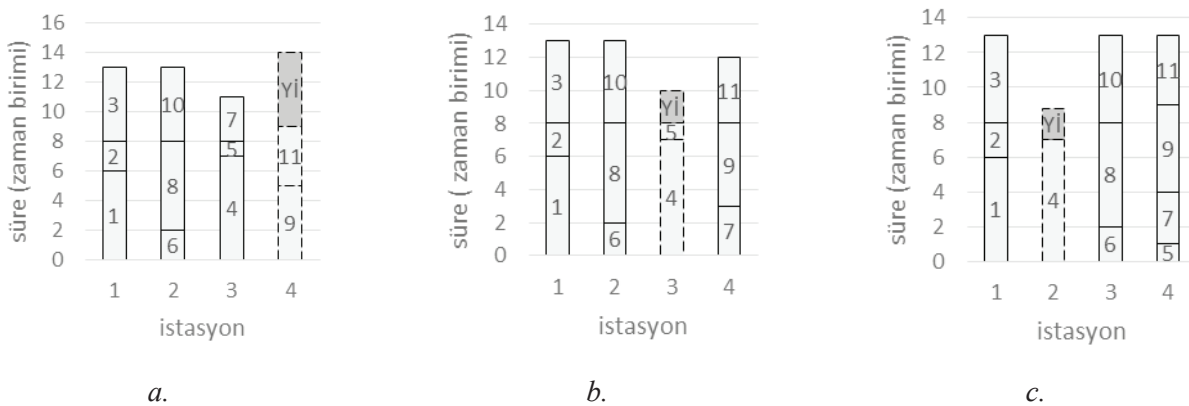
atandığı görülmektedir. Yİ istasyonu 3. istasyon pozisyonunda olduğu durumda çevrim süresinin $\gamma = 1$ olan durumdaki çevrim süresiyle eşit olduğu ancak Yİ istasyonuna atanan görevlerin sayısında arttığı görülmektedir. Yİ istasyonu 4. istasyon pozisyonunda olduğu durumda çevrim süresinin 14,04 zaman birimi olduğu ve $\gamma = 1$ olan durum ile kıyaslandığında ise çevrim süresinin arttığı görülmektedir.

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, Yİ istasyonunun bulunduğu pozisyona göre çevrim süresi ve istasyonlara atanan görevlerde değişiklikler olabilmektedir. Buna ek olarak Yİ istasyonuna atanan görevlerin sayısı öncelik ilişkilerine ve γ değerine bağlı olarak da değişkenlik gösterebilmektedir.

Farklı Yİ istasyonu pozisyonlarına ek olarak, üç farklı hata oranı ve iki farklı γ değeri için elde edilen sonuçlar Tablo 1 ($\gamma = 1$ olan durum) ile Tablo 2'de ($\gamma = 2$ olan durum) verilmektedir.



Şekil 6. Hata oranının %25 olduğu durumda ve $\gamma = 1$ için Yİ istasyonunun (a) 4. istasyon, (b) 3. istasyon ve (c) 2. istasyon pozisyonunda olduğu durumdaki görev atamaları



Şekil 7. Hata oranının %25 olduğu durumda ve $\gamma = 2$ için Yİ istasyonunun (a) 4. istasyon, (b) 3. istasyon ve (c) 2. istasyon pozisyonunda olduğu durumdaki görev atamaları

Tablo 1. Jackson örnekleme 3 istasyonlu versiyon için çözüm sonuçları ($\gamma = 1$)

İS	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	Yİ İstasyonu Pozisyonu	$\beta = 1,00$			$\beta = 1,25$			$\beta = 1,50$		
					BÇS (sn)	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	ÇS	HE (%)
3	16,00	72,00	≈ 0,00	2	0,14	12,00	95,83	0,01	12,50	92,00	0,01	13,00	88,46
				3	0,01	12,00	95,83	0,01	13,00	88,46	0,01	13,00	88,46
				4	0,01	12,00	95,83	0,09	13,00	88,46	≈ 0,00	13,00	88,46

İS (İstasyon Sayısı), ÇS (Çevrim Süresi), HE (Hat Etkinliği), BÇS (Bilgisayar Çözüm Süresi)

Tablo 2. Jackson örnekleme 3 istasyonlu versiyon için çözüm sonuçları ($\gamma = 2$)

İS	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	Yİ İstasyonu Pozisyonu	$\beta = 1,00$			$\beta = 1,25$			$\beta = 1,50$		
					BÇS (sn)	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	ÇS	HE (%)	BÇS (sn)	ÇS	HE (%)
3	16,00	72,00	≈ 0,00	2	0,14	12,00	95,83	0,01	13,00	88,46	0,01	14,00	82,14
				3	0,01	12,00	95,83	0,01	13,00	88,46	0,01	14,00	82,14
				4	0,01	12,00	95,83	0,01	14,04	81,90	0,01	15,00	76,66

İS (İstasyon Sayısı), ÇS (Çevrim Süresi), HE (Hat Etkinliği), BÇS (Bilgisayar Çözüm Süresi)

Tablo 1'deki sonuçlar analiz edildiğinde, farklı hata oranları için Yİ istasyonunun pozisyonuna göre çevrim sürelerinde değişiklikler olabildiği görülmektedir. 3 istasyonlu Jackson örnekleme için hata oranının etkileri incelendiğinde, hata oranı artışına bağlı olarak, Yİ istasyonu hatalı ürünler için daha fazla kullanılması nedeniyle, çevrim süresinin de arttığı; çevrim süresinin artması hat etkinliğini olumsuz yönde etkilediği için de hat etkinliğinin azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak, Yİ istasyonunun standart bir istasyon

olarak kullanılması durumunda hat etkinliğinin artması söz konusudur. Yİ istasyonu standart bir istasyon olarak kullanılmadığı durumda hat etkinliği %72 iken, Yİ istasyonunun 2. istasyon pozisyonunda standart bir istasyon olarak kullanıldığı durumda (%0 hata oranı için) hat etkinliğinin %95,83 olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Tablo 2'de verilen sonuçlar incelendiğinde ise γ değeri arttığında çevrim süresinin arttığı ve daha öncede bahsedildiği gibi hat etkinliğinin olumsuz yönde etkilendiği yani azaldığı görülmektedir.

Tablo 3. Farklı test örneklemleri için deneysel sonuçlar ($\gamma = 1$)

Problem	İS	ÇS	BÇS (sn)	Yİ İstasyonu Pozisyonu	$\beta = 1,00$		$\beta = 1,25$		$\beta = 1,50$	
					ÇS	BÇS (sn)	ÇS	BÇS (sn)	ÇS	BÇS (sn)
Jackson (11 görev)	3	16,00	≈ 0,00	2	12,00	0,14	12,50	0,01	13,00	0,01
				3	12,00	0,01	13,00	0,01	13,00	0,01
				4	12,00	0,01	13,00	0,09	13,50	≈ 0,00
	4	12,00	≈ 0,00	3	10,00	0,13	11,00	0,07	11,00	0,01
				4	10,00	0,01	11,00	0,01	11,00	0,01
				5	10,00	0,01	11,00	0,01	11,00	0,01
Mitchells (21 görev)	3	35,00	0,01	2	27,00	0,14	28,00	0,06	30,00	0,01
				3	27,00	0,01	28,00	0,01	30,00	0,07
				4	27,00	0,01	28,00	0,01	30,00	0,01
	5	21,00	0,01	4	18,00	0,02	19,00	0,05	19,00	0,35
				5	18,00	0,02	19,00	0,10	19,00	0,04
				6	18,00	0,02	19,00	0,03	19,50	0,07
Heskiaoff (28 görev)	4	256,00	0,04	3	205,00	0,29	214,00	0,26	220,00	0,03
				4	205,00	0,05	214,00	0,32	220,00	0,04
				5	205,00	0,05	214,00	0,47	220,00	0,03
	5	205,00	0,04	4	171,00	0,06	177,00	0,05	181,00	0,22
				5	171,00	0,04	177,00	0,06	181,00	0,03
				6	171,00	0,13	177,00	0,04	181,00	0,07

İS (İstasyon Sayısı), ÇS (Çevrim Süresi), HE (Hat Etkinliği), BÇS (Bilgisayar Çözüm Süresi)

Örneğin; hata oranı %50 ($\beta = 1,50$) ve $\gamma = 1$ olan durumda, Yİ istasyonu 2. istasyon pozisyonunda olduğunda çevrim süresi 13 iken; $\gamma = 2$ olan durumda ise çevrim süresinin 14 zaman birimi olduğu ve arttığı görülmektedir.

Jackson test problemindeki sonuçlara ek olarak, farklı MHDP test örneklemeleri (Mitchells ve Heskiaoff) kullanılarak modelin performansı analiz edilmiştir. Tablo 3’de her örneklem için Uğurdağ ve ark. [32] tarafından yapılan çalışmada verilen iki farklı istasyon sayısı kombinasyonu dikkate alınarak, Yİ istasyonunun üç farklı pozisyonunda bulunması durumu üç farklı hata oranı ve $\gamma = 1$ için çevrim süreleri ve modele ilişkin çözüm süreleri verilmiştir.

Tablo 3’te görüldüğü gibi Yİ istasyonunun hatalı ürünlerin yeniden işlendiği bir istasyon olarak kullanılmasına ek olarak, diğer görevlerin atandığı standart bir iş istasyonu olarak kullanılması ile çevrim sürelerinde önemli iyileşmeler sağlanabilmektedir. Modelin çözüm süreleri Yİ istasyonunun farklı pozisyonlarına ve farklı hata oranlarına bağlı olarak, 0,29 saniye (Heskiaoff örnekleme-4 istasyonlu versiyon, Yİ istasyonunun 3. pozisyonunda olduğu durum ve %0 hata oranı için) ile ≈ 0 saniye (Jackson örnekleme-3 istasyonlu versiyon, Yİ istasyonunun 4. pozisyonunda olduğu durum ve %50 hata oranı için) arasında değişkenlik göstermektedir. Öte yandan, çevrim süresinin değişimi incelendiğinde, dikkate alınan en büyük örneklem için (Heskiaoff örnekleme) standart modelden elde edilen çevrim sürelerinin önemli oranda azaldığı görülmektedir. Örneğin, 5 istasyonlu versiyonda 205 zaman birimi olan çevrim süresinin; hata oranının %0 ($\beta = 1,00$) olduğu durumda 171 zaman birimine, hata oranının %25 ($\beta = 1,25$) olduğu durumda 177 zaman birimine, hata oranının %50 ($\beta = 1,50$) olduğu durumda 181 zaman birimine düştüğü görülmektedir. Buna ek olarak, Yİ istasyonunun pozisyonunun da çevrim süresi üzerinde daha küçük miktarlarda da olsa etkileri olabildiği durumlar söz konusudur.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, montaj hatlarında hatalı ürünlerin yeniden işlendiği bir istasyon olarak kullanılan Yİ istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılması dikkate alınarak, bir karışık-tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model literatürdeki çeşitli örneklemeler üzerinde test edilmiştir. Çalışma kapsamında, sadece Yİ istasyonuna standart bir iş istasyonu olarak görevlerin atanmasının sağlanmasına ek olarak, Yİ istasyonunun farklı pozisyonlarda bulunması (son istasyon ve daha önceki istasyon pozisyonlarında) ve montaj hattındaki hata oranlarının da çözüme olan etkileri analiz edilmiştir.

Yİ istasyonu son istasyondan çıkan hatalı ürünlerin yeniden işlendiği bir istasyon olarak kullanıldığından Yİ istasyonu pozisyonu hattın başına doğru yaklaştığında hatalı ürünlerin taşıma süreleri/mesafeleri artacaktır. Bu nedenle, önerilen yaklaşım, montaj hattında üretilen ürünlerin taşınmasının ergonomik açıdan zorluk içermeyen sistemlerde daha yüksek uygulama potansiyeline sahip olabilir. Buna ek olarak, Yİ istasyonunda bütün görevlerin gerçekleştirilebiliyor olması varsayımı nedeniyle de önerilen yaklaşımın yüksek esneklik içeren sistemler (bütün görevlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak şekilde istasyonların düzenlenebildiği sistemler) için daha uygun olduğu söylenebilir.

Yİ istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılması ile özellikle montaj hattındaki hata oranının düşük olduğu durumlarda çevrim süresinde iyileşme sağlanabileceği görülmektedir. Gerçek hayattaki montaj hatlarında Yİ istasyonunun standart bir iş istasyonu olarak kullanılabilmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması durumunda, bu istasyonda bulunan kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması ve montaj hattı çevrim süresinin azaltılması mümkün olabilir. Buna ek olarak, Yİ istasyonunun farklı pozisyonlarda konumlandırılmasının da çözümü etkilediği görülmektedir. Yİ istasyonunun pozisyonu belirlenirken, montaj hattındaki önşart ilişkileri ve ergonomik unsurlar birlikte değerlendirilebilir.

Önerilen model, daha büyük boyutlu gerçek-hayat problemlerinin çözümünde daha uzun çözüm süreleri gerektirebileceğinden, daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler geliştirilmesi gelecek çalışmalar kapsamında dikkate alınabilir. Gelecek çalışmalarda, Yİ istasyonunun farklı pozisyonlarda kullanılması ile ilgili olarak oluşması söz konusu olabilecek maliyetlerin (hatalı ürünleri taşınması vb.) de dikkate alındığı daha geniş kapsamlı analizler de yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Hossain, M. S. J. ve Sarker, B. R. (2016). Optimal locations of on-line and off-line rework stations in a serial production system. *Int. J. Prod. Res.*, 54(12), 3603-3621.
- [2] Bryton, B. (1954). Balancing of a continuous production line. Yüksek Lisans Tezi, Northwestern University, Evanston.
- [3] Salveson, M. E. (1955). The assembly line balancing problem. *The Journal of Industrial Engineering*, 6(3), 18-25.
- [4] Ghosh, S. ve Gagnon, R. J. (1989). A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. *Int. J. Prod. Res.*, 27(4), 637-670.

- [5] Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Manage. Sci.*, 32(8), 909-932.
- [6] Becker, C. ve Scholl A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *Eur. J. Oper. Res.*, 168(3), 694-715.
- [7] Scholl, A. ve Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *Eur. J. Oper. Res.*, 168(3), 666-693.
- [8] Kilincci, O. (2010). Petri net-based heuristic for simple assembly line balancing problem of Type 2. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46(1), 329-338.
- [9] Wei, N. ve Chao, I. (2011). A solution procedure for Type E simple assembly line balancing problem. *Comput. Ind. Eng.*, 61(3), 824-830.
- [10] Sivasankaran, P. ve Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73:665-1694.
- [11] Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N. ve Atasagun, Y. (2011). Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times. *Int. J. Prod. Res.*, 49(21), 6387-6405.
- [12] Gökçen, H., Ağpak, K. ve Benzer R. (2006). Balancing of parallel assembly lines. *Int. J. Prod. Econ.*, 103(2), 600-609.
- [13] Özcan, U. ve Toklu, B. (2010). Balancing two-sided assembly lines with sequence-dependent setup times, *Int. J. Prod. Res.*, 48(18), 5363-5383.
- [14] Ağpak, K. ve Zolfaghari, S. (2015). Mathematical models for parallel two-sided assembly line balancing problems and extensions, *Int. J. Prod. Res.*, 53(4), 1242-1254.
- [15] Amen, M. (2006). Cost-oriented assembly line balancing: model formulations, solution difficulty, upper and lower bounds. *Eur. J. Oper. Res.*, 168(3), 747-770.
- [16] Erel, E. ve Gokcen, H. (1999). Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem. *Eur. J. Oper. Res.*, 116(1), 194-204.
- [17] Gokcen, H. ve Erel, E. (1997). A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem. *Int. J. Prod. Econ.*, 48(2), 177-185.
- [18] Battaia, O. ve Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *Int. J. Prod. Econ.*, 142(2), 259-277.
- [19] Boysen, N., Flidner, M. ve Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *Eur. J. Oper. Res.*, 183(2), 674-693.
- [20] Deckro, R. F. ve Rangachari, S. (1990). A goal approach to assembly line balancing. *Computers & operations research*, 17(5), 509-521.
- [21] Kilincci, O. ve Bayhan, G. M. (2006). A Petri net approach for simple assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(11), 1165-1173.
- [22] Rubinovitz, J. ve Levitin, G. (1995). Genetic algorithm for assembly line balancing. *Int. J. Prod. Econ.*, 41(1), 343-354.
- [23] Kim, Y. K., Kim, Y. J. ve Kim, Y. (1996). Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives. *Comput. Ind. Eng.*, 30(3), 397-409.
- [24] Suwannarongsri, S. ve Puangdownreong, D. (2008). Optimal assembly line balancing using tabu search with partial random permutation technique. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 3(1), 3-18.
- [25] Tapkan, P., Ozbakir, L. ve Baykasoglu, A. (2012) Modeling and solving constrained two-sided assembly line balancing problem via bee algorithms. *Appl. Soft Comput.*, 12(11), 3343-3355.
- [26] Baykasoglu, A. ve Dereli, T. (2008). Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 36(5-6), 582-588.
- [27] Baykasoglu, A. (2006). Multi-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 17(2), 217-232.
- [28] Mutlu, Ö. ve Özgörmüş, E. (2012). A fuzzy assembly line balancing problem with physical workload constraints. *Int. J. Prod. Res.*, 50(18), 5281-5291.
- [29] Baykasoglu, A. ve Akyol, Ş.D. (2014). Ergonomik montaj hattı dengeleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 785-792.
- [30] Güner, B. ve Hasgöl, S. (2012). Sürdürülebilir denge için ergonomik faktörleri içeren U-tipi montaj hattı dengelemesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 407-415.
- [31] Barathwaj, N., Raja, P. ve Gokulraj, S. (2015). Optimization of assembly line balancing using genetic algorithm. *Journal of Central South University*, 22(10), 3957-3969.
- [32] Uğurdağ, H. F., Rachamadugu, R. ve Papachristou, C. A. (1997). Designing paced assembly lines with fixed number of stations. *Eur. J. Oper. Res.*, 102(3), 488-501.

Kesirli Nötral Diferansiyel Denklemlerin Çözümlerinin Kalitatif Davranışları Üzerine

On The Qualitative Behaviors of Solutions of Fractional Neutral Differential Equations

Hakan ADIGÜZEL¹ 

¹*İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.*

Öz

Bu çalışmada, kesirli nötral diferansiyel denklemlerin bir sınıfı dikkate alınmıştır. Yeni karşılaştırma teoremlerine dayanarak, salınımlılık sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmaları tamamlamış ve genelleştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Salınım, Kesirli Türev, Kesirli Diferansiyel Denklemler, Nötral

Abstract

In this study, we consider a class of fractional neutral differential equations. Based on new comparison theorems, we obtain some oscillation results. The obtained results complement and improve a number of results in the literature.

Keywords: Oscillation, Fractional Derivative, Fractional Differential Equations, Neutral

I. GİRİŞ

Kesirli diferansiyel denklemler çoğu mühendislik probleminin modellenmesinde önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle biyomühendislik, elektrokimya, kontrol, elektromanyetik alan teorisi ve daha birçok fiziksel problemlerdeki matematiksel modellerin kurulması gibi geniş bir kullanım alanı vardır [1-2]. Bu anlamda kesirli diferansiyel denklemler hakkında daha fazla bilgi sahibi olunulması istenmesi doğaldır. Bu amaçla son yıllarda bu denklemlerle ilgili çok sayıda çalışma göze çarpmaktadır [3-11]. Bu çalışmalar incelendiğinde özellikle nötral kesirli diferansiyel denklemlerin salınımlılığı konusunda fazla çalışma olmadığı göze çarpmaktadır [12-13].

Wang ve arkadaşları [12],

$$\left. \begin{aligned} D_t^\alpha \left(a(t) \left[D_t^\alpha \left(x(t) + p(t)x(\tau(t)) \right) \right] \right) \\ + q(t)x(\sigma(t)) = 0 \end{aligned} \right\}$$

kesirli diferansiyel denkleminin salınımlılık özelliklerini incelemişlerdir. Ve bu denklem için bazı salınımlılık kriterleri elde etmişlerdir. Ganesan ve arkadaşları [13] ise, Wang ve arkadaşlarının [12] incelediği denklemden daha genel bir denklemi göz önüne alarak verilen salınımlılık kriterlerini daha da genelleştirmişlerdir.

Bu çalışmada $z(t) = x(t) + p(t)x(\tau(t))$, $t \geq t_0 > 0$ ve $0 < \alpha < 1$ olmak üzere,

$$D_t^\alpha \left(a(t) [D_t^\alpha z(t)]^\gamma + q(t) x^\beta(\sigma(t)) = 0 \right) \quad (1)$$

denklemini dikkate alınacaktır. Burada γ ve β iki tek doğal sayının oranını, D_t^α modifiye Riemann-Liouville kesirli türevini göstermektedir [14]. Ayrıca $q(t) \in C([t_0, \infty))$, $D_t^\alpha a(t) \in C([t_0, \infty))$, $D_t^{2\alpha} p(t) \in C([t_0, \infty))$ pozitif fonksiyonlar ve (1) denklemini

(H₁) p_0 sabit bir sayı olmak üzere, $0 \leq p(t) \leq p_0 < \infty$,

(H₂) $\tau'(t) \geq \tau_0 > 0$, $\tau \circ \sigma = \sigma \circ \tau$, $\eta(t) \leq \sigma(t)$ ve $\lim_{t \rightarrow +\infty} \eta(t) = +\infty$ olacak şekilde bir $\eta(t)$ fonksiyonu vardır,

(H₃) $\int_{t_0}^\infty a^{-1/\lambda}(s) ds = \infty$

(H₄) $\frac{t}{\tau(t)} \geq l > 0$

şartlarını sağlar. Modifiye Riemann-Liouville kesirli türevi [14] ve bazı önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

$$D_t^\alpha f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\xi) - f(0)}{(t-\xi)^\alpha} d\xi, & 0 < \alpha < 1 \\ (f^{(n)}(t))^{(\alpha-n)}, & 1 \leq n \leq \alpha \leq n+1 \end{cases}$$

$$D_t^\alpha (f(t)g(t)) = g(t)D_t^\alpha f(t) + f(t)D_t^\alpha g(t)$$

$$D_t^\alpha f[g(t)] = \left. \begin{aligned} f'_g[g(t)] D_t^\alpha g(t) \\ = D_t^\alpha f[g(t)] (g'(t))^\alpha \end{aligned} \right\}$$

$$D_t^\alpha t^\beta = \frac{\Gamma(\beta+1)}{\Gamma(\beta+1-\alpha)} t^{\beta-\alpha}$$

Genel olarak, (1) denkleminin herhangi çözümü eninde sonunda pozitif ya da negatif bir çözüm değilse bu çözüme salınımlıdır, denir. Eğer (1) denkleminin tüm çözümleri salınımlı ise (1) denkleminin salınımlı denklemdir.

Bu çalışmada,

$$\xi = y(t) = \frac{t^\alpha}{\Gamma(1+\alpha)} \quad \text{ve} \quad i = 0, 1 \quad \text{için}$$

$$\xi_i = y(t_i) = \frac{t_i^\alpha}{\Gamma(1+\alpha)} \quad \text{olmak üzere} \quad \xi$$

değişken dönüşümü kullanılacaktır. Ve $x(t) = \tilde{x}(\xi)$, $a(t) = \tilde{a}(\xi)$, $p(t) = \tilde{p}(\xi)$, $q(t) = \tilde{q}(\xi)$ olarak göz önüne alınacaktır.

Dikkat edilirse $D_t^\alpha \xi = 1$ olacağından Modifiye Riemann-Liouville kesirli türevinin özelliğinden $D_t^\alpha x(t) = D_t^\alpha \tilde{x}(\xi) = \tilde{x}'(\xi)$ olur ve ayrıca

$$D_t^\alpha x(\tau(t)) = D_t^\alpha \tilde{x}(\tilde{\tau}(\xi)) = (\tilde{x}(\tilde{\tau}(\xi)))' D_t^\alpha \xi(t) = (\tilde{x}(\tilde{\tau}(\xi)))'$$

yazılır. Benzer şekilde diğer fonksiyonlarda da bu özellik kullanılacaktır.

Kolaylık olması bakımından

$$Q(\xi) = \min \{ \tilde{q}(\xi), \tilde{q}(\tilde{\tau}(\xi)) \} \quad \text{ve}$$

$$B(t) = \int_{t_1}^t a^{-1/\gamma}(s) ds \quad \text{olmak üzere}$$

$$Q_\nu(\xi) = Q(\xi) [B(\tilde{\eta}(\xi))]^\nu,$$

$$Q_\beta(\xi) = Q(\xi) [B(\tilde{\eta}(\xi))]^\beta$$

eşitlikleri sıklıkla kullanılacaktır. Burada

$$B(\tilde{\eta}(\xi)) = \int_{\xi_1}^{\tilde{\eta}(\xi)} \tilde{a}^{-1/\gamma}(s) ds \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu çalışmada incelenecek olan denklemin $\alpha = 1$ durumu daha önce Li ve arkadaşları [15] tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında ikinci mertebeden nötral diferensiyel denklem için karşılaştırma teoremlerinden yararlanarak bazı salınımlılık kriterleri elde etmişlerdir.

1.1.Lemma [12]:

(H_2) ve (H_4) sağlansın. Ayrıca

$$\tilde{\tau}(\xi) = y(\tau(y^{-1}(\xi))), \quad \tilde{\sigma}(\xi) = y(\sigma(y^{-1}(\xi)))$$

şeklinde tanımlı $\tilde{\tau}(\xi)$, $\tilde{\sigma}(\xi)$ fonksiyonlar olsun. Bu durumda

$$x(\tau(t)) = \tilde{x}(\tilde{\tau}(\xi)), \quad x(\sigma(t)) = \tilde{x}(\tilde{\sigma}(\xi))$$

sağlanır. Ve yeni bir şart olarak

$$(H_2^*): \tilde{\tau}'(\xi) \geq \tau_0 l^{1-\alpha} = \tilde{\tau}_0 > 0, \quad \tilde{\tau} \circ \tilde{\sigma} = \tilde{\sigma} \circ \tilde{\tau}, \\ \tilde{\eta}(\xi) \leq \tilde{\sigma}(\xi) \text{ ve } \lim_{\xi \rightarrow +\infty} \tilde{\eta}(\xi) = +\infty \text{ olacak} \\ \text{şekilde bir } \tilde{\eta}(\xi) \text{ fonksiyonu vardır,}$$

yazılabilir.

1.2. Lemma [13]:

x , (1) denkleminin eninde sonunda pozitif bir çözümü ve $t \rightarrow \infty$ için $B(t) \rightarrow \infty$ olacak şekilde yeterince büyük bir t_1 varsa bu durumda,

$$z(t) > 0; \quad a(t)[D_t^\alpha z(t)]^\gamma > 0;$$

$$D_t^\alpha (a(t)[D_t^\alpha z(t)]^\gamma) < 0,$$

eşitsizlikleri eninde sonunda sağlanır.

II. SALINIMLILIK

Bu bölümde (1) denkleminin çözümlerinin salınımlılığı incelenecektir.

2.1.Teorem:

$0 < \beta \leq 1$ ve $\eta(t) \leq t \leq \tau(t)$ olsun. $(H_1) - (H_3)$ ve (H_2^*) koşulları sağlansın. Ayrıca $\nu \leq \beta$ ve $\nu < \gamma$ olacak şekilde iki tek doğal sayının oranı olan ν sayısının var olduğunu varsayalım. Bu durumda eğer

$$\int_{\xi_0}^{\infty} Q_\nu(s) ds = \infty \quad (2)$$

sağlanıyorsa (1) denklemini salınımlıdır.

İspat:

Aksine (1) denkleminin salınımlı olmadığını kabul edelim. Bu durumda denklem eninde sonunda işaret değiştirmeyen çözümlere sahiptir. Genelliği kaybetmeksizin, $[t_1, \infty)$ üzerinde (1) denkleminin bir $x(t)$ pozitif çözümünü göz önüne alalım (negatif çözümde benzerdir). Buna denk olarak $[\xi_1, \infty)$ üzerinde $\tilde{x}(\xi)$ alınabilir. Bu durumda [13, Theorem 3.1] in ispatındaki gibi,

$$\left(\tilde{a}(\xi)[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \tilde{a}(\tilde{\tau}(\xi))[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma \right)' + Q(\xi)\tilde{z}^\beta(\tilde{\sigma}(\xi)) \leq 0 \quad (3)$$

eşitsizliği elde edilebilir. Bu eşitsizlik her $\xi \geq \xi_1$ ve bazı $\xi_1 \geq \xi_0$ için sağlanır. Lemma 1. 2 den $\tilde{z}'(\xi) > 0$ olduğunu biliyoruz. Böylece (3) ve $\tilde{\eta}(\xi) \leq \tilde{\sigma}(\xi)$ şartından

$$\left(\tilde{a}(\xi)[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \tilde{a}(\tilde{\tau}(\xi))[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma \right)' + Q(\xi)\tilde{z}^\beta(\tilde{\eta}(\xi)) \leq 0$$

yazılır. Ayrıca $\tilde{z}(\xi)$ fonksiyonunun monotonluğundan ve $M > 0$ sayısından

$$\tilde{z}^\beta(\tilde{\eta}(\xi)) = \tilde{z}^{\beta-\nu}(\tilde{\eta}(\xi))\tilde{z}^\nu(\tilde{\eta}(\xi)) \\ \geq M^{\beta-\nu}\tilde{z}^\nu(\tilde{\eta}(\xi))$$

olacağından

$$\left(\tilde{a}(\xi)[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \tilde{a}(\tilde{\tau}(\xi))[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma \right)' + M^{\beta-\nu}Q(\xi)\tilde{z}^\nu(\tilde{\eta}(\xi)) \leq 0 \quad (4)$$

elde edilir. Burada,

$$\tilde{w}(\xi) = \tilde{a}(\xi)[\tilde{z}'(\xi)]^\gamma$$

olarak tanımlanırsa, Lemma 1. 2 den, $\tilde{w}(\xi)$ nin pozitif ve azalan bir fonksiyon olduğunu söylenebilir. Bu yüzden

$$\tilde{z}(\xi) \geq \tilde{a}^{1/\gamma}(\xi) \tilde{z}'(\xi) B(\xi) = \tilde{w}^{1/\gamma}(\xi) B(\xi)$$

yazılır. Bu eşitsizlik (4) eşitsizliğinde kullanılırsa,

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(\tilde{w}(\xi) + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \tilde{w}(\tilde{\tau}(\xi)) \right) \\ & + M^{\beta-\nu} Q_\nu(\xi) \tilde{w}^{1/\gamma}(\tilde{\eta}(\xi)) \leq 0 \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$\tilde{w}(\xi)$ nin yukarıda elde edilen (5) gecikmeli diferensiyel eşitsizliğinin bir pozitif çözümü olduğunu görülür. Ayrıca $\tilde{u}(\xi)$ fonksiyonu

$$\tilde{u}(\xi) = \tilde{w}(\xi) + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \tilde{w}(\tilde{\tau}(\xi))$$

ile tanımlanır ve $\tilde{w}(\xi)$ fonksiyonunun azalışından

$$\tilde{u}(\xi) \leq \tilde{w}(\xi) \left(1 + \frac{p_0^\beta}{\tau_0} \right)$$

yazılır. Bu eşitsizlik (5) eşitsizliğinde kullanılırsa,

$$\tilde{u}'(\xi) + \left\{ \begin{aligned} & M^{\beta-\nu} \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \right)^{\nu/\gamma} \\ & \times Q_\nu(\xi) \tilde{u}^{1/\gamma}(\tilde{\eta}(\xi)) \end{aligned} \right\} \leq 0 \quad (6)$$

Bulunur. Burada $\tilde{u}(\xi)$ nin, (6) gecikmeli diferensiyel eşitsizliğinin bir pozitif çözümü olduğu görülür.

Böylece [16, Theorem 1] den

$$\tilde{u}'(\xi) + \left\{ \begin{aligned} & M^{\beta-\nu} \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \right)^{\nu/\gamma} \\ & \times Q_\nu(\xi) \tilde{u}^{1/\gamma}(\tilde{\eta}(\xi)) \end{aligned} \right\} = 0 \quad (13)$$

bir pozitif çözüme sahiptir. Bu durumda [17, Theorem 2] den (2) nin kabulüyle (7) denkleminin salınımlı olduğunu ifade eder. Böylece (1) denklemin pozitif çözümlere sahip olamaz. Bu da kabulümüzle çelişir. İspat tamamlanır.

2.2. Teorem:

$0 < \beta = \gamma \leq 1$ ve $\eta(t) \leq t \leq \tau(t)$ sağlansın.

Eğer $(H_1) - (H_3)$ şartları ve

$$\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \liminf_{\xi \rightarrow \infty} \int_{\tilde{\eta}(\xi)}^{\xi} Q_\beta(s) ds > \frac{1}{e} \quad (8)$$

sağlanıyorsa, (1) denklemin salınımlıdır.

İspat:

Aksine (1) denkleminin salınımlı olmadığını kabul edelim. Bu durumda denklem eninde sonunda işaret değiştirmeyen çözümlere sahiptir. Genelliği kaybetmeksizin, $[t_1, \infty)$ üzerinde (1) denkleminin bir x pozitif çözümünü göz önüne alalım. Bu durumda, Teorem 2.1 in ispatındaki benzer işlemlerle,

$$\tilde{u}'(\xi) + \frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} Q_\beta(\xi) \tilde{u}(\tilde{\eta}(\xi)) = 0 \quad (9)$$

$\tilde{u}(\xi)$ pozitif çözüme sahip gecikmeli diferensiyel denklemin elde edilebilir. Diğer yandan (8) şartı ve [13, Lemma 3.4] den (9) denkleminin salınımlı olduğu sonucuna ulaşılabilir. Böylece çelişki elde edilir. Bu da ispatı tamamlar.

2.3. Sonuç:

$0 < \beta \leq 1$, $\beta \leq \gamma$ ve $\sigma(t) < t \leq \tau(t)$ olsun.

Ayrıca $(H_1) - (H_3)$ şartları ve

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \right)^{\beta/\gamma} \liminf_{\xi \rightarrow \infty} \int_{\tilde{\sigma}(\xi)}^{\xi} Q(s) \\ & \times \left(\int_{\xi_1}^{\tilde{\sigma}(\xi)} \frac{d\zeta}{\tilde{a}^{1/\gamma}(\zeta)} \right)^\beta ds > \frac{1}{e} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

eşitsizliği sağlanıyorsa, bu durumda (1) denklemin salınımlıdır.

2.4. Teorem:

$0 < \beta \leq 1$ ve $\eta(t) < \tau(t) \leq t$ olsun. $(H_1) - ($

$H_3)$ ve (H_2^*) koşulları sağlansın. Ayrıca

$\nu \leq \beta$ ve $\nu < \gamma$ olacak şekilde iki tek doğal sayının oranı olan ν sayısının var olduğunu varsayalım. Bu durumda eğer (2) sağlanıyorsa, (1) denklemi salınımlıdır.

İspat:

Aksine (1) denkleminin salınımlı olmadığını kabul edelim. Bu durumda denklem eninde sonunda işaret değiştirmeyen çözümlere sahiptir. Genelliği kaybetmeksizin, $[t_1, \infty)$ üzerinde (1) denkleminin bir x pozitif çözümünü göz önüne alalım. Bu durumda Teorem 2.1 in ispatında $\tilde{w}(\xi) = \tilde{a}(\xi) [\tilde{z}'(\xi)]^\gamma$ ile tanımlanan $\tilde{w}(\xi)$ fonksiyonu göz önüne alınabilir. Bu fonksiyon pozitifdir, azalandır ve (5) gecikmeli diferensiyel eşitsizliğini sağlamaktadır. Ayrıca $\tilde{u}(\xi)$ fonksiyonu tekrar göz önüne alırsa, bu durumda $\tilde{w}(\xi)$ fonksiyonunun azalanlığından,

$$\tilde{u}(\xi) \leq \tilde{w}(\tilde{\tau}(\xi)) \left(1 + \frac{p_0^\beta}{\tau_0}\right)$$

elde edilir. Bu eşitsizlik (5) eşitsizliğinde yazılırsa, yeterince büyük ξ için $\tilde{y}(\xi)$,

$$\tilde{u}'(\xi) + \left(M^{\beta-\nu} \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \right)^{\nu/\gamma} \times Q_\nu(\xi) \tilde{u}^{\nu/\gamma}(\tilde{\tau}^{-1}(\tilde{\eta}(\xi))) \right) \leq 0$$

gecikmeli diferensiyel eşitsizliğinin bir pozitif çözümüdür. Böylece [16, Theorem 1] den

$$\tilde{u}'(\xi) + \left(M^{\beta-\nu} \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \right)^{\nu/\gamma} \times Q_\nu(\xi) \tilde{u}^{\nu/\gamma}(\tilde{\tau}^{-1}(\tilde{\eta}(\xi))) \right) = 0 \quad (11)$$

bir pozitif çözüme sahiptir. Bu durumda (2) şartının [17, Theorem 2] de kullanılmasıyla (11) gecikmeli diferensiyel denklemi salınımlıdır. Bu da (11) denkleminin elde ettiğimiz $\tilde{y}(\xi)$ pozitif çözümüyle çelişir. Bu çelişki $x(t)$ nin (1) denkleminin salınımsız bir

çözümü olmasından kaynaklandı, dolayısıyla ispat tamamlanır.

2.5. Teorem:

$0 < \beta = \gamma \leq 1$ ve $\eta(t) \leq \tau(t) \leq t$ sağlansın.

Eğer $(H_1) - (H_3)$ şartları ve

$$\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} \liminf_{\xi \rightarrow \infty} \int_{\tilde{\tau}^{-1}(\tilde{\eta}(\xi))}^{\xi} Q_\beta(s) ds > \frac{1}{e} \quad (12)$$

eşitsizliği sağlanıyorsa (1) denklemi salınımlıdır.

İspat:

Teorem 2.4 ün ispatındaki benzer düşünce ve işlemlerle $\tilde{u}(\xi)$ nin,

$$\tilde{u}'(\xi) + \left(\frac{\tilde{\tau}_0}{\tilde{\tau}_0 + p_0^\beta} Q_\beta(\xi) \times \tilde{u}(\tilde{\tau}^{-1}(\tilde{\eta}(\xi))) \right) = 0 \quad (13)$$

gecikmeli diferensiyel denkleminin eninde sonunda bir pozitif çözümü olduğu gösterilebilir. Ayrıca (8) şartı ve [13, Lemma 3.4] den (13) denkleminin salınımlı bir denklem olduğu görülür. Bu çelişki ispatı tamamlar.

III. UYGULAMALAR

$t \geq 1$ için aşağıdaki kesirli nötral diferensiyel denklem dikkate alırsa,

$$D_t^{1/3} \left(\left(D_t^{1/3} \left(x(t) + \frac{1}{t} x(\phi t) \right) \right) \right) + tx^{1/3}(\lambda t) = 0 \quad (14)$$

(1) denkleme karşılık olarak, $a(t) = 1$,

$p(t) = \frac{1}{t}$, $q(t) = t$, $\phi \geq 1$, $\tau(t) = \phi t$,

$\lambda \in (0, \infty)$, $\sigma(t) = \lambda t$, $\alpha = \frac{1}{3}$, $\gamma = 1$,

$\nu = \beta = 1$, $\lambda_1 \in (0, 1)$, $\eta(t) = \lambda_1 t \leq \lambda t$ yazılır. Ayrıca

$$\xi = y(t) = \frac{t^{1/3}}{\Gamma(4/3)}, \quad y^{-1}(\xi) = \xi^3 \Gamma^3(4/3),$$

$$\xi_1 = \frac{1}{\Gamma(4/3)}$$

olacağından,

$$\tilde{a}(\xi) = a(y^{-1}(\xi)) = 1,$$

$$\tilde{\sigma}(\xi) = y(\sigma(y^{-1}(\xi))) = \frac{(\phi \xi^3 \Gamma^3(4/3))^{1/3}}{\Gamma(4/3)} = \phi^{1/3} \xi$$

,

$$\tilde{q}(\xi) = q(y^{-1}(\xi)) = \xi^3 \Gamma^3(4/3),$$

yazılır. Dikkat edilirse $(H_1) - (H_3)$ şartları sağlanır ve

$$0 \leq p(t) = \frac{1}{t} \leq 1 = p_0,$$

$$\tau_0 = (\phi t)' = \phi,$$

$$\int_{t_0}^{\infty} a^{-1/\lambda}(s) ds = \infty,$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{\tau(t)} = \frac{1}{\phi} = l,$$

$$\tilde{\tau}_0 = \tau_0 l^{1-1/3} = \phi^{1/3}$$

bulunur. Ayrıca $\tilde{q}(\xi)$ artan bir fonksiyon ve $t \leq \tau(t)$ olduğundan

$$Q(t) = \tilde{q}(\xi) = \xi^3 \Gamma^3(4/3),$$

$$Q_\nu(\xi) = Q(\xi) \left[\int_{\xi_1}^{\tilde{q}(\xi)} \tilde{a}^{-1/\gamma}(s) ds \right]^\nu$$

$$= \xi^3 \Gamma^3(4/3) (\lambda_1 \xi^3 \Gamma^3(4/3) - \xi_1)^{1/3},$$

elde edilir. Ayrıca,

$$\int_{\xi_1}^{\infty} s^3 \Gamma^3(4/3) (\lambda_1 s^3 \Gamma^3(4/3) - \xi_1)^{1/3} ds = \infty,$$

olacağından Teorem 2.1 den dolayı (14) denklemi salınımlıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Kiryakova, V., Generalized fractional calculus and applications, Longman Group UK Limited, Essex (1994).
- [2] Magin, R. L. (2006). *Fractional calculus in bioengineering* (pp. 269-355). Redding: Begell House.
- [3] Bai, Z., & Xu, R. (2018). The Asymptotic Behavior of Solutions for a Class of Nonlinear Fractional Difference Equations with Damping Term. *Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018*.
- [4] Bayram, M., Adiguzel, H., & Oğrekci, S. (2015). Oscillation of fractional order functional differential equations with nonlinear damping. *Open Physics, 13*(1).
- [5] Agarwal, R. P., Lakshmikantham, V., & Nieto, J. J. (2010). On the concept of solution for fractional differential equations with uncertainty. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications, 72*(6), 2859-2862.
- [6] Secer, A., & Adiguzel, H. (2016). Oscillation of solutions for a class of nonlinear fractional difference equations. *The Journal of Nonlinear Science and Applications (JNSA), 9*(11), 5862-5869.
- [7] Chen, D. X. (2012). Oscillation criteria of fractional differential equations. *Advances in Difference Equations, 2012*(1), 33.
- [8] Matignon, D. (1996, July). Stability results for fractional differential equations with applications to control processing. In *Computational engineering in systems applications* (Vol. 2, pp. 963-968). Lille, France: IMACS, IEEE-SMC.
- [9] Öğrekçi, S. (2015). Generalized Taylor series method for solving nonlinear fractional differential equations with modified Riemann-Liouville derivative. *Advances in Mathematical Physics, 2015*.
- [10] Öğrekçi, S. (2015). Interval oscillation criteria for functional differential equations of fractional order. *Advances in Difference Equations, 2015*(1), 3.
- [11] Muthulakshmi, V., & Pavithra, S. (2017). Interval Oscillation Criteria for Forced Fractional Differential Equations with Mixed Nonlinearities. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics, 13*(9), 6343-6353.
- [12] Wang, Y. Z., Han, Z. L., Zhao, P., & Sun, S. R. (2015). Oscillation theorems for fractional neutral differential equations. *Hacettepe journal of mathematics and statistics, 44*(6), 1477-1488.

-
- [13] Ganesan, V., & Kumar, M. S. (2016). Oscillation theorems for fractional order neutral differential equations. *Journal of Applied Computer Science & Mathematics (revised)*.
- [14] Jumarie, G. (2006). Modified Riemann-Liouville derivative and fractional Taylor series of nondifferentiable functions further results. *Computers & Mathematics with Applications*, 51(9-10), 1367-1376.
- [15] Li, T., & Rogovchenko, Y. V. (2015). Oscillation of second-order neutral differential equations. *Mathematische Nachrichten*, 288(10), 1150-1162.
- [16] Philos, C. G. (1981). On the existence of nonoscillatory solutions tending to zero at ∞ for differential equations with positive delays. *Archiv der Mathematik*, 36(1), 168-178.
- [17] Kitamura, Y., & Kusano, T. (1980). Oscillation of first-order nonlinear differential equations with deviating arguments. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 64-68.

Farklı Uygulama ve Tasarımların Bir Gaz Yakıcısındaki Emisyonların Düşürülmesine Etkileri

Effects of Different Applications and Designs on Emission Reduction in a Gas Burner

Murat Umut YANGAZ¹ , Gökçen Alev ÇİFTÇİOĞLU² , Mehmet Arif Neşet KADIRGAN² 

¹ Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Verimsiz enerji kullanımı, kaynakların hızla tükenmesinin ve aynı zamanda tam yanmanın gerçekleşmediğine işaret edebilecek, yüksek orandaki emisyonlara bağlı küresel ısınmanın ana nedenlerinden biridir. Genel olarak, toplu sistemler ya da büyük ölçekli sistemler yukarıda belirtilen problemlerin en büyük pay sahibidirler.

Endüstriyel yakıcılar metal şekillendirme sanayisinde ve büyük ölçekli elektrik üretim süreçlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alanlarda, hem karbon hem de azot bazlı emisyonlar için katı kurallar vardır. Buradan yola çıkarak, bu çalışma, çevresel kirleticilerin minimize edilmesi için oksijen-yakıt yanması, yanmış gazların iç devirdaimi ya da ön karışım gibi konsept ve tasarımları içeren farklı teknikler kullanarak, yanma verimi ve emisyon düşüşü açısından iyileştirme sağlamayı amaçlamaktadır. Bütün sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmış ve birçok parametreyi içeren tablolar ile sıcaklık konturları şeklinde verilmiştir. Bazı konseptlerin diğerlerinden performans ve emisyonlar açısından daha etkin olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yanma, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Endüstriyel Yakıcı, Yakıt, Emisyonlar

Abstract

Inefficient energy usage is one of the main reasons of depletion of resources at a faster rate and global warming due to the higher-level emissions, which may be also an indicator of incomplete combustion. Bulk systems or large-scale systems generally are the biggest contributors to the problems stated above.

Industrial burners are widely used in metal forming industry and the process of large-scale production of electricity. There are strict rules for both carbon and nitrogen based emissions in these sectors. Therefore, this study aims to provide an enhancement in combustion efficiency and reduction in emissions using different techniques for minimization of environmentally hazardous pollutants, which includes concepts and designs such as oxy-fuel combustion, internal flue gas recirculation (IFGR) or premixing. All the results has been compared with each other and they have given in the form of tables of various outputs and temperature contours. It has been shown that some of the concepts have greater effect than the other ones in terms of performance and emissions.

Keywords: Combustion, Computational Fluid Dynamics, Industrial Burner, Fuel, Emissions

I. INTRODUCTION

Population of the world is increasing day by day which leads to a raise in the energy demand. Recent projections reveal that energy demand will increase another 30% until 2040 despite the slowing rise in it [1]. Considering the excessive usage of the resources, there have to be many precautions and strict rules to ensure the sustainability of the situation. It is an obvious fact that in order to provide the necessary amount of energy, which increases depending on population growth and advancing technology, the systems in use must be efficient.

Energy generation sector mainly depends on the fossil fuels. And the main process is through the combustion of the fuels with an oxidizer (generally air). This process can only be sustainable if it is supported by the technological developments in certain areas related to the combustion industry. Efficiency is the key component where only limited amount of resources are available or where the regeneration of the resources is slower than the consumption [2]. Emission is the other topic which has to be considered when the sustainability is taken as an important aspect [3]. Hazardous emissions affect the environment in a bad way. All the living creatures need oxygen to stay alive and carry out the vital processes in cellular level. In order to preserve the life forms in the earth, the atmosphere and the water must be protected from the hazardous effects of the emissions emanating from the systems or devices which are the sources of pollution. Bulk systems are generally preferred by the energy production sector due to their comparably higher efficiencies such as gas turbines, industrial burners and large scale burners.

In this study, which is part of a thesis, the emission reduction techniques have been investigated in a certain scale of industrial burners, numerically. The common, well known techniques have been applied to the conventional design and the results have been compared accordingly in this study. The fuel has been chosen as a mixture of 90% methane and 10% hydrogen in molar basis. Aforementioned methods are:

- Oxy-fuel combustion
- Flue gas recirculation
- Premixing

There are many publications on combustion systems involving the efficiencies and emissions. Where some of the studies were carried out using detailed chemical mechanisms, in some others, they used reduced mechanisms or tabulated data depending on statistical calculations.

It is clearly stated in the literature that hydrogen addition enhances the combustion efficiency due to the molecule's fast burning rate and the smaller amount of oxygen for its complete combustion. It is also preferred for its cleaner nature since it is only producing H_2O as the products ideally. Moreover, the products do not contain any carbon-based compounds. On the other hand, hydrogen flame is much hotter than the fossil fuel flames. Lower heating value (LHV) of hydrogen is larger than twice of the LHV of methane. This situation creates a significant effect on thermal NO rates, which leads to higher NO emissions.

Cellek et al. [4] experimented on natural gas combustion in a low swirl burner and investigated the effects of different gas compositions which consist hydrogen and natural gas at various ratios using a CFD software. They used 2-step mechanism Eddy-Dissipation Model for the reactions. They observed a significant drop in carbon-based emissions (CO and CO_2) with hydrogen enrichment. On the other hand, NO emissions were higher due to high temperatures which leads Thermal NO mechanism to become dominant in the combustion process.

Due to high NO_x output of hydrogen combustion systems, hydrogen is not a preferred energy source in burners. However, Cappelletti et al. [5] published a paper on a gas turbine burner using hydrogen as fuel. According to the results, they confirmed the possibility to use hydrogen in such systems. Their solution is a lean premixed combustion with use of a new axial swirler and a co-flow injection. The best result they reached was 17 ppm as the lowest value of NO_x emission.

Ilbas et al. [6] investigated the non-premixed hydrogen (H_2) and hydrogen-hydrocarbon blends in a low capacity burner numerically. They examined the effects of gas composition from pure hydrogen to methane (pure H_2 , 70% H_2 +30% CH_4 , 10% H_2 +90% CH_4 , and pure CH_4) and explained that according to the results over-all NO reduction was about 20% with 25% air staging.

Yapıcı et al. [7] studied numerical simulation of the combustion of hydrogen with air, investigating the effects of equivalence ratio (ϕ) and oxygen percentage in combustion air (γ) on both combustion characteristics and production of entropy. Results had showed that the increase in ϕ reduced the level of reaction rates significantly. Moreover, the average temperature increased around 23% and 70% with the increase in ϕ (from 0.5 to 1.0) and γ (from 10 to 30%) in the chamber respectively.

Since, flashback is a serious issue when considering combustion of hydrogen, there are many studies and investigations on this topic. Among them, Syred et al. [8] published an article about flashback tendency due to the effects of hydrogen involvement in swirl burners. According to their results, the peaks of the flashback curves had the tendency to occur at lower equivalence ratios contrary to the expected just on the rich side of the stoichiometric value.

When hydrogen involved, another problem arises such as the NO_x formation due to higher flame temperatures. Bell et al. [9] carried out numerical simulations of a lean premixed hydrogen flame in a low-swirl burner with detailed chemical kinetics which also includes NO_x chemistry. Compared to both laminar flame and simulations at lower

turbulent intensities, they found out a steep increase in NO formation. They also stated that NNH pathway is the dominant for NO production, whereas the Zeldovich mechanism has a significantly smaller role, at around 20% of the total NO output.

As it comes to lean combustion, there are serious issues to take care of, such as extinction of the flame. Riahi et al. [10] published an article on the subject, which investigates the effects of the change in fuel richness (from 0.7 to 1.0), hydrogen enrichment in the fuel and oxygen enrichment of the oxidizer on the flame structure and its stability and emissions. Particle Image Velocimetry was used to observe the flame form and the dynamic changes on it as well. They stated that the enrichment in both hydrogen and oxygen have led to a stable flame. Their results also showed that the drop in the fuel richness has caused a decrease in CO and CO₂ as NO_x levels got higher.

In another study, the significance of hydrogen addition was shown in an internal combustion engine. They used diesel fuel with 10% hydrogen in its content. They stated that they achieved 5.3% increase in the peak pressure and 5.7% increase in maximum temperature. Moreover, with this application, they reduced CO, HC and CO₂ emissions. NO_x emissions on the other hand increased by 18.3%. They tried ammonia injections to decrease the NO_x rates. Since thermal NO_x mechanisms are active around 1200 K, the injection timing is critical. Another outcome of their study reveals that the increase in flow rates of ammonia causes a significant amount of excess ammonia discharge at the outlet of the system where NO_x reduction levels reach higher values [11].

II. MATERIAL AND METHOD

2.1. General Information About The Study

In this study, hydrogen combustion has been simulated using the commercial software ANSYS Fluent (version 17.2), which is based on finite volume method. CAD geometry of the original burner, which was the starting point, has been created by making some alterations in a commercial burner-furnace combinations which are already in use of many branches of the industry. Then, the other geometries have been created over the conventional geometry. Meshes have been created using the meshing tool of the same software.

Oxidation of methane with hydrogen addition (combustion of the mixture) in air ideally can be given by below equation:

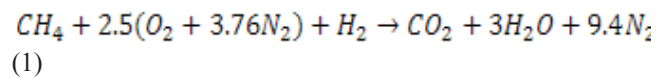


Table I. Properties of methane and hydrogen as fuel [12]

Chemical structure	Methane – CH ₄	Hydrogen – H ₂
Fuel material (feedstocks)	Underground reserves	Methanol, electrolysis of water and natural gas
Lower heating value (LHV) [kJ/kg]	47,573	119,987
Higher heating value (HHV) [kJ/kg]	52,225	141,916
Physical state	Compressed Gas	Liquid / compressed gas
Autoignition temperature [°C]	540	565.6 – 582.2

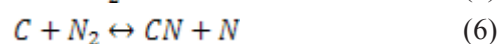
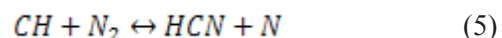
2.2. NO_x Mechanisms

Thermal NO_x, which is also called as Zeldovich Mechanism, is highly dominant in combustion where the temperatures are high. It is relatively effective over a wide range of equivalence ratios. The mechanism can be given in below chain reactions:

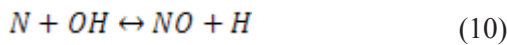
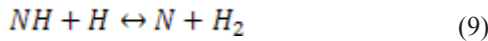
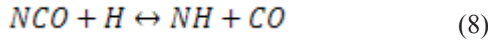
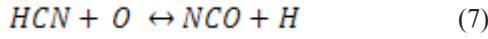


Thermal mechanism is strongly dependent on temperature due to the large value of activation energy in Eqn. 1. Therefore, it is negligible under 1800 K [13].

Prompt NO_x mechanism on the other hand, is directly relevant to hydrocarbon combustion chemistry. In the first studies of Fenimore [14] with laminar premixed flames, he observed that some portion of NO was created around flame core in rapid manner distinctively before the thermal mechanism steps in to create thermal NO. Due to its fast-paced formation, it has been named as prompt NO_x mechanism. The mechanism revolves around the reaction of the radicals of hydrocarbons with nitrogen molecule to create cyano compounds or amines. These cyano compounds and amines form into intermediate compounds, which leads to the formation of NO through series of reactions. After the formation CH radicals which is the initiation step of the mechanism. Prompt mechanism continues with [13]:



Here, Eqn. 4 is the rate limiting reaction and primary path in the process. Hydrogen cyanide (HCN) takes part in a chain reaction for the formation of NO following the sequence below:



The chemistry is more complex for the equivalence ratios higher than 1.2, which leads to other pathways and the above sequence is not rapid any longer. Moreover, the studies of Miller et al. [15] the thermal mechanism interacts with the Fenimore mechanism and inhibits the NO formation. Figure 1 shows the progress of prompt NO_x mechanism [16,17].

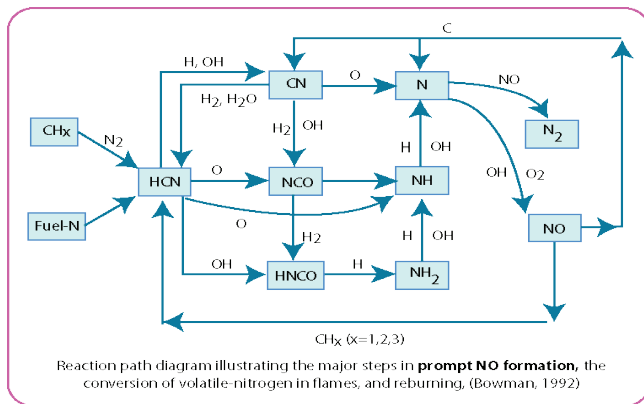
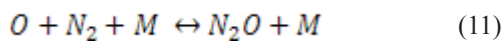


Figure 1. Prompt (Fenimore) Mechanism (NO Production)

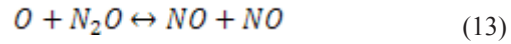
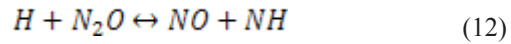
N₂O-intermediate mechanism becomes significant in lean-fuel, where equivalence ratios are below 0.8. And it is rather important at low temperature states. The steps of N₂O-intermediate mechanism are given below:



$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{u'_i u'_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = - \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\rho u_k \overline{u'_i u'_j u'_k} + \rho' (\delta_{kj} u'_i + \delta_{ik} u'_j) \right] + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u'_i u'_j}) \right] - \rho \left(\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) + p' \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) - 2\mu \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k} - 2\rho \Omega_k \left(\overline{u'_j u'_m} \epsilon_{ikm} + \overline{u'_i u'_m} \epsilon_{jkm} \right) \tag{17}$$

, or in a simplified and more explanatory way:

$$Local\ Time\ Derivate + C_{ij} = D_{T,ij} + D_{L,ij} + P_{ij} + \varphi_{ij} - \epsilon_{ij} + F_{ij} \tag{18}$$



This mechanism is dominant where lean premixed combustion concept is valid. This concept is generally used in gas turbine sector [18].

2.3. Governing Equations

Governing equations that are solved in the simulations are given below [13,19]:

- Conservation of Mass:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{14}$$

Conservation of mass corresponds to the summation of the change in density over time and the net mass flow across the boundaries of the control volume by convection.

- Conservation of Momentum:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \tag{15}$$

Conservation of momentum can be identified as the summation of the change of velocity with time and convective term on one side. It is equal to the summation of pressure gradient, diffusion term, body force term and the other source terms on the other side of the equation.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{e}) - \nabla \cdot (\rho \vec{e} \vec{v}) = \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (k \nabla T) + S_e + S_{rad} \tag{16}$$

Energy equation represents the summation of local change in the internal energy with time and convection term on the left hand side (LHS) of the equation. They equal to the summation of pressure work, diffusion (heat flux) term and irreversible mechanical energy transfer into heat on the right hand side (RHS).

- Reynolds Stress turbulence model and its transport equation is given below [20-23]:

where C_{ij} symbolize the convection term, $D_{T,ij}$ is the turbulent diffusion term, $D_{L,ij}$ equals the molecular diffusion, P_{ij} stands for production of stress, Φ_{ij} is the term for pressure strain, ϵ_{ij} is for the dissipation term and F_{ij} stands for production by system rotation. Among the terms above, only $D_{T,ij}$, Φ_{ij} , ϵ_{ij} must be modelled for the closure of equation system.

According to preliminary results, Reynolds number at the outlet boundary is around 11230 for the conventional case which makes the flow to remain in turbulent region. And, because of the significant drawbacks of linear eddy viscosity models (i.e. k- ϵ , k- ω etc.) in modelling flows with high anisotropy, RSM, which is a non-linear eddy viscosity turbulence model has been preferred.

2.4. Burner Geometries And Information About Grid Structures

The geometries in the current study consists of 45-degree slices due to their symmetricity. The conventional design is given in Figure 2. Mid-section, where the flame was assumed to be located, have been separated in order to increase the grid density on that piece. Grid structure mainly consists of hexahedral cells. In some regions where it is not possible to create hexahedral type grids, tetrahedral cells have been utilized.

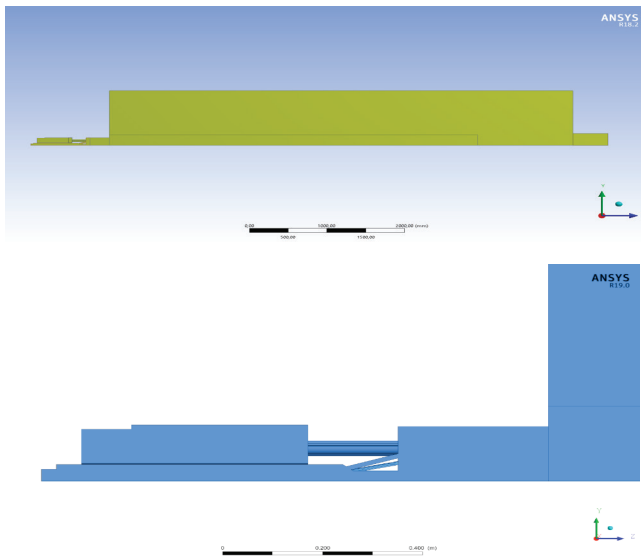


Figure 2. Conventional burner-furnace design

Grid types of all designs are the same. Therefore, only the mesh view of conventional design is given below (Figure 3).

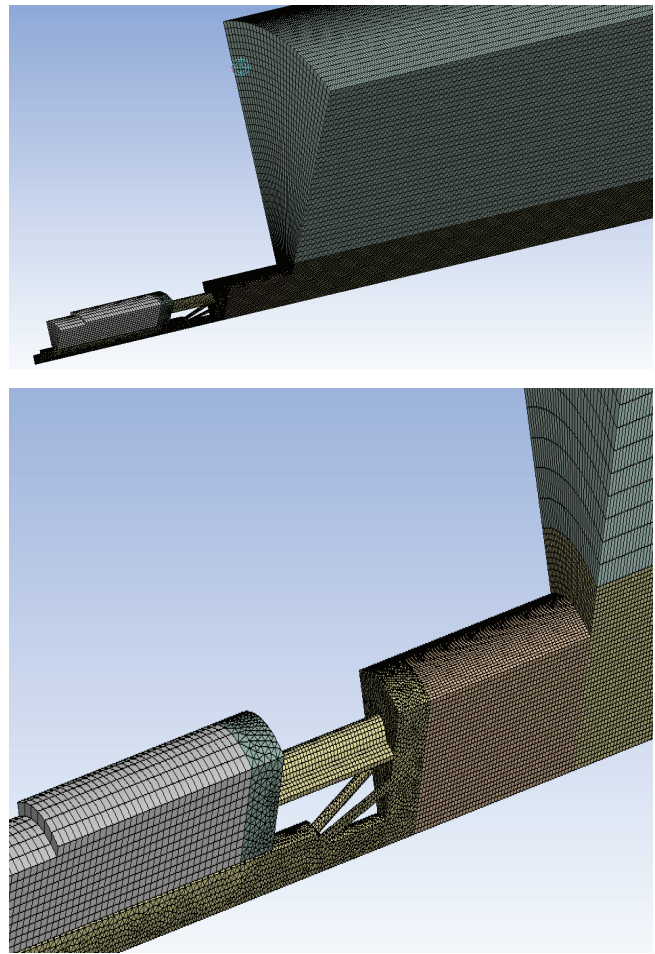


Figure 3. Grid structure of the burner body

In the second design, internal flue gas recirculation (IFGR) concept has been applied onto the existing design (conventional). With this change, the burnt mixture cannot pass directly to the chimney, instead it turns back towards the burner head then it enters the flue gas channel which is connected to the chimney. The motion of flue gases can be seen from Figure 4.

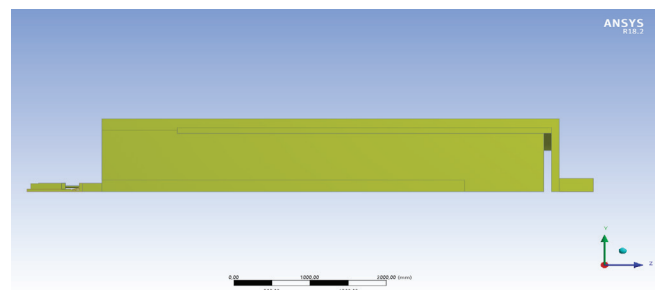


Figure 4. Design with IFGR application

Third design has been made for the investigation of effects of premixing on emissions. In Figure 5, it can be seen that there are relatively small channels which connects the passages of air and fuel.

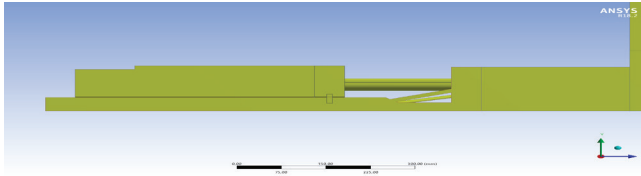


Figure 5. Closed look-up at the partially-premixed design

There is no need for a geometric adjustment for oxy-fuel concept for the observation of reduction in emissions.

Simulations have been carried out using coupled algorithm. Green-Gauss-Node-Based technique has been used for the calculation of gradients. Throughout the whole process, all parameters were solved with second order upwind and central-difference schemes for the discretization except for the radiation equation Simulation parameters and boundary conditions are given in Table 2.

Table 2. Parameters of simulation and boundary conditions

Ambient temperature [K]	300 K
Atmospheric pressure [Pa]	101,325
Flow rate of fuel [kg/s]	0.004802
Fuel inlet temperature [K]	300 K
Flow rate of air [kg/s]	0.077791 for oxy-fuel application, 0.091885 for the remaining cases
Air inlet temperature [K]	300 K
Furnace wall temperature [K]	1273
Furnace walls internal emissivity	0.8
Furnace front wall temperature [K]	1173
Equivalence Ratio	0.909091

Apart from the above information about the simulation parameters, 20% of pure oxygen has been supplied for oxy-fuel application. Therefore, air flow rate drops from 0.091885 to 0.077791 kg/s. The reason is that instead of 100% of air as oxidizer, 20% of pure oxygen and 80% of air have been used in the simulation for oxy-fuel application.

III. RESULTS AND DISCUSSION

At the beginning of the current study, mesh independency simulations for all different geometries have been carried out on five different grid densities. Table 3, Table 4 and Table 5 shows the outcome of the applications or designs.

Table 3. Some Results of the mesh independency simulations (conventional case)

Cell Count	Outlet Temperature	Outlet Velocity	Mass Frac. of NO _x
1160552	1947.3	28.9	2.35e-4
1546874	2015.1	30.1	2.97e-4
1806055	1835.0	27.8	1.44e-4
2180848	1811.9	26.3	1.54e-4
2389806	1808.7	26.0	1.47e-4

Table 4. Some Results of the mesh independency simulations (IFGR application)

Cell Count	Outlet Temperature	Outlet Velocity	Mass Frac. of NO _x
998153	1870.2	32.7	1.26e-4
1254668	1616.9	28.5	9.59e-5
1603544	1339.6	23.9	6.99e-5
1803371	1365.8	24.5	7.01e-5
2255640	1359.1	24.3	7.01e-5

Table 5. Some Results of the mesh independency simulations (Partially-premixed combustion)

Cell Count	Outlet Temperature	Outlet Velocity	Mass Frac. of NO _x
1002916	1803.2	23.8	8.30e-5
1421561	1810.2	24.0	8.30e-5
1761777	1856.3	24.4	8.51e-5
1948595	1866.8	24.5	8.64e-5
2101559	1879.5	24.7	8.66e-5

Mesh independency has been achieved for all the designs/applications as they can be seen from above tables. Since there is no geometric change in the design for oxy-fuel combustion application, there is no need for a mesh independency check for the mentioned case. The fourth grid density has been chosen for the simulations for each application, since the maximum difference between the fourth and the fifth grids in the residuals are below 5% for the evaluated entities given.

Figure 6 shows that a temperature drop in the outlet region due to the cooling effect of flue gas, passing over the flame zone, and also due to its large specific heat capacity (it contains CO₂, H₂O). By this way, average temperature at the outlet boundary, drops almost 450 K, when conventional case is compared to the IFGR application. The other techniques alone does not show a significant difference or improvement in many of the desired and important outputs.

It can easily be seen that temperature levels are a little bit high and it is due to the hydrogen addition. Moreover, it becomes even higher for oxy-fuel case, because of the pure

oxygen that has been added to the oxidizer. This situation is beneficial in some way, and questionable in other ways. The explanation of this phenomena is due to the fuel's heightened ability to mix with oxygen, thus forming a higher temperature flame. Due to the drop in the amount of air and N_2 in the oxidizer, NO_x compounds would occur at a smaller pace via prompt NO_x mechanism in the mixture through the combustion process. On the other hand, the temperature would

reach higher values which leads to thermal NO_x mechanism to gain dominance over NO_x emission pathways [24].

Averaged numerical results at the outlet boundary such as average temperature and velocity, CO, HC, H_2 and NO emissions can be found in Table 6 below for each design concept. All the emission values have been given in mass fractions.

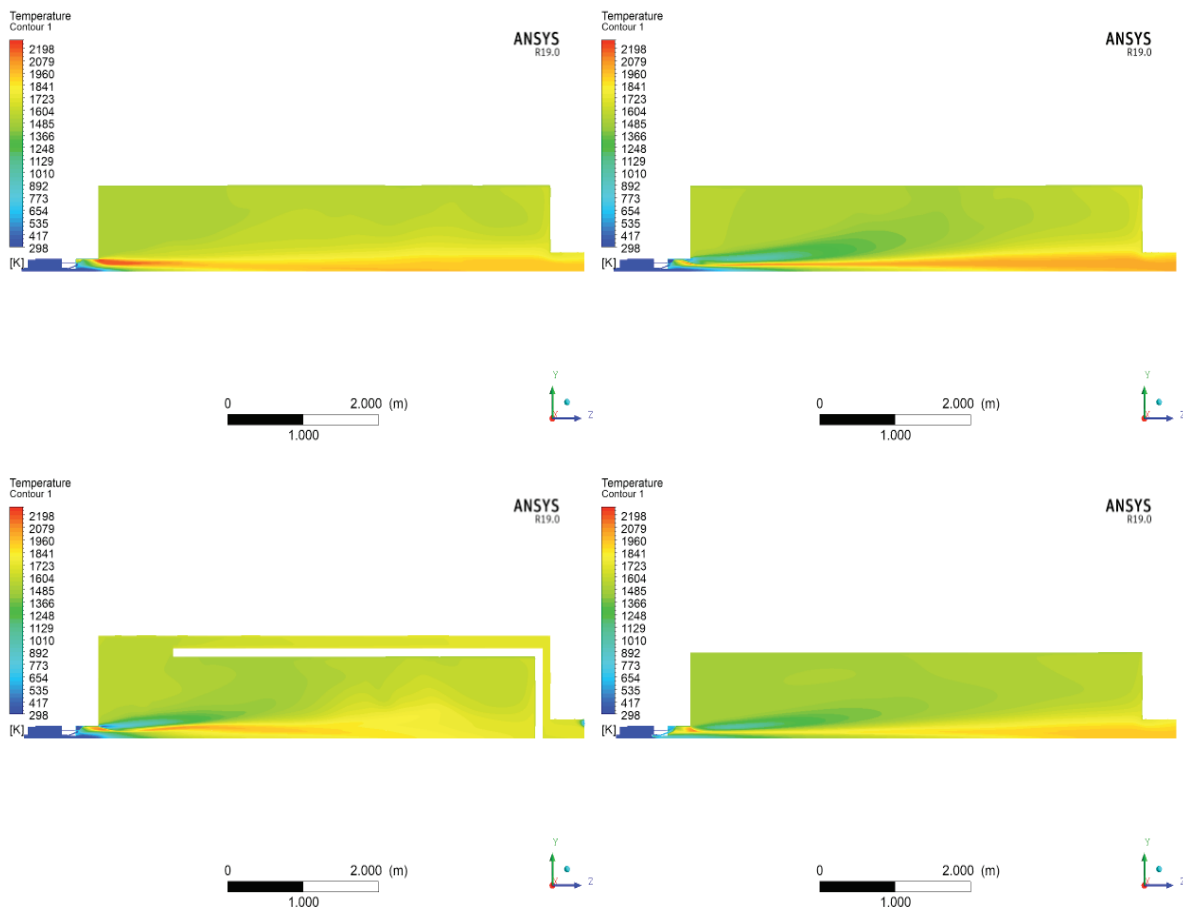


Figure 6. Temperature distribution in the burners; a) Conventional design, b) Oxy-fuel application, c) IFGR app., d) Partially-premixed design,

Table 6. Some important results from the simulations (temperature, velocity and emissions at the outlet zone)

	Conventional design	Oxy-fuel application	IFGR application	Partially – premixed design
Av. outlet temperature [K]	1866.8	1911.6	1365.8	1811.9
Av. velocity at the outlet [m/s]	27.3	23.7	24.5	26.3
Mass fraction of CO emissions from the outlet	0.005377	0.005285	0.001611	0.002111
Mass fraction of HC emissions from the outlet	0.001592	0.001502	0.000237	0.001458
Mass fraction of H_2 emissions from the outlet	0.000235	0.000219	0.000088	0.000108
Mass fraction of NO emissions from the outlet	0.000154	0.000473	0.000070	0.000086

When compared with other simulation results, IFGR application stands out as the best in terms of waste energy. This is due to its lower emissions and the amount of heat that has been lost to the environment. The average temperatures at the outlet shows that oxy-fuel application is the highest followed by conventional design, partially-premixed design and IFGR having the lowest value. This seems reasonable and it is compatible with the publications in the literature [25].

Velocities at the outlet are quite close to each other. This can be explained by the equal amount of gas feed and air supply to the system. Since, all the entries and the exits are identical, the velocities should be very similar regarding the conservation of mass law. Though, the differences can be explained by grid sensitivities since some geometries have different inner domains.

As it can be seen from the Table 6, IFGR application gives the lowest amount of CO emissions creating a 70% of reduction when compared with the conventional burner. When the results of burner with partially-premixed design is analyzed, the CO emission reduction can be seen as 60%. However, these reduction in CO emission levels were not obtained when oxy-fuel design was implemented to a conventional burner. The reduction efficiency is only 17% when compared with conventional one (Table 6).

The same behavior of design effect was seen for the unburnt hydrocarbon emissions. Same as the CO emission reduction, IFGR design again resulted in with more effect. Burner with IFGR has the lowest value in unburnt hydrocarbon emissions. Thus, this design had the highest effect on unburnt HC emission reduction with a rate of 85% when compared with conventional burner. On the other hand, there is no significant difference between the other three cases.

As can be seen in Table 6, when all the above mentioned emissions and H_2 emissions are compared, the same performance in design is obtained. Conventional and the oxy-fuel applications design, which are very close to each other in H_2 emissions, stand out to be the worst in this category. Thus, it can be stated that oxy-fuel applications design needs to be coupled with other designs to improve its effect. Once more the effect of IFGR application became the best concept design among others having 62% of reduction rate in the emissions. When the effect of partially-premixed design is compared for emission reductions of H_2 and unburnt hydrocarbon, the best performance was achieved in reducing H_2 emissions.

NO_x emission values has shown that IFGR is on the top. Then, partially-premixed design had the second highest NO_x emission values. These results were expected. Since, the rise

in oxy-fuel application compared to the conventional burner design had found to have higher flame temperatures. When combustion is realized with higher flame temperatures, Zeldovich mechanism [26] gets enabled forming a pathway that becomes dominant in NO_x formation.

IV. CONCLUSION

In the current study, numerical simulations have been carried out to investigate the effects of different concepts/applications on emission levels of a certain scale/type burner-furnace design. Equivalence ratio, fuel composition and cross-sectional areas of the outlet, the air and fuel inlet were kept constant. Thus, only concerns about the effects of the changes in operation type such as partial-premixing or oxy-fuel combustion system could be analyzed in detail.

Simulation results have shown that significant amount of improvement can be achieved using mentioned techniques above. The biggest difference in average outlet temperature found to be reaching up to 500 K when conventional and IFGR applications were compared. On the other hand, other concepts have appeared to be less effective on their own in reducing the heat loss from the chimney of the burner.

Burner with flue gas recirculation technique has provided the best possible option in emission discharge when compared with other techniques investigated in this study. However, many more design alternatives, such as combined techniques, can be investigated to create more thermally efficient and less pollutant burner.

With the state-of-the-art technologies on burner and furnace designs and integrating them together in an optimized design, the results obtained in this study can be improved. Thus, a parametric study will be carried out in the future.

V. REFERENCES

- [1] International Energy Agency, World Energy Outlook, <https://www.iea.org/weo2017/>, (May 2018).
- [2] Hatfield-Dodds, S., Schandl, H., Newth, D., Obersteiner, M., Cai, Y., Baynes, T., ... Havlik, P. (2017). Assessing global resource use and greenhouse emissions to 2050, with ambitious resource efficiency and climate mitigation policies. *Journal of Cleaner Production*, 144, 403-414.
- [3] Fernando, Y., & Hor, W. L. (2017). Impacts of energy management practices on energy efficiency and carbon emissions reduction: A survey of Malaysian manufacturing firms. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 62-73.
- [4] Celtek, M. S., & Pınarbaşı, A. (2018). Investigations on performance and emission characteristics of an industrial low swirl burner while burning natural gas, methane, hydrogen-enriched

- natural gas and hydrogen as fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(2), 1194-1207.
- [5] Cappelletti, A., & Martelli, F. (2017). Investigation of a pure hydrogen fueled gas turbine burner. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 10513-10523.
- [6] Ilbas, M., Yilmaz, I., Veziroglu, T. N., & Kaplan, Y. (2005). Hydrogen as burner fuel: Modelling of hydrogen-hydrocarbon composite fuel combustion and NO_x formation in a small burner. *International Journal of Energy Research*, 29(11), 973-990.
- [7] Yapici, H., Baştürk, G., Kayataş, N., & Albayrak, B. (2006). Effect of oxygen fraction on local entropy generation in a hydrogen-air burner. *Heat and Mass Transfer*, 43, 37-53.
- [8] Syred, N., Abdulsada, M., Griffiths, A., O'Doherty, T., & Bowen, P. (2012). The effect of hydrogen containing fuel blends upon flashback in swirl burners. *Applied Energy*, 89(1), 106-110.
- [9] Bell, J. B., Day, M. S., & Lijewski, M. J. (2013). Simulation of nitrogen emissions in a premixed hydrogen flame stabilized on a low swirl burner. *Proceedings of the Combustion Institute*, 34(1), 1173-1182.
- [10] Riahi, Z., Bounaouara, H., Hraiech, I., Ali Mergheni, M., Sautet, J.-C., & Ben Nasrallah, S. (2017). Combustion with mixed enrichment of oxygen and hydrogen in lean regime. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(13), 8870-8880.
- [11] Lamas, M. I., & Rodriguez, C. G. (2017). Numerical model to analyze No_x reduction by ammonia injection in diesel-hydrogen engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(41), 26132-26141.
- [12] U.S. Department of Energy (DOE), Alternative Fuels Data Center, https://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_properties.php, (May 2018).
- [13] Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: concepts and applications*. 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, U.S.A., p. 170-174.
- [14] Correa, S. M., & Smooke, M. D. (1991). No_x in parametrically varied methane flames. *Symposium (International) on Combustion*, 23(1), 289-295.
- [15] Miller, J. A., & Bowman, C. T. (1989). Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 15(4), 287-338.
- [16] Baukal Jr, C. E. (2013). *The John Zink Hamworthy Combustion Handbook, Design and Operations (Vol. 2)*, 2nd Edition, CRC Press, Florida, U.S.A..
- [17] Zevenhoven, R., & Kilpinen, P. (2001). *Control of Pollutants in Flue Gases and Fuel Gases*. 1st Edition, Espoo: Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.
- [18] Bachmaier, F., Eberius, K. H., & Just, T. (1973). The Formation of Nitric Oxide and the Detection of HCN in Premixed Hydrocarbon-Air Flames at 1 Atmosphere. *Combustion Science and Technology*, 7(2), 77-84.
- [19] Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A., & Zhou, X. Y. (2007). A review of numerical modeling of solid oxide fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy*, 32(7), 761-786.
- [20] Craft, T. J., Launder, B. E., & Suga, K. (1996). Development and application of cubic eddy viscosity model of turbulence. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 17, 108-115.
- [21] Hanjalić, K., & Launder, B. (2011). *Modelling turbulence in engineering and the environment: second-moment routes to closure*. 1st Edition, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- [22] Launder, B., Reece, G., Rodi W. (1975). Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure. *Journal of Fluid Mechanics*, 68(3), 537-566.
- [23] Rotta J. (1951). Statistische Theorie nichthomogener Turbulenz. *Zeitschrift für Physik*, 129(6), 547-572.
- [24] Scheffknecht, G., Al-Makhadmeh, L., Schnell, U., & Maier, J. (2011). Oxy-fuel coal combustion—A review of the current state-of-the-art. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 16-35.
- [25] Yu, B., Kum, S.-M., Lee, C.-E., & Lee, S. (2013). Study on the combustion characteristics of a premixed combustion system with exhaust gas recirculation. *Energy*, 61, 345-353.
- [26] Flagan, R. C., & Seinfeld, J. H. (2012). *Fundamentals of air pollution engineering*. 1st Edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, U.S.A.

Türkiyenin Değişen İkliminde Isıtma ve Soğutma Gün Derecelerinin Gelecek Projeksiyonları

Future Projections of Heating and Cooling Degree Days in a Changing Climate of Turkey

Nazan AN^{1,2} , MustafaTufan TURP^{1,2} , Abdullah AKBAŞ^{2,3} , Ömer ÖZTÜRK⁴ 
Mehmet Levent KURNAZ^{*2,5} 

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 34342, İstanbul, Türkiye

² Boğaziçi Üniversitesi, İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34342, İstanbul, Türkiye

³ Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 75000, Ardahan, Türkiye

⁴ Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 06560, Ankara, Türkiye

⁵ Boğaziçi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul, Türkiye

Öz

İklim değişikliğinin etkisiyle ısıtma ve soğutmaya bağlı gelecekteki enerji talebi ihtiyacında oluşabilecek değişikliklerin öngörülmesinde gün derecelerinden faydalanılması en pratik yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada günümüzdeki gibi yoğun sera gazı emisyonunu içeren RCP8.5 senaryosuna göre Türkiye’de iklim değişikliğiyle birlikte gelecekte ısıtma ve soğutma gün derecelerinde nasıl bir değişim olacağı öngörülmüştür. Bu amaçla RegCM bölgesel iklim modeli kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü sıcaklık değerleri ile hesaplanan ısıtma ve soğutma gün derece değerleri 2016-2035 ve 2046-2065 gelecek dönemleri için 1981-2000 referans dönemine göre kıyaslanmıştır. Buna göre, ısıtma gün derece sayılarında tüm ülke genelinde bir azalma ve soğutma gün derece sayılarında ise genel olarak bir artış olacağı öngörülmüştür. Isıtma gün derece sayılarındaki bu azalmanın ve soğutma gün derece sayılarındaki bu artışın 2046-2065 döneminde 2016-2035 dönemine kıyasla daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucuna göre, seçilen iller kapsamında ısıtma gün derecelerinde her iki gelecek periyodu için en fazla azalış olacağı öngörülen iller sırasıyla; Sivas, Kayseri, Kahramanmaraş ve Mersin; soğutma gün derecelerinde en fazla artış olacağı öngörülen iller sırasıyla; 2016-2035 gelecek periyodu için Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Manisa; 2046-2065 gelecek periyodu için Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana ve Hatay olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sıralamada dikkat çeken nokta, soğutma gün derecesinde 2016-2035 gelecek periyodunda en fazla artışın öngörüldüğü dördüncü il olan Manisa’nın yerine 2046-2065 gelecek periyodunda Hatay’ın yer almasıdır. Ayrıca, bu çalışma, Türkiye için en yüksek çözünürlüklü iklim model çıktılarını kullanarak ısıtma ve soğutma gün derecelerindeki muhtemel değişimleri araştıran ilk çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Isıtma ve soğutma gün dereceleri, İklim değişikliği, Türkiye için iklim projeksiyonları, İklim modellemesi.

Abstract

Climate change and possible changes in the severity and frequency of related extreme climate events are expected to affect future energy demand. These changes indicate warmer and cooler climatic conditions. Warmer or cooler climates will bring about changes in warming and cooling needs as well. Accordingly, it is one of the most practical methods to take advantage of the degree days to foresee the possible changes in the future energy demand depending on heating and cooling due to the effects of climate change. More extreme temperatures or extreme colds mean a higher number of degree days. The higher the number of degree days, the more heat is needed to warm up or cool down somewhere. In this sense, it is important to reduce the energy consumption costs and obtain the maximum benefit by managing the environmental problems related to the energy consumption correctly. The correct estimation of the future energy demand and developing adaptation strategies to changing energy demand are related to the most accurate prediction of climate change relevant heating and cooling needs. In this study, it is projected that how the heating and cooling degree days in Turkey will covary with climate change under the RCP8.5 scenario, which consists in intense greenhouse gas emissions as it is today. For this purpose, the heating and cooling

degree days calculated using the high resolution temperature values obtained from the RegCM regional climate model are compared for the future periods of 2016-2035 and 2046-2065 with respect to the reference period of 1981-2000. The climate outputs of the MPI-ESM-MR global circulation model, which is developed and run by the Max Planck Institute of Meteorology in Germany, are dynamically downscaled from approximately 139 km horizontal resolution to 10 km horizontal resolution via RegCM4.4 using double-nested technique. In the study, the base temperature for the heating degree day is taken as 18 °C and for the cooling degree day as 24 °C. Consequently, it is found that the number of heating degree days will decrease in the whole country, whereas the number of cooling degree days will generally increase. The decrease in the number of heating degree days is much more apparent in high altitudes. The reduction in heating degree days and the rise in cooling degree days will also be higher in the period of 2046-2065 rather than in the period of 2016-2035. According to the result of the study, the utmost decrease in the heating degree days will be seen in Sivas, Kayseri, Kahramanmaraş, and Mersin for both future periods in terms of chosen provinces. For the period of 2016-2035, the highest increase in the cooling degree days will be occurred in Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, and Manisa respectively, whereas the maximum increase in the cooling degree days will be experienced in Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, and Hatay for the period of 2046-2065. The most remarkable point here is that Hatay is ranking as the fourth in the period of 2046-2065 instead of Manisa, which has the fourth highest increase in cooling degree days during the period of 2016-2035. In the scope of the study, four different groups are categorized as tourism region (province basis), industrial region (province basis), top 6 provinces with the highest migration and top 10 most populous provinces. The results are also analyzed for these categories. In the industrial region and the most populous provinces categories, the maximum reduction in heating degree days will be in Konya for the period of 2016-2035 and in Ankara for the period of 2046-2065. In the category of the most migration-receiving provinces, the most likely decrease in heating degree days for both future periods will be in Ankara, while the most significant decrease in heating degree days for both future periods will be in Sivas in the category of tourism region. Similarly, when the changes in cooling degree days are examined for each category, it is projected that the maximum increase in cooling degree days will occur in Manisa for both future periods in the industrial region category. In the most populous provinces and tourism region categories, the maximum increase in cooling degree days will be in Şanlıurfa for both future periods. The highest increase in cooling degree days will also occur in İzmir for both future periods in the most migration-receiving category. To summarize, study results indicate that a warmer temperature normal in Turkey will be very likely experienced in the future. At this point, assessment of the projected changes in degree days are very crucial because the indicators such as heating degree days and cooling degree days are used in energy planning and they give decisive support to construction decisions as well. They also provide information to determine the mitigation strategies between climate and energy use. Hence,

the measures to be taken for this aim are very critical both in terms of energy saving and the sustainability of the cities due to the buildings. In addition, this study is the first research which investigates the prospective changes in heating and cooling degree days using the highest resolution climate model outputs for Turkey.

Keywords: Heating and cooling degree days, Climate change, Climate projections for Turkey, Climate modeling.

I. GİRİŞ

İklim değişikliği ve buna bağlı aşırı iklim olaylarının şiddeti ve yoğunluğunda yaşanması muhtemel değişimlerin gelecekte enerji talebini etkilemesi beklenmektedir. Bu değişimler daha sıcak ve daha soğuk iklim koşullarına işaret etmektedir. Daha sıcak ya da daha soğuk iklim koşulları, ısınma ve soğutma ihtiyaçlarındaki değişikliği de beraberinde getirecektir.

İklim değişikliğinin kısa vadede yaratacağı etkilere tüketicilerin vereceği davranışsal tepki ve uzun vadedeki değişime göstereceği uyumun gelecekte enerji tüketimini etkilemesi beklenmektedir [1]. Daha sıcak iklim koşullarında yaşayan tüketiciler, ısıtma ve soğutma ihtiyacında doğalgaz ya da petrol kullanımından ziyade elektrik kullanmayı tercih etmektedirler. Bir başka deyişle, daha sıcak iklimin hakim olduğu yerlerde hem kurumlar hem de haneler ısıtma ve soğutmada elektrik kullanmaktadır [2]. Bu nedenle, bu bölgelerde yaşayan tüketicilerin ısıtma ya da soğutma ihtiyacındaki artış gelecekte enerji talebini etkileyecektir. İklim değişikliğine bağlı kış aylarında havaların aşırı soğuması ve yaz aylarında aşırı ısınması enerji tüketimini arttırmakta, bu artışa bağlı olarak hane halkı ya da kullanıcı ısınma maliyetleri de artmaktadır. Enerji maliyetlerindeki bu artıştan ne kadarının iklim kaynaklı olduğunun tespit edilebilmesi ancak gün derece hesaplamaları yardımıyla yapılabilmektedir. Gün dereceleri hesaplanırken baz sıcaklık (ASHRAE'ye [3] göre baz sıcaklıklar denge noktası sıcaklıkları olarak da isimlendirilmektedir) ile dış sıcaklık karşılaştırılmaktadır. Sıcak günler soğutma gün dereceleri hesaplanırken, soğuk günler ise ısıtma gün dereceleri hesaplanarak dikkate alınmaktadır. Daha fazla aşırı sıcaklık ya da aşırı soğukluk daha yüksek sayıda gün derecesi anlamına gelmektedir. Daha yüksek sayıdaki gün derecesi de bir yerin ısıtılması ya da soğutulmasında daha fazla enerji tüketilmesi ihtiyacı doğurur. Bu anlamda enerji tüketimine bağlı çevresel sorunların doğru yönetilmesiyle enerji tüketim maliyetlerinin düşürülmesi ve maksimum faydanın elde edilmesi gelecek enerji talebi açısından önemlidir. Gelecek enerji talebinin doğru tahmin edilmesi ve karşılanabilmesi iklim değişikliği kaynaklı ısıtma ve soğutma ihtiyacının en doğru şekilde öngörülmesiyle ilişkilidir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, geçmişteki enerji kullanım eğilimini incelemeye kullanılan [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] en temel ve pratik yöntem olarak karşımıza çıkan ısıtma ve soğutma gün derecelerinden gelecekteki enerji talebini öngörmede de yararlanılmaktadır [13, 14, 15, 16, 17, 18]. Matzarakis ve Balafoutis [7], çalışmalarında günlük minimum ve maksimum sıcaklıkları kullanmış ve denge noktası sıcaklık değerini 14 °C olarak dikkate almıştır. Christenson vd. [6] ise İsviçre için aylık sıcaklık verisi kullanarak iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışının gün derece ve binalardaki ısıtma üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sailor [19], enerji tüketimini iklimsel koşullara göre daha iyi temsil eden nüfusa göre ağırlıklandırılmış iklim verisi kullanarak hava sıcaklıklarındaki değişimlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin gün dereceleri ile ilişkisini değerlendirmiştir. Pardo vd. [20] ve Valor vd. [21] yaptıkları çalışmalarda hava sıcaklıklarındaki değişimlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemiş ve gün dereceleri ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Pardo vd. [20], İspanya’da enerji talebi ile hava koşulları arasındaki ilişkiye bakmış, ısıtma ve soğutma gün derecelerine bağlı günlük enerji yükünü tahmin etmişlerdir. Valor vd. [21], yine İspanya’da ağırlıklı nüfus sıcaklık indeksi kullanarak enerji yükü ile günlük hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve doğrudan etkiye dikkat çekmişlerdir. Martinaitis [22], gün derece hesaplamasına yönelik çalışmasında, ısıtma sezonu için kümülatif hava sıcaklığı süre fonksiyonu metodu kullanmış ve bu fonksiyona ısıtma sezonu için gerekli limit sıcaklık değerlerini ekleyerek binaların yaşam döngüsüne bağlı enerji tüketim sorunlarının çözümüne yönelik bir metod ortaya koymuştur. OrtizBeviá vd. [23] tarafından İspanya’da nüfus ağırlıklı sıcaklık indeksi baz alınarak ısıtma ve soğutma gün derecelerinin evsel enerji talebi üzerindeki etkisine bakılmış, ısıtma ve soğutma gün dereceleri değişimleri incelenmiştir.

Benestad [15], iklim değişikliğinin ısıtma ve soğutma gün derecelerine etkisini istatistiksel ölçek küçültme metoduyla içlerinde Adana, Ankara ve İstanbul’un da bulunduğu Avrupa’daki çeşitli şehirler için incelemiştir. IPCC’nin bir önceki senaryo setlerinden biri olan A1B senaryosuna göre yapılan analizde, Avrupa’nın genelinde 2021-2050 ve 2071-2100 dönemlerinde 1961-1990 referans dönemine kıyasla ısıtma gün derece sayısında azalma ve soğutma gün derece sayısında ise bir artış eğilimi olacağı sonucuna varılmıştır.

Wang ve Chen [18], Amerika Birleşik Devletleri’nde farklı yerleşim alanlarındaki binaların enerji tüketimlerine ilişkin yaptıkları öngöründe düşük (B2), yoğun (A2) ve çok yoğun (A1FI) sera gazı salım senaryolarını dikkate almışlardır. İklim değişikliğinin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin yapıların özelliklerine göre farklılık gösterdiği belirtilmiş ve

gelecekte farklı iklim alanına göre bazı yerleşim yerlerinde (Miami, Houston, Atlanta, Baltimore vs.) kaynak enerji kullanımında net artış beklenirken, bazı yerlerde (Madison, Portland, Minneapolis) ise azalma olacağı ifade edilmiştir.

Büyükalaca vd. [5] tarafından Türkiye’deki istasyon verilerinden faydalanılarak 14 yıllık bir zaman dilimi (1981-1995) için farklı denge noktası sıcaklık değerlerini dikkate alarak il bazında yıllık ısıtma ve soğutma gün derecelerini hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre, 24 °C’lik denge noktası eşik olarak alındığında soğutma gün derece sayısı en yüksek il Şanlıurfa olurken (665 gün derece), bu değer Kars ve Ardahan illerinde 0 olarak tespit edilmiştir. 18 °C’lik denge noktası sıcaklığına göre ısıtma gün derece sayısı en yüksek il Ardahan olurken (5137 gün derece), ısıtma gün derece sayısı en düşük il ise İskenderun olarak belirtilmiştir (690 gün derece). Benzer bir diğer çalışmada Dombaycı [8] Türkiye’deki 79 il merkezindeki istasyonlara ait minimum ve maksimum sıcaklık verilerini kullanarak farklı denge noktası sıcaklıklarına göre 1985-2005 dönemi için ısıtma ve soğutma gün derecelerini hesaplamıştır. Örneğin; 24 °C’lik denge noktasına göre en fazla soğutma gün derece sayısı Şanlıurfa’da görülürken (761 gün derece), en az soğutma gün derece sayısı ise Ardahan olarak bulunmuştur (12 gün derece). 17.5 °C’lik denge noktasına göre en fazla ısıtma gün derece sayısı Ardahan ilinde gözlemlenirken (4581 gün derece), en az ısıtma gün derece sayısı görülen il ise Mersin olmuştur (783 gün derece). Son olarak Coşkun vd. [24] tarafından iklim değişikliğinin Türkiye’deki enerji tüketimine etkisi gelecekteki üç farklı dönem için (2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2098) araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada HadGEM2-ES küresel iklim modeli, RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak iki farklı senaryo için (RCP4.5 ve RCP8.5) 20 km’lik bir çözünürlüğe indirgenmiş ve ısıtma gün derece ile soğutma gün derece değerlerinin hesaplanmasında buradan elde edilen ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Coşkun vd. [24], ısıtma gün derecelerinin hesaplanmasında ısıtma eşik değeri olarak 15 °C’yi ve soğutma gün derecelerinin hesaplanmasında soğutma eşik değeri olarak 22 °C’yi seçmişlerdir. Mevsimsel ve yıllık analiz sonuçlarına göre iklim değişikliğine bağlı olarak Türkiye’de ısıtma gün derecelerinde azalış, soğutma gün derecelerinde ise artış olacağı öngörülmüştür. Özellikle yaz aylarındaki soğutma ihtiyacının daha fazla artacağı görüldüğünden yaz mevsiminde ülkemizde soğutma amaçlı enerji tüketiminde de bir artış beklenebileceği belirtilmiştir.

Türkiye’nin nüfusunun 2023 yılında 84.2 milyona ulaşacağı ve 2050 yılında ise en yüksek seviye olan 93.4 milyona erişeceği tahmin edilmektedir [25]. Dolayısıyla artan nüfusa bağlı olarak zaten artması öngörülen enerji talebinin iklim değişikliğiyle beraber bu artışa nasıl etkide

bulunacağı da enerji planlamalarında dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliğinin etkilerine yönelik alansal ve zamansal değişimleri istatistiksel ve dinamik ölçek küçültme yaklaşımlarıyla öngören çalışmalar [26, 27, 28, 29] özellikle önem arz etmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışma Türkiye için bu zamana kadar elde edilen en yüksek çözünürlüklü (10 km) bölgesel iklim modeli verisini kullanarak yoğun sera gazı salımına devam edilmesi halinde (RCP8.5 senaryosu) yakın ve orta gelecekte (2016-2035 ve 2046-2065) ısıtma ve soğutma gün derecelerinde nasıl bir değişiklik olacağını incelemektedir. Ayrıca daha önceki çalışmalardan farklı olarak bölgesel iklim modeli RegCM'in daha güncel versiyonu (RegCM4.4) ve farklı küresel iklim modeli (MPI-ESM-MR) girdisi kullanılmıştır.

II. VERİ VE METODOLOJİ

Bu çalışmada iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekteki ısıtma ve soğutma gün derecelerinin hesaplanabilmesi için bölgesel iklim modelinden faydalanılmıştır. Bu bağlamda İtalya'da bulunan Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics-ICTP-) tarafından geliştirilmiş ve adı RegCM olan bölgesel iklim modelinin 4.4 kodlu versiyonu düşük çözünürlüklü iklim verisinden daha yüksek çözünürlüklü iklim verisi elde etmede kullanılmıştır [30]. İlk olarak Almanya'daki Max Planck Meteoroloji Enstitüsü'nün geliştirip çalıştırdığı ve yaklaşık 139 km'lik yatay çözünürlüğe sahip MPI-ESM-MR küresel dolaşım modelinin [31] hem geçmiş hem de RCP8.5 senaryosuna göre elde edilmiş iklim çıktıları, RegCM4.4 bölgesel iklim modelinde başlangıç ve sınır koşullarını oluşturarak Türkiye ve çevresi için önce 50 km'lik yatay çözünürlüğe dinamik olarak küçültülmüş ve sonrasında buradan elde edilen çıktılar RegCM4.4 modeline başlangıç ve sınır koşulları olarak verilmek suretiyle ikinci kez model çalıştırılarak Türkiye için 10 km'lik bir yatay çözünürlüğe dinamik olarak ölçeklendirilmiştir. Modelin parametrisasyonu ve geçerlilik sınamaları Turp vd. [28] tarafından yapılan çalışmada belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan RCP8.5 senaryosu [32], Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin en güncel iklim değişikliği senaryolarından biri olup, iklim değişikliği çalışmalarında genel olarak kötümser senaryoyu (literatürde business as usual olarak yer alır-BAU) temsil eder. RCP8.5 senaryosu yoğun sera gazı salımını göz önüne alarak atmosferik CO₂ seviyesinin bu yüzyılın sonunda yaklaşık 936 ppm değerine ulaşacağını öngörür [33].

2.1. Isıtma ve Soğutma Gün Derecelerinin Hesaplanması

2.1.1. Kavramların tanımlanması

Binalardaki ısıtma ya da soğutma sistemlerinde ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanması, tüketilen enerji miktarı hava koşullarına bağlı değişiklik gösterdiği için diğer enerji tüketimlerine göre biraz daha karmaşık olmaktadır. Her bir saatlik ısıtma ya da soğutma için ne kadar enerji tüketilmesi gerektiği iklimsel koşullardan etkilenmektedir. İklim değişikliği kaynaklı sıcaklık ortalamalarındaki artış ya da aşırı sıcak ve soğuk dalgaları gibi aşırı hava olaylarının da binalardaki ısıtma ve soğutmaya bağlı enerji ihtiyacı üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Dışarıyı ısındıkça ya da soğudukça binaların soğutulması ve ısıtılması için gerekli olan saat başına enerji tüketimi artmaktadır. Soğuk iklim koşullarında yer alan bölgelerde binaların ısıtılması için gerekli enerji, sıcak iklim koşullarındaki bölgelere göre daha fazladır. Örneğin; Portekiz'de 100 m²'lik bir meskeni ısıtmak için yıllık 16 kWh/m²'lik enerji gerekirken, Polonya'da aynı büyüklükte bir mesken için Portekiz'dekinin 10 katı kadar (160 kWh/m²) enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır [34]. Ayrıca gün içinde gece ile gündüz sıcaklık farkları gibi farklı saatlerde farklı sıcaklık dereceleri ortaya çıkmakta, buna bağlı olarak dış sıcaklık aynı lokasyonda da zaman içinde değişiklik göstermektedir. İnsanlar dışarının sıcaklığının değişmesine bağlı binaların içindeki ısıyı ortalama bir ısıda sabit tutmaya çalışırlar. Isıtma ve soğutma gün derecesi de tüm bunları sayısal olarak hesaplamak için kullanılan basit bir yöntemdir. Dolayısıyla, herhangi bir gün, hafta, ay ya da yılda bir binanın ısıtılması ya da soğutulması için gerekli olan enerji miktarı herhangi bir gün, hafta, ay ya da yılda ısıtma ya da soğutma gün derece sayısı ile doğrudan orantılıdır.

Bu hesaplamalar yapılırken bazı tanım ve kavramların iyice anlaşılması gerekmektedir ve bu kavramlar aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

Gün derecesi: Gün derecesi verisi belirli bir dönem ya da belirli bir sezonda iklimsel değişime göre, ısıtma ya da soğutma ihtiyaçlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Gün dereceleri üç ayrı sınıfta kategorilendirilmektedir: ısıtma gün derecesi, soğutma gün derecesi ve büyüme (yetişme) gün derecesi.

Gün derece hesaplamaları aşağıda yer alan zaman parametreleri kapsamında hesaplanabilmektedir [35].

- Ortalama saat dereceleri, saatlik sıcaklık gözlem değerleri
- Günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar
- Günlük ortalama sıcaklıklar
- Aylık standart sapma ve aylık ortalama sıcaklıklardan aylık gün derece hesaplamaları

Nüfusa göre ağırlıklandırılmış gün derecesi: Gün derecesi verisi bir bölgedeki enerji tüketimini tahmin etmek için nüfusa göre ağırlıklandırılabilir. Bunu hesaplayabilmek için örneğin bir ülke içinde her bir bölge için gün derecesi o bölge için belirlenen nüfus ağırlığı ile çarpılmaktadır. Birçok bilimsel çalışma nüfusa göre ağırlıklandırılmış gün derecesini kullanmaktadır [36].

Denge noktası sıcaklığı (Baz sıcaklık): Denge noktası sıcaklığı, kış aylarında bir yerin ısıtılması için ihtiyaç duyulan en düşük sıcaklık olarak, yaz aylarında ise bir yerin soğutulması için gerekli olan en yüksek sıcaklık olarak ifade edilmektedir.

Yaz ve kış aylarında ısıtma ve soğutmaya bağlı gün derecelerinden yararlanılarak enerji ihtiyacı hesabı yapılırken denge noktası sıcaklığının [3] doğru belirlenmesi çok önemlidir. Isıtma ve soğutma gün derecelerinin denge noktası sıcaklığından yararlanılarak nasıl hesaplandığı aşağıda örneklenilerek açıklanmıştır.

Denge noktası sıcaklığı karmaşası: Denge noktası konusundaki en büyük yanlış algı, standart bir denge sıcaklığının bulunduğu yönündedir. Ancak bu doğru olmadığı için gün dereceleri hesaplanırken denge noktası sıcaklığının doğru belirlenmesi çok önemlidir. Denge noktası sıcaklıkları bir yerden bir yere değişiklik gösterebilir. Örneğin; bir ana sunucu bilgisayar alanının bulunduğu yerin yeterince serin olması gerektiğinden denge noktası sıcaklığı bir ofisinkinden farklıdır ya da kış aylarında kapalı bir havuzun bulunduğu yerdeki, bir fabrika daki ya da bir evdeki denge noktası sıcaklığı birbirine göre farklılık göstermektedir. Doğal olarak bu farklılık enerji tüketimine de farklı yansımaktadır. Bu nedenle gün derecesi hesaplanırken kullanılacak olan denge noktası sıcaklığı belirlenirken alanın kullanım amacı, büyüklüğü, yapısı, içinde bulunan ekipmanlar da dikkate alınmalıdır. Bir yerin iklimsel farklılığı bize doğru denge sıcaklığını bulmamızda yardımcı olur ve bu sayede ne kadar bir enerji ihtiyacının bulunduğu öngörülebilir.

Isıtma gün derecesi (IGD – heating degree days-HDD): Isıtma gün derecesi bir binanın ısıtılması için gerekli olan enerji ihtiyacının tespit edilmesi için kullanılan bir ölçümdür. Bu ölçümleme yapılırken dış sıcaklıktan ve denge noktası sıcaklığından yararlanılmaktadır. Bir başka deyişle ısıtma gün derecesi, dışarının sıcaklığı denge noktası sıcaklığının altına düşmesi durumunda hesaplanmaktadır [37, 38].

Soğutma gün derecesi (SGD-cooling degree days-CDD): Soğutma gün derecesi de ısıtma gün derecesinin tam tersi şeklinde yorumlanabilir. Açıklamak gerekirse dışarının sıcaklığının belirli bir derecenin üzerinde olması durumunda (denge noktası sıcaklığı) içerinin soğutulma ihtiyacının belirlenmesi için başvurulan yöntem olarak ifade edilmektedir.

Bir başka deyişle ısıtma gün derecesinin tersine soğutma gün derecesi dışarının sıcaklığının denge noktası sıcaklığının üstüne çıkması durumunda hesaplanmaktadır [37, 38].

2.1.2. Gün derecesi hesaplamaları

Isıtma gün derecesi (IGD): Kış aylarında enerji tüketimi öngörüsü hesabı yapılırken yukarıda belirtildiği üzere öncelikle doğru denge noktası sıcaklığı belirlenmektedir. Denge noktası sıcaklığı belirlendikten sonra, bu sıcaklıktan ölçülmüş olan dış sıcaklık çıkartılarak ısıtma gün derecesi bulunmaktadıdır.

$$IGD = (T_{baz(denge\ noktası\ sıcaklığı)} - T_{dış}) * Gün\ sayısı \quad (1)$$

Temel olarak ısıtma gün derecesi hesaplanırken denge noktası sıcaklığı ile başlamak gerekir. Bir bina için denge noktası sıcaklığı, binanın ısıtılmaya ihtiyaç duyması için gerekli olan bina sıcaklığıdır. Yani bina bu sıcaklıkta ise artık ısıtılmaya ihtiyacı var demektir. Bu sürecin nasıl işlediğini anlamak enerji tüketimini iyi yönetmek açısından gerçekten önemlidir. Bu çalışmada IGD denge noktası sıcaklığı 18 °C olarak alınmıştır.

Isıtma gün derecesinin en doğru ve en uygun şekilde hesaplanabilmesi için, her bir zaman diliminde (saatlik, günlük vs.) dış sıcaklığın sabit olduğu varsayılarak sıcaklığın sabit olduğu gün sayısı ile denge noktası sıcaklığının altında kalan sıcaklık farkı çarpılmakta ve istenilen gün sayısı bazında ısıtma gün dereceleri toplanmaktadır. Ancak gerçek dünyada dış sıcaklık gün içinde sabit olmadığından yani zaman içinde çok fazla değişiklik gösterdiğinden, doğru bir hesaplama için sınırsız sayıda sıcaklık değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir başka deyişle gerçeğe en yakın ısıtma gün derecesi hesabı için gün içinde mümkün olduğunca fazla sayıda sıcaklık değeri verisi kullanılması gerekmektedir (Mümkünse yarım saatlik veri bile olabilir, ancak bu veri istasyon verisinden değil de model çıktılarından elde edilecekse çok fazla saklama kapasitesi gerektirdiğinden bu kadar fazla sıcaklık verisine ulaşmak çok kolay olmamaktadır, bu nedenle günlük ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıklar kullanılmaktadır.) [39].

Soğutma gün derecesi (SGD): Yaz aylarında enerji tüketimi öngörüsü hesabı yapılırken yine öncelikle doğru denge noktasının belirlenmesi gerekir. Denge noktası sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklar dikkate alınarak hesaplanır.

$$SGD = (T_{dış} - T_{baz(denge\ noktası\ sıcaklığı)}) * Gün\ sayısı \quad (2)$$

Isıtma gün derecesi için yapılan hesaplama örneklerinin soğutma gün derecesi hesaplamasında da yararlanılabilmektedir.

Soğutma gün derecesi ile dış sıcaklık arasında ısıtma gün derecesinin aksine pozitif bir ilişki vardır. Bir başka deyişle dış sıcaklık arttıkça soğutma gün derecesi de artmaktadır, yani binaların soğutulması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Soğutma gün derecesi de Eşitlik (2)'de yer aldığı şekilde ısıtma gün derecesi ile aynı yöntemle hesaplanmaktadır. Hesaplamadaki tek fark; ısıtma gün derecesinde denge noktası sıcaklığından dış sıcaklık çıkarılmakta, soğutma gün derecesinde ise tam tersi işlem yapılmaktadır. Bu çalışmada SGD denge noktası sıcaklığı 24 °C olarak alınmıştır.

Yine aylık ve yıllık hesaplama ihtiyacında, veri ihtiyacına göre elimizdeki günlük soğutma gün derecelerinden yararlanılarak aylık ya da yıllık olarak toplama işlemi yapılması gerekmektedir. Özetlemek gerekirse ısıtma gün derecesi dışarının sıcaklığı denge noktası sıcaklığının altına düştüğünde, soğutma gün derecesi ise dışarının sıcaklığının denge noktası sıcaklığının üstüne çıkması durumunda hesaplanmaktadır.

III. BULGULAR

3.1. Türkiye Genelinde Gün Derece Bulguları

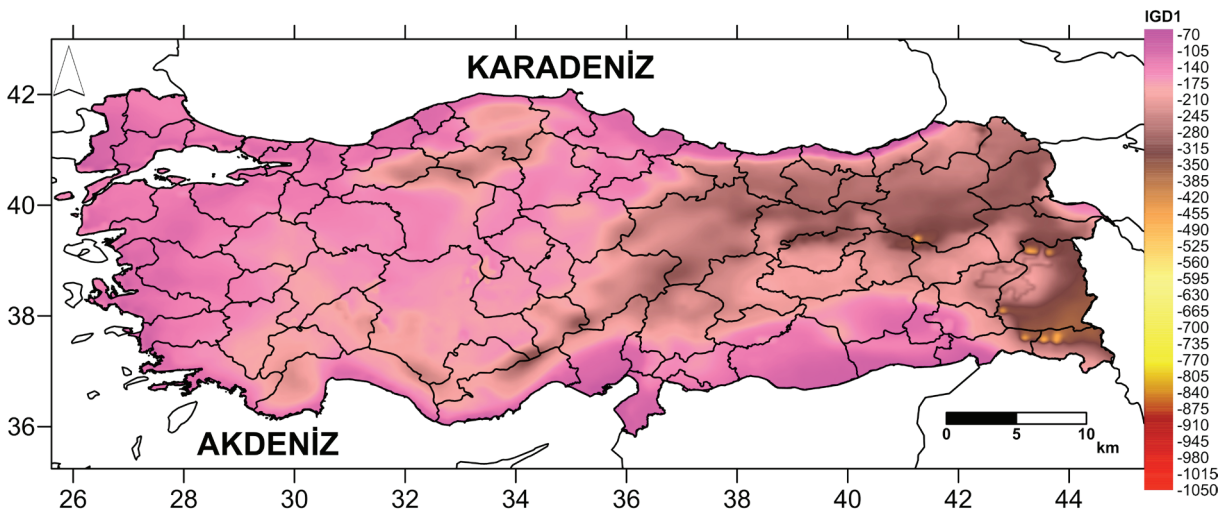
Bu kısımda Türkiye'nin tamamı için yakın (2016-2035) ve orta (2046-2065) vadede ısıtma ve soğutma gün derecelerinin 1981-2000 referans dönemine göre nasıl değişiklik göstereceği haritalandırılarak gösterilmiştir. Haritalandırmada, mevcut koşulların (business as-usual) aynen devam ettiğini varsaydığımızda gelecekte ısıtma ve soğutma gün dereceleri açısından hangi dönemde hangi bölgelerde ne tür değişiklikler öngörüldüğü resmedilmiştir. Ayrıca noktasal değerler üzerinden en fazla ve en az azalmanın görüldüğü yerler belirtilmiştir.

3.1.1. Türkiye genelinde ısıtma gün derecesi bulguları

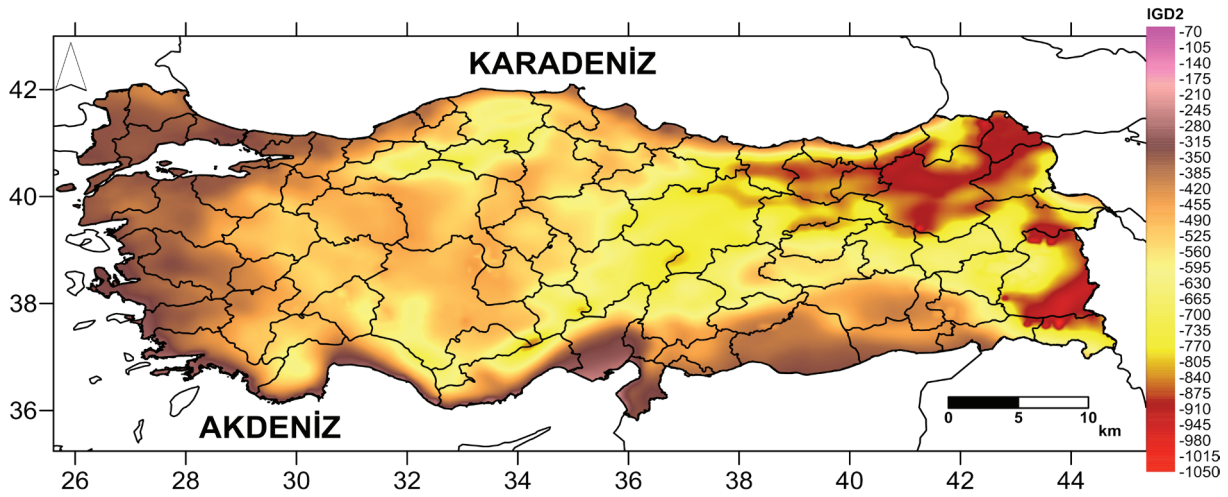
İlk olarak Türkiye'nin genelinde RCP8.5 senaryosuna göre 2016-2035 döneminde 1981-2000 dönemine kıyasla ısıtma gün derecelerinde yıllık ortalama kaç gün derecelik artma ya da azalma olacağı Şekil-1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de de açıkça görüldüğü üzere, Türkiye'de 2016-2035 döneminde ülkenin tamamında ısıtma gün derecelerinde azalma beklenmektedir. Bu azalmanın doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu bölgelerine gidildikçe daha fazla olacağı, ancak Ege, Akdeniz ve Karadeniz kıyıları ile Suriye sınırına yakın yerlerde daha az olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönemde ülke genelinde noktasal sonuçlara bakıldığında en fazla azalmanın Erzurum'da (-474.30 gün derece/yıl) olacağı, en düşük azalmanın ise Adana'da (-79.94 gün derece/yıl) olacağı öngörülmektedir. Bahadır [12] tarafından da belirtildiği üzere, ülkemizde yükselti ve karasallık sıcaklığın dağılımında etkili faktörler olduğundan iç kesimlere ve doğuya gidildikçe ısıtma gün dereceleri artar. Ancak, iklim değişikliği ile beraber yükseltinin fazla olduğu yerlerde sıcaklık artışı ile birlikte bu bölgelerde ısıtma gün derecelerinde azalış daha çarpıcı olacaktır.

Benzer şekilde, 2016-2035 dönemi için öngörülen azalmanın 2046-2065 dönemine gelindiğinde çok daha fazla olacağı Şekil 2'de gösterilmektedir. 2046-2065 döneminde beklenen azalmanın özellikle ülkenin kuzeydoğusunda 2016-2035 döneminde beklenen azalmanın 2-2.5 katı kadar olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu dönemde noktasal sonuçlara göre ısıtma gün derece sayısında en fazla azalma Hakkari'de (-1041.50 gün derece/yıl) beklenirken, en az değişimin Hatay'da (-238.49 gün derece/yıl) olacağı öngörülmektedir.



Şekil 1. Isıtma gün derecelerinin gelecek 2016-2035 döneminde 1981-2000 referans dönemine göre değişimi (gün derece/yıl)



Şekil 2. Isıtma gün derecelerinin gelecek 2046-2065 döneminde 1981-2000 referans dönemine göre değişimi (gün derece/yıl)

3.1.2. Türkiye genelinde soğutma gün derecesi bulguları

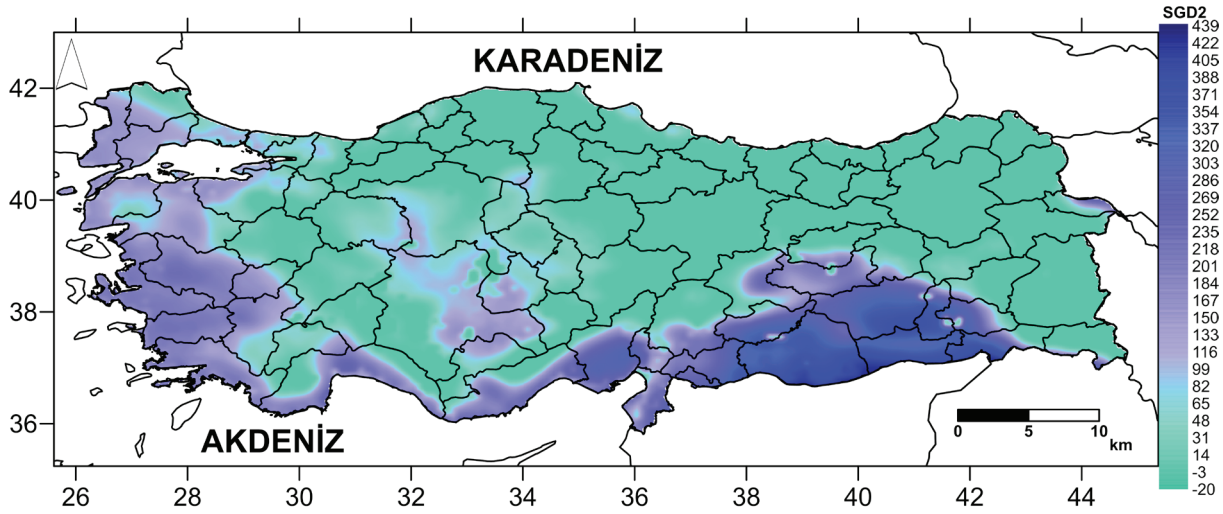
Türkiye’de ısıtma gün derecelerinde gelecekte beklenen değişimin ardından, soğutma gün derecelerinde öngörülen değişikliğe göz atılacak olursa, ısıtma gün derecelerinde beklenen azalma eğiliminin tersine bir artış eğilimi ile karşılaşmaktadır. Şekil-3’te de görüldüğü gibi, RCP8.5 senaryosuna göre Türkiye’nin genelinde 2016-2035 dönemindeki soğutma gün derece sayılarında 1981-2000 referans dönemine oranla bir artma olacağı öngörülmektedir. Bu dönemde tahmin edilen artışın özellikle Güneydoğu Anadolu, Batı ve Güneybatı Anadolu bölgeleri ile Akdeniz kıyısı boyunca daha fazla olacağı görülmektedir. Noktasal sonuçlara göre 2016-2035 döneminde en fazla artışın Şanlıurfa’da (185.07 gün derece/

yıl) görülmesi beklenirken, bazı yerlerde azalma da görülebilecektir. Mesela; Sakarya ilinde çok az miktarda da olsa bir azalma (-0.96 gün derece/yıl) olacağı öngörülmektedir.

Soğutma gün derece sayılarında beklenen değişikliklere 2046-2065 dönemi için bakıldığında ise ülkenin genelinde 1981-2000 referans dönemine nispeten yine bir artış olacağı öngörülmüş olup, bu artışın 2016-2035 dönemine göre çok daha fazla olacağı dikkat çekmektedir (Şekil-4). Çoğu yerde geçmiş referans döneme nazaran soğutma gün derecelerinde çok dikkat çekici bir değişim beklenmezken, noktasal sonuçlara göre bu sefer Şanlıurfa ilinde beklenen artışın yıllık ortalama 506.96 gün derece olacağı beklenmektedir. Ayrıca 2046-2065 döneminde 2016-2035 döneminden farklı olarak İç Anadolu Bölgesi’ndeki dağılımdaki değişiklik de dikkat çekicidir.



Şekil 3. Soğutma gün derecelerinin gelecek 2016-2035 döneminde 1981-2000 referans dönemine göre değişimi (gün derece/yıl)



Şekil 4. Soğutma gün derecelerinin gelecek 2046-2065 döneminde 1981-2000 referans dönemine göre değişimi (gün derece/yıl)

3.2. Türkiye Bölgelere Göre Gün Derecesi Bulguları

Bölgelere göre gün derecesi analizi, Türkiye genelinde bölgesel kategorilendirme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 4 ayrı çalışma bölgesi belirlenmiş olup kategorilendirilen bölgeler; turizm bölgesi (il bazında), sanayi bölgesi (il bazında), en çok göç alan 6 il ve en kalabalık 10 il olarak değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak illerin merkez koordinatları dikkate alınarak ısıtma ve soğutma gün dereceleri hesaplanmıştır.

Sanayi bölgesi illeri: İstanbul, İzmit, Bursa, İzmir, Ankara, Manisa, Konya, Eskişehir, Aydın, Gaziantep.

En kalabalık iller (2015): İstanbul (%18.7), Ankara (%6.7), İzmir (%5.2), Bursa (%3.6), Antalya (%2.9), Adana (%2.8), Konya (%2.7), Gaziantep (%2.4), Şanlıurfa (%2.4), Kocaeli (%2.2) [40].

En çok göç alan iller (1980-2015): İstanbul, Ankara, İzmir, Antalya, Kocaeli, Bursa [40].

Turizm bölgesi kategorisi belirlenirken ayrıca üç ayrı alt kategorilendirme yapılmıştır. Bu kategoriler; en fazla yatak kapasitesine göre, planlanan yatak sayısına göre ve kültürel mirasın yer aldığı illere göre belirlenmiştir. Bu kategorilerde yer alan iller birleştirilerek çalışma kapsamına dahil edilmiştir.

Turizm Bölgesi İlleri: İstanbul, Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Manisa, Kütahya, İzmir, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla, Antalya, Konya, Ankara, Eskişehir, Mersin, Adana, Hatay, Kayseri, Sivas, Maraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır [41, 42].

Bölgesel kategorilendirmeye göre il bazında hesaplanan ısıtma gün dereceleri aşağıda sırasıyla kategorisel tablolarda

verilmektedir. Kategorisel tablolarda il bazında 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 gelecek periyotlarındaki ısıtma gün derecesindeki değişim verilmektedir.

3.2.1. Seçilen iller kategorisine göre ısıtma gün derecesi bulguları

İller kategorilendirilirken, sanayi illeri, kalabalık nüfus illeri, göç illeri ve turizm illeri kapsamında genel bir değerlendirme yapılmış ve bu illerin kategori anlamında temsil ettikleri bölge bazında enerji ihtiyacının belirlenebilmesi için bir ön çalışma olarak ısıtma gün dereceleri ve soğutma gün dereceleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları tablo bazında sunulmakta ve değerlendirilmektedir.

Sanayi bölgesi illerinde 2016-2035 gelecek periyodu için ısıtma gün derecelerinde en fazla azalma 180 gün derece ile Konya ilinde gözlenmekte, bunu 150 gün derece ile Ankara, 148 gün derece ile Eskişehir ili izlemektedir. Diğer 7 ilde de yine azalma görülmekte ve azalma değerleri Tablo 1’de verilmektedir. İl bazında tabloda verilen bu değerler bu dönem periyodunda dış sıcaklık ortalamalarında artış anlamına gelmekte ve binalarda ya da işyerlerinde ısıtma ihtiyacında düşüş öngörülmektedir. Aynı şekilde 2046-2065 gelecek periyodunda sanayi bölgesi olarak seçilen 10 ilin tamamında ısıtma gün derecelerinde azalma izlenmekte, bu azalma da birinci sırayı 508 gün derece ile Ankara ili almakta, Konya 504 ve Eskişehir 483 gün derecesi ile onu takip etmektedir. 2046-2065 periyodunda diğer bir dikkat çeken nokta azalma rakamlarının 2016-2035 periyoduna göre 2.5-3 kat daha fazla olmasıdır ki bu da sıcaklık ortalamalarında ciddi bir artış anlamına gelmektedir. Burada yine özellikle belirtilmesi

gereken, dış sıcaklık değeri arttıkça ısıtma gün derecesinin azalmasıdır. Yani bir başka deyişle hava sıcaklık ortalamalarındaki artışa bağlı olarak enerji ihtiyacı azalmaktadır.

Tablo 1. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri sanayi bölgesi illeri için öngörülen IGD değişim değerleri

Sanayi Bölgesi İlleri		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	-135.08	-418.87
İzmit (Kocaeli)	-138.69	-376.04
Bursa	-137.64	-455.89
İzmir	-117.52	-363.98
Ankara	-150.59	-508.49
Manisa	-128.57	-352.59
Konya	-180.65	-504.32
Eskişehir	-148.26	-483.40
Aydın	-134.73	-367.80
Gaziantep	-164.61	-449.69

En kalabalık nüfuslu 10 ilde 2016-2035 gelecek periyodu için ısıtma gün derecelerinde en fazla azalma 180 gün derece ile yine Konya ilinde gözlenmekte, bunu 164 gün derece ile Gaziantep 150 gün derece ile Ankara ili izlemektedir. Diğer 7 ilde de yine aynı şekilde azalma görülmekte ve azalma değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Aynı şekilde 2046-2065 gelecek periyodunda en kalabalık nüfuslu iller kategorisinde 10 ilin tamamında ısıtma gün derecelerinde azalma izlenmekte, bu azalmada birinci sırayı 508 gün derece ile Ankara ili almakta, Konya 504 ve Gaziantep 449 gün derecesi ile onu takip etmektedir. 2046-2065 periyodunda yine sanayi bölge illerinde olduğu gibi, azalma rakamları 2016-2035 periyoduna göre 2.5-3 kat daha fazladır ve bu sıcaklık ortalamalarında kayda değer bir artış anlamına gelmektedir.

Tablo 2. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri en kalabalık nüfuslu iller için öngörülen IGD değişim değerleri

En Kalabalık Nüfuslu İller		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	-135.08	-418.87
Ankara	-150.59	-508.49
İzmir	-117.52	-363.98
Bursa	-137.64	-455.89
Antalya	-121.00	-288.21
Adana	-111.43	-334.23
Konya	-180.65	-504.32
Gaziantep	-164.61	-449.69
Şanlıurfa	-111.22	-363.96
İzmit (Kocaeli)	-138.69	-376.04

En çok göç alan 6 ilde Tablo 3’te görüldüğü gibi 2016-2035 gelecek periyodu için ısıtma gün derecelerinde en fazla azalma 150 gün derece ile yine Ankara ilinde gözlenmekte, bunu sırasıyla 138 gün derece ile İzmit, 137 gün derece ile Bursa, 135 gün derece ile İstanbul, 121 gün derece ile Antalya ve 117 gün derece ile İzmir ili izlemektedir. Aynı şekilde 2046-2065 gelecek periyodunda en çok göç alan 6 ilin tamamında ısıtma gün derecelerinde azalma izlenmekte, bu azalmada birinci sırayı 508 gün derece ile Ankara ili almakta, bunu sırasıyla 455 gün derece ile Bursa, 418 gün derece ile İstanbul, 376 gün derece ile İzmit, 363 gün derece ile İzmir, 288 gün derece ile Antalya takip etmektedir. İlk periyotta sıralama Ankara, İzmit, Bursa, İstanbul, Antalya ve İzmir iken, ikinci gelecek periyodunda bu sıralama Ankara, Bursa, İstanbul, İzmit, İzmir ve Antalya olarak değişmektedir. İki gelecek dönemi arasında Antalya ve İzmir sıralamada yer değiştirirken, aralarındaki 75 gün derece farkı 20 yıllık bir periyot için çok önemli bir fark gibi gözükmesine de İzmir’in Antalya’ya göre ortalamada daha fazla ısınacağı anlamına gelmektedir. 2046-2065 periyodunda yine hem sanayi bölgesi illerinde hem de en çok nüfuslu 10 ilde olduğu gibi, azalma rakamları 2016-2035 periyoduna göre 2.5-3 kat daha fazladır ve daha fazla ısınma anlamına gelmektedir.

Tablo 3. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri en çok göç alan iller için öngörülen IGD değişim değerleri

En çok Göç Alan İller		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	-135.08	-418.87
Ankara	-150.59	-508.49
İzmir	-117.52	-363.98
Antalya	-121.00	-288.21
Bursa	-137.64	-455.89
İzmit (Kocaeli)	-138.69	-376.04

Turizm bölgesi illeri iki ayrı gelecek periyodu için IGD değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Turizm Bölgesi illeri kapsamında 2016-2035 gelecek periyodunda gün derece sayısında en fazla azalma görülen iller sırasıyla Sivas, Kayseri; Kahramanmaraş, Mersin, Konya, Kütahya, Gaziantep illeri olarak; 2046-2065 gelecek periyodunda ise Sivas, Kayseri; Kahramanmaraş, Mersin, Ankara, Konya, Eskişehir olarak izlenmektedir. Bu kategoride 2016-2035 ve 2046-2065 gelecek periyotları için il bazında farklı sıralamalar olmakla birlikte bazı illerin 2016-2035 periyoduna göre ortalamada daha fazla ısınacağı ve daha az enerji ihtiyacı olacağı söylenebilir. Ancak turizm açısından bakıldığında özellikle 2046-2065 gelecek dönemi için öngörülen gün derece sayılarındaki azalışa sebep olan ortalama sıcaklıklardaki artış, bir yandan enerji ihtiyacını azaltırken diğer yandan kültürel

mirasın yer aldığı illeri turizm açısından zarara uğratabilir görünmektedir.

Tablo 4. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri alt kategorilere ayrılmış turizm bölgesi illeri için öngörülen IGD değerleri

Turizm Bölgesi İlleri		
İL	2016-2035	2046-2065
Adana	-111.43	-334.23
Afyon	-146.08	-414.80
Ankara	-150.59	-508.49
Antalya	-121.00	-288.21
Aydın	-134.73	-367.80
Balıkesir	-131.60	-375.70
Bursa	-137.64	-455.89
Çanakkale	-130.25	-389.30
Denizli	-146.91	-395.31
Diyarbakır	-132.68	-427.97
Eskişehir	-148.26	-483.40
Gaziantep	-164.61	-449.69
Hatay	-100.81	-335.66
İstanbul	-135.08	-418.87
İzmir	-117.52	-363.98
Kahramanmaraş	-203.43	-595.53
Kayseri	-218.73	-663.16
Konya	-180.65	-504.32
Kütahya	-172.79	-521.69
Manisa	-128.57	-352.59
Mersin	-199.19	-513.16
Muğla	-135.45	-333.85
Sivas	-270.78	-725.99
Şanlıurfa	-111.22	-363.96

3.2.2. Seçilen iller kategorisine göre soğutma gün derecesi analizi

Sanayi bölgesi illerinde 2016-2035 gelecek periyodu için soğutma gün derecelerinde en fazla artış 105 gün derece ile Manisa ilinde gözlenmekte, bunu 95 gün derece ile Aydın, 93 gün derece ile İzmir ili, 85 gün derece ile Gaziantep ili izlemektedir. Diğer 6 ilde gözlenen artışlar oldukça düşük seviyelerdedir. İzmit, Bursa, Ankara, Eskişehir illerindeki artış bir anlam ifade etmemektedir. İstanbul 8 gün derecelik bir artış göstermekte ancak bu artış 20 yıllık bir periyot için anlamlı olarak değerlendirilmemektedir. İl bazında Tablo 5'te verilen bu değerler bu dönem periyodunda dış sıcaklık ortalamalarında artış anlamına gelmekte ve buna dayanarak binalarda ya da işyerlerinde soğutmaya bağlı enerji ihtiyacında artış öngörülmektedir. Aynı şekilde 2046-2065 gelecek periyodunda sanayi bölgesi olarak seçilen 10 ilin

tamamında soğutma gün derecelerinde artış izlenmekte, bu artışta birinci sırayı 220 gün derece ile Manisa ili, ikinci sırayı 213 gün derece ile Gaziantep ili almakta, Aydın 198 ve İzmir 192 gün derecesi ile sırasıyla üçüncü ve dördüncü sırada yer almaktadırlar. Diğer 6 il için düşük ancak anlamlı sayılabilecek düzeyde artışlar gözlenmektedir. 2046-2065 periyodu 2016-2035 periyoduna göre soğutma gün derecesi seviyelerinde daha anlamlı düzeydedir. Burada yine özellikle dikkat edilmesi gereken, dış sıcaklık değeri arttıkça soğutma gün derecesinin artmasıdır. Yani bir başka deyişle ortalama dış sıcaklıklardaki artışa bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır.

Tablo 5. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri sanayi bölgesi illeri için öngörülen SGD değişim değerleri

Sanayi Bölgesi İlleri		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	8.23	72.95
İzmit (Kocaeli)	1.10	31.18
Bursa	0.50	16.16
İzmir	93.62	192.47
Ankara	0.03	34.03
Manisa	105.34	220.51
Konya	15.03	117.97
Eskişehir	0.52	36.56
Aydın	95.76	198.52
Gaziantep	85.45	213.14

En kalabalık nüfuslu 10 ilde 2016-2035 gelecek periyodu için soğutma gün derecelerinde en fazla artış Tablo 6'da görüldüğü üzere 160 gün derece ile Şanlıurfa ilinde gözlenmekte, bunu 120 gün derece ile Adana ili izlemektedir. İzmir 93 gün derece ile, Gaziantep 85 gün derece ile ve Antalya 54 gün derece ile onları takip etmektedir. Ancak geri kalan 5 ilde Konya, İstanbul, Ankara, İzmit, Bursa ve Ankara'da gözlenen artışlar anlamlı sayılabilecek düzeyde değildir. 2046-2065 gelecek periyodunda en kalabalık nüfuslu iller kategorisinde 10 ilin tamamında soğutma gün derecelerinde artış izlenmekte, bu artışta da birinci sırayı 378 gün derece ile Şanlıurfa ili almaktadır. Bu artış 20 yıllık bir periyot için oldukça anlamlı olarak değerlendirilmektedir. Şanlıurfa ilini 273 gün derece ile Adana, 213 derece gün ile Gaziantep ve 192 gün derece ile İzmir, 139 gün derece ile Antalya, 117 gün derece ile Konya ili takip etmektedir. Diğer 4 ilde yine belirli bir seviyede artış gözlenmekte ancak düşük seviyede anlam ifade ettiği düşünülmektedir. 2046-2065 periyodunda yine sanayi bölge illerinde olduğu gibi, artış rakamları 2016-2035 periyoduna göre çok daha anlamlı düzeydedir.

Tablo 6. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri en kalabalık nüfuslu iller için öngörülen SGD değişim değerleri

En Kalabalık Nüfuslu İller		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	8.23	72.95
Ankara	0.03	34.03
İzmir	93.62	192.47
Bursa	0.50	16.16
Antalya	54.99	139.53
Adana	120.96	273.24
Konya	15.03	117.97
Gaziantep	85.45	213.14
Şanlıurfa	160.84	378.47
İzmit (Kocaeli)	1.10	31.18

En çok göç alan 6 ilde Tablo 7’te görüldüğü gibi 2016-2035 gelecek periyodu için soğutma gün derecelerinde en fazla artış 93 gün derece ile İzmir ilinde gözlenmekte, bunu 54 gün derece ile Antalya ili izlemektedir. Diğer 4 ildeki artış anlamlı düzeyde değildir. Aynı şekilde 2046-2065 gelecek periyodunda en çok göç alan 6 ilin tamamında soğutma gün derecelerinde artış izlenmekte, bu artışta birinci sırayı 192 gün derece ile İzmir ili almakta, bunu 139 gün derece ile Antalya ili, 72 gün derece ile İstanbul ili izlemektedir. Diğer 3 ildeki artış seviyesi düşük seviyede anlamlı olarak nitelendirilmektedir. Ancak genel olarak artış seviyeleri bazı iller için düşük anlam ifade ediyor olsa da bu durum ortalama dış sıcaklıklarda her il için artış gözleneceği anlamına gelmektedir.

Tablo 7. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri en çok göç alan iller için öngörülen SGD değişim değerleri

En çok Göç Alan İller		
İL	2016-2035	2046-2065
İstanbul	8.23	72.95
Ankara	0.03	34.03
İzmir	93.62	192.47
Antalya	54.99	139.53
Bursa	0.50	16.16
İzmit (Kocaeli)	1.10	31.18

Tablo 8’e bakıldığında Turizm Bölgesi illeri kapsamında 2016-2035 gelecek periyodunda gün derece sayısında en fazla artış görülen iller sırasıyla Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Manisa, Hatay, Aydın, İzmir illeri olarak; 2046-2065 gelecek periyodunda ise Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Hatay, Manisa, Gaziantep, Aydın, Denizli illeri olarak izlenmektedir. Bu kategori için de 2016-2035 ve 2046-2065 gelecek periyotları için il bazında farklı sıralamalar olmakla

birlikte bazı illerin 2016-2035 periyoduna göre ortalamada daha fazla ısınacağı ve daha fazla enerji ihtiyacı olacağı söylenebilir. Ancak turizm açısından bakıldığında özellikle 2046-2065 gelecek dönemi için öngörülen gün derece sayılarındaki artışa sebep olan ortalama dış sıcaklıklardaki artış, bir yandan enerji ihtiyacını arttırırken diğer yandan bu kategoride özellikle soğutma gün derece sıralamalarında en üstlerde yer alan illeri turizm açısından olumsuz etkileyebilir görülmektedir. Çünkü bu illerdeki artış düzeyleri yüksek anlamlılık seviyesindedir.

Tablo 8. 1981-2000 referans dönemine göre 2016-2035 ve 2046-2065 dönemleri alt kategorilere ayrılmış turizm bölgesi illeri için öngörülen SGD değerleri

Turizm Bölgesi İlleri		
İL	2016-2035	2046-2065
Adana	120.96	273.24
Afyon	67.16	168.97
Ankara	0.03	34.03
Antalya	54.99	139.53
Aydın	95.76	198.52
Balıkesir	22.03	96.67
Bursa	0.50	16.16
Çanakkale	15.84	60.99
Denizli	90.47	197.84
Diyarbakır	141.66	348.79
Eskişehir	0.52	36.56
Gaziantep	85.45	213.14
Hatay	94.51	222.89
İstanbul	8.23	72.95
İzmir	93.62	192.47
Kahramanmaraş	0.23	41.24
Kayseri	0.00	0.00
Konya	15.03	117.97
Kütahya	0.00	3.81
Manisa	105.34	220.51
Mersin	56.60	146.94
Muğla	78.98	168.14
Şanlıurfa	160.84	378.47
Sivas	0.00	0.00

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerin başında gelen Akdeniz Havzası içerisinde yer alan [43, 44] Türkiye’de, enerji talebini tahmin etmede kullanılabilen en temel iki parametre olan ısıtma ve soğutma gün derece sayılarının iklim değişikliğini tek senaryo üzerinden dikkate alarak gelecekte nasıl değişeceğini öngörmeye çalışmıştır. Bu amaçla, iklim değişikliği senaryosu olarak mevcut

koşulların aynen devam ettiği varsayılarak gelecekteki iki farklı dönem (2016-2035 ve 2046-2065), referans olarak alınan 1981-2000 geçmiş dönemi ile karşılaştırılmıştır. Modelden alınan sonuçlar analiz edildiğinde, ısıtma gün derece sayılarında tüm ülke genelinde bir azalma ve tam aksi doğrultuda soğutma gün derece sayılarında ise genel olarak bir artış olacağı öngörülmüştür. Isıtma gün derece sayılarındaki azalma yüksek kesimlerde çok daha belirgindir. Bu durum özellikle buraların mevcut koşullarda yükseltiden kaynaklı soğuk olması ve gelecekte iklim değişikliği ile birlikte buraların daha fazla ısınmasıyla ilişkilidir. Özellikle; Toros dağı kuşağı, Küre, Ilgaz, Bolu ve Köroğlu dağlarını içeren Batı Karadeniz dağı kuşağı, Doğu Anadolu'nun neredeyse tamamında ısıtma gün derecesinde azalış daha belirgindir. Isıtma gün derece sayılarındaki bu azalmanın ve soğutma gün derece sayılarındaki bu artışın 2046-2065 döneminde 2016-2035 dönemine kıyasla daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu bulgular, daha önce Akdeniz Havzası ve Türkiye için yapılan iklim modellemeleri çalışmalarında [28, 45, 46] elde edilen gelecekte bu bölgelerdeki giderek artan sıcaklık artışı beklentisi ile de örtüşmektedir. Özellikle sıcak mevsimlerde daha fazla olması beklenen artışla birlikte soğutma ihtiyacının daha fazla olacağı, yine geçmişteki mevsim normallerinin üzerine çıkabilecek yeni normallerle birlikte ısıtma ihtiyacının ise azalabileceği bu çalışmanın sonuçları ile bölge iklimi için yapılan öngörüler arasında tutarlı bir ilişki ortaya koymaktadır. Bu durum, Türkiye'nin topografik özellikleri ve etkisinde bulunduğu basınç merkezlerinin etkisi ile açıklanabilir. Isıtma gün derecelerindeki azalma, Türkiye'nin yüksek topografik alanlarında daha kuvvetli bir dağılım sergilemektedir. Bu durum yükseltiden dolayı soğuk olan bölgelerin daha çok ısınacağı sinyalini vermektedir. Diğer yandan yıl içerisinde Azorlar yüksekliği ile Muson alçağının yılın özellikle yaz mevsiminde etkili olarak bu bölgelerde yaz kuraklığının oluşmasında [47, 48] önemli bir paya sahip olduğu ve Güneydoğu, Akdeniz, Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde, bu basınç merkezlerinin iklim değişikliği kaynaklı etkilerinin kuvvetlenmesi sebebiyle SGD'nin artışını tetiklediği söylenebilir. Özetlemek gerekirse, analiz sonuçları Türkiye'nin sıcaklık klimatolojisinde iklim değişikliğine bağlı olarak daha sıcak normallere girileceğine işaret etmektedir.

Gelecekte ısıtma gün derece sayısında azalma ve soğutma gün derece sayısında artış beklenirken ortalama sıcaklıklardaki artışın doğurduğu bu olağan iki uç değişimin net etkisinin de özellikle beklenen enerji talebini öngörmeye titizlikle incelenmesi gerekir. Bu incelemelerin özellikle göç alan şehirlerde yerleşim alanlarının genişlemesiyle artan yakıt tüketimi ve bu nedenle oluşacak kentsel ısı adalarını, yoğun göç alan yerlerde gecekondulaşmanın getirdiği

ısı kaybı yüksek derme çatma evlerin inşasını da dikkate alması gerekmektedir. Ayrıca bölgesel ölçekteki bu uygulamaların dünyanın farklı bölgeleri için de uygulanabilir olması bir başka önemli konudur. Özellikle, enerjiye erişimin sınırlı olduğu sosyo-ekonomik yetersizlikle boğuşan ülkelerde, aşırı soğutma ihtiyacından doğacak klima, vantilatör vb. soğutma araçlarına sahip olabilmeye yetisinin bulunmamasının doğurabileceği sıkıntılar da farklı altyapılara sahip toplumlar açısından detaylı irdelenmesi gereken konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Benzer şekilde dönemsel olarak enerji talebindeki dalgalanmaların tahmin edilmesinde, ısıtma ve soğutma cihazlarının arz-talep miktarlarının öngörülerek bu alandaki ticari yatırım ve üretimlerin planlanmasında, ısıtma ve soğutma gün derecelerinin iklim değişikliği senaryoları kullanılarak öngörülmesi enerji piyasasını doğru yönlendirebilecek çalışmalar olarak literatürdeki yerini alacaktır. Artan nüfus baskısının yanısıra iklim değişikliği etkileri dikkate alındığında gelecekte enerjiye olan talebin artacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle çalışma ayrıca önem taşımaktadır. İklim değişikliğinin ısıtma ve soğutma gün derecelerine etkisini bölgesel bazda ortaya koyan bir çalışma olması nedeniyle, çalışmanın karar vericiler açısından gelecek iklim değişikliği eylem planları ve enerjiye olan talepteki artışa bağlı enerji politikalarının belirlenmesinde başvurulacak bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu'nun 13561 No.lu projesince desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Auffhammer, M., & Mansur, E. T. (2014). Measuring climatic impacts on energy consumption: A review of the empirical literature. *Energy Economics*, 46, 522-530.
- [2] Mansur, E. T., Mendelsohn, R., & Morrison, W. (2008). Climate change adaptation: A study of fuel choice and consumption in the US energy sector. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(2), 175-193.
- [3] ASHRAE. (2001). ASHRAE Handbook: *Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 544 pp.
- [4] Badescu, V., & Zamfir, E. (1999). Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania). *Energy Conversion and Management*, 40(8), 885-900.
- [5] Büyükalaca, O., Bulut, H., & Yılmaz, T. (2001). Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Applied Energy*, 69(4), 269-283.

- [6] Christenson, M., Manz, H., & Gyalistras, D. (2006). Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energy Conversion and Management*, 47(6), 671-686.
- [7] Matzarakis, A., & Balafoutis, C. (2004). Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *International Journal of Climatology*, 24(14), 1817-1828.
- [8] Dombaycı, Ö. A. (2009). Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. *Energy*, 34(11), 1807-1812.
- [9] Papakostas, K., Mavromatis, T., & Kyriakis, N. (2010). Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece. *Renewable Energy*, 35(7), 1376-1379.
- [10] Al-Hadhrami, L. M. (2013). Comprehensive review of cooling and heating degree days characteristics over Kingdom of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 305-314.
- [11] Kadioğlu, M., Şen, Z., & Gültekin, L. (1999). Spatial heating monthly degree-day features and climatologic patterns in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 64(3-4), 263-269.
- [12] Bahadır, M. (2013). Türkiye’de ısınma ve soğutma gün derecelerine Afyonkarahisar örneği. *Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi*, 19-21 Haziran 2013, İstanbul.
- [13] Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrassoulis, A., & Santamouris, M. (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1647-1656.
- [14] Hadley, S. W., Erickson, D. J., Hernandez, J. L., Broniak, C. T., & Blasing, T. J. (2006). Responses of energy use to climate change: A climate modeling study. *Geophysical Research Letters*, 33(17).
- [15] Benestad, R. (2008). *Heating degree days, cooling degree days, and precipitation in Europe: analysis for the CELECT-project*. Report for the Norwegian Meteorological Institute.
- [16] Xu, P., Huang, Y. J., Miller, N., Schlegel, N., & Shen, P. (2012). Impacts of climate change on building heating and cooling energy patterns in California. *Energy*, 44(1), 792-804.
- [17] Zhou, Y., Eom, J., & Clarke, L. (2013). The effect of global climate change, population distribution, and climate mitigation on building energy use in the US and China. *Climatic Change*, 119(3-4), 979-992.
- [18] Wang, H., & Chen, Q. (2014). Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States. *Energy and Buildings*, 82, 428-436.
- [19] Sailor, D. J. (2001). Relating residential and commercial sector electricity loads to climate—evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. *Energy*, 26(7), 645-657.
- [20] Pardo, A., Meneu, V., & Valor, E. (2002). Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load. *Energy Economics*, 24(1), 55-70.
- [21] Valor, E., Meneu, V., & Caselles, V. (2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *Journal of Applied Meteorology*, 40(8), 1413-1421.
- [22] Martinaitis, V. (1998). Analytic calculation of degree-days for the regulated heating season. *Energy and Buildings*, 28(2), 185-189.
- [23] OrtizBeviá, M. J., Sánchez-López, G., Alvarez-García, F. J., & RuizdeElvira, A. (2012). Evolution of heating and cooling degree-days in Spain: trends and interannual variability. *Global and Planetary Change*, 92, 236-247.
- [24] Coşkun, M., Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S., Yazıcı, B. (2016). İklim değişikliğinin enerji tüketimine etkisi. *10.Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (UTES)*, 24-26 Ekim 2016, İstanbul.
- [25] TÜİK. (2013). Nüfus projeksiyonları, 2013-2075. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844>
- [26] Tatlı, H., Dalfes, H. N., & Menteş, Ş. S. (2004). A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology*, 24(2), 161-180.
- [27] Gosling, S. N., Dunn, R., Carrol, F., Christidis, N., Fullwood, J., Gusmao, D. D., ... & Kennedy, J. (2011). Climate: Observations, projections and impacts. The United Kingdom: Met Office.
- [28] Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4.3.5 Bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24.
- [29] Tatlı, H. (2015). Downscaling standardized precipitation index via model output statistics. *Atmósfera*, 28(2), 83-98.
- [30] Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Rauscher, S. A., Gao, X., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F. S., Sloan, L. C., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Karmacharya, J., Konaré, A., Martinez, D., Da Rocha, R. P., Steiner, A. L. (2007). Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9), 1395-1409.
- [31] Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.
- [32] Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31.
- [33] Riahi, K., Gruebler, A., and Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), 887-935.
- [34] Ovo Energy. (2018). How much energy do you use to heat your home? <https://www.ovoenergy.com/guides/energy-guides/how-much-heating-energy-do-you-use.html>

- [35] Day, T. (2006). *Degree-days: theory and application*. The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 106.
- [36] EIA. (2016). Energy Units and Calculators Explained: Degree-Days. http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=about_degree_days
- [37] Aceituno, P. (1979). Statistical formula to estimate heating or cooling degree-days. *Agricultural Meteorology*, 20(3), 227-232.
- [38] Ahrens, C. D. (2012). *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*, 6th Edition. The United States of America: Brooks/Cole Cengage Learning.
- [39] Bromley, M. (2009). Degree Days: Understanding Heating and Cooling Degree Days. <http://www.degreedays.net/introduction>
- [40] TÜİK. (2015). İllerin aldığı, verdiği göç, net göç ve net göç hızı, 1980-2015. http://www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab_id=1595
- [41] Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2015a). Tesis istatistikleri. <http://yigm.kulturturizm.gov.tr/TR,9859/tesis-istatistikleri.html>
- [42] Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2015b). İllere göre sit alanları istatistiği. <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44974/illere-gore-sit-alanlari-istatistigi.html>
- [43] Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8), 1-4.
- [44] Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2), 90-104.
- [45] Turp, M. T., Ozturk, T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2015). Assessment of projected changes in air temperature and precipitation over the Mediterranean region via multi-model ensemble mean of CMIP5 models. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, Special Issue (21), 93-96.
- [46] Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4276-4292.
- [47] Akbaş, A. (2014). Türkiye’de klimatolojik kuraklık olasılıklarının dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 63, 1-7.
- [48] Akbaş, A. (2014). Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2), 101-118.

Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması

Characterization and Comparison of Automobile Disc Brake Pads With Experimental Methods

Polat TOPUZ¹ , Ahmet TOPUZ² 

¹ İstanbul Gedik Üniversitesi, Gedik Meslek Yüksekokulu, 34909, Pendik/İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Müh., 34220 Esenler/İstanbul

Öz

Bu çalışmada ülkemizde kullanılan otomobillere ait yerli ve yabancı olmak üzere 3 adet fren disk balatasının bileşenleri; aşınma-sürtünme karakteristikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından deneysel çalışmalarla incelenmiş, yerli, yabancı ve orijinal (OEM) olanların birbirleri ile çevre ve kullanım açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kimyasal analizlerde, tarama elektron mikroskobu EDS (enerji dağılımlı X-ışını analizi) sistemi ve XRF (X-ışını floresans spektrometresi) kullanılmıştır. Balata malzemelerinin sıcağıdaki kütle kayıplarını belirlemek için TG (Termo Gravimetrik) analizleri yapılmıştır. Ayrıca ısıl değişiklikleri tespit amacıyla DT (Diferansiyel Termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. Balataların aşınma sürtünme testleri JIS 4411 standardına göre yapılmıştır. Bunların dışında balataların sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanım değerleri ölçülmüştür. Deneysel veriler yabancı ve yerli balatalar için çevre ve kullanım açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomobil, disk fren, balata, karakterizasyon, çevre ve kullanım

Abstract

Brake linings are a key brake part because they are the component that contacts and applies pressure and friction to a vehicle's brake rotors – those flat, shiny discs that you can sometimes see just behind the wheels of some vehicles. The pressure and friction applied to the brake rotor is what slows and stops the wheel. Once the wheels stop turning, the vehicle stops moving, too. Though the role of brake linings as braking parts is pretty simple, the brake linings themselves are anything but. If the car in motion cannot be stopped, there may be situations that could lead to loss of life and property. For this reason, the most important system in terms of safety of life and property in road vehicles such as automobiles is brake system. The most important part of the brake mechanism, which provides friction to the vehicle by slowing down, is the brake lining. Brake linings must be at an acceptable cost proportional to a balanced coefficient of friction, low wear rate, low noise level, lightness, environmental damage, good mechanical strength, corrosion resistance and performance. High temperature during braking; fading phenomenon, premature wear, evaporation of brake fluid, bearing failures, thermal cracks and thermally induced vibrations. Brake decline is a decrease in stopping power, especially in overload or repeated braking situations in high speed conditions. Brake weakening is a phenomenon that occurs due to temperature in vehicles such as cars, trucks, motorcycles, planes and bicycles that have a friction wheel. Proper driving style, brake equipment, material design and choice are factors that can significantly affect brake attenuation. Brake pads were formerly manufactured using mainly asbestos as the friction material. That's because brake pads are exposed to [Açıklamalar] a lot of friction, which generates a lot of heat. Asbestos is a good material for absorbing and dissipating heat. So what was the problem? When asbestos breaks down, it's creates dust that's dangerous to breathe – and brake pads can create a lot of brake dust when they're slowing and stopping vehicles on the roads. Now, some brake pads and other brake parts are made from safer organic materials.

Organic brake pads, sometimes called nonasbestos organic brake pads, are made from natural materials liked glass and rubber, as well as resins that can withstand high heat.

All these features can be provided by composite brake linings containing many different components. These components are used as binders (phenolic resins and rubber), as abrasives (steel, copper, brass, aramid, potassium titanate, rock wool, glass fiber), abrasive (zirconium silicate, aluminum oxide, SiO₂), fillers (barium sulphate, calcium carbonate, vermiculite), as a lubricant and as a friction modifier (graphite, petroleum coke, molybdenum sulfur, antimony trioxide, zinc sulphide). For a composite brake lining, at least 10 of the above

components are used in different quantities to produce pillars with very different compositions and performances. Brake linings, which are mainly produced by powder metallurgy, are obtained by passing through mixing, molding and sintering steps. The materials that make up the lining material are first mixed homogeneously for a certain period of time. This mixture is then pressed into the mold in the shape of a lining at a certain pressure, temperature and time. After pressing, the mixture, which has been shaped like a mold, is subjected to heat treatment in a sintering furnace at a certain temperature and for a certain period of time. After the heat treatment, the cooled sample of the lining becomes ready for the pre-use tests.

Composite brake linings are important safety elements used in friction brake systems. Composite materials in brake linings; metallic, semi-metallic, composite and carbon based. Some performance characteristics of composites such as friction coefficient and wear in brakes and clutches are the complex functions of matrix components and compound components that the process cannot ignore.

In this study, the components of 3 disk brake linings, local and foreign, belonging to automobiles used in our country; abrasion-friction characteristics, mechanical and physical properties of these materials were investigated by experimental studies and compared with those of local, foreign and original (OEM) in terms of environment and usage. In chemical analyzes, scanning electron microscopy EDS (energy dispersive X-ray analysis) system and XRF (X-ray fluorescence spectrometry) were used. TG (Thermo Gravimetric) analyzes were performed to determine the mass losses in the disc brake lining materials. In addition, DT (Differential Thermal) analyzes were performed to detect the thermal changes. Wear friction tests of linings were made according to JIS 4411 standard. Apart from these, the hardness, density and internal shear strength values of the linings are measured. The experimental data are compared for the environment and use for foreign and local linings.

Keywords: Automobile, disc brake, lining, characterization, environment and usage

I. GİRİŞ

Hareket halindeki otomobil durdurulamaz ise, can ve mal kaybına yol açabilen durumlar söz konusu olabilir. Bu nedenle otomobil gibi kara taşıtlarında can ve mal güvenliği açısından en önemli sistem, fren sistemidir. Fren sistemi, aracın hareket enerjisini, fren mekanizmasındaki sürtünmeyle ısı enerjisine dönüştürerek, aracın yavaşlamasını veya durmasını sağlar[1].

Günümüzde, modern otomobillerin çoğunda disk fren sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde prensip olarak fren pedalına bastığımızda sistemdeki hidrolik sıvısı hareket eder, bu hareket fren disklerine bir piston yardımıyla iletildiğinde, araç disk üzerindeki sürtünme kuvvetinin etkisiyle yavaşlamaya başlar. Ne kadar fazla güç uygularsanız disk o kadar baskıya maruz kalır ve tekerleğin dönüş hızı yavaşlar[2].

Fren mekanizmasında yer alan ve diske sürtünerek aracın yavaşlamasını sağlayan en önemli parça ise balatadır. İdeal bir disk fren balatası, uygulanan yük, sıcaklık, hız, fren modu, ıslak ve kuru hava gibi çeşitli koşullarda özelliklerini koruyacak sabit bir sürtünme katsayısına sahip olmalıdır[1]. Fren balataları dengeli bir sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük gürültü seviyesi, hafiflik, çevresel hasar, iyi mekanik mukavemet, korozyon direnci ve performans ile orantılı olarak kabul edilebilir bir maliyette olmalıdır. Bir taşıtın frenleme performansını belirleyen en önemli değişkenlerden biri de, fren sistemindeki elemanlarda oluşan sıcaklık artışıdır. Fren balatası ile disk arasındaki sürtünme ara yüzeyinde meydana gelen kütleli sıcaklık 300 °C'ye kadar çıkmaktadır. Frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklık; fren zayıflamasına (fading fenomeni), erken aşınmalara, fren sıvısının buharlaşmasına, yatak arızalarına, termik çatlaklara ve termik olarak uyarılmış titreşimlere sebep olur. Fren zayıflaması, özellikle yüksek yük ya da yüksek hız koşullarında tekrarlı frenleme durumlarında meydana gelen durdurma gücündeki azalmadır. Fren zayıflaması, sürtünmeli frene sahip olan otomobil, kamyon, motosiklet, uçak ve bisiklet gibi taşıtlarda sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen bir olaydır. Uygun sürüş tarzı, fren ekipmanları, malzeme dizaynı ve seçimleri fren zayıflamasını kayda değer şekilde etkileyebilecek faktörlerdir [3]. Tüm bu özellikler, bir çok farklı bileşeni içeren kompozit fren balataları tarafından sağlanabilir. Bu bileşenler bağlayıcılar (fenolik reçineler ve kauçuk), takviye olarak (çelik, bakır, pirinç, aramid, potasyum titanat, kaya yünü, cam elyafı), aşındırıcı olarak (zirkonyum silikat, alüminyum oksit, SiO₂), dolgu olarak (baryum sülfat, kalsiyum karbonat, vermikülit), yağlayıcı ve sürtünme düzenleyici olarak (grafit, petrokok, molibden sülfür, antimuan tri sülfür, çinko sülfür) kullanılmaktadır[4].

Bir kompozit fren balatasında, yukarıdaki bileşenlerden en az 10 tanesi farklı miktarlarda kullanılarak çok değişik bileşim ve performanslara sahip balatalar üretilmektedir. Bunlara ait pek çok patent de alınmıştır[5]. Fren ve debriyaj balatası imalatçıları, malzemelerinin sürtünme özelliklerini, tüm çalışma koşulları altında karşı karşıya kalacak yüzeye karşı bilmelidirler [6]. Ancak balata üreticileri kullandıkları formülasyon ve üretim şartlarını sır gibi saklamaktadırlar. Zira bileşenlerden herhangi birinin %1-2'lik değişimi bile frenleme performansını etkilemektedir[7]. Temel olarak toz metalurjisi ile üretilen fren balataları, karıştırma, kalıplama ve sinterleme basamaklarından geçerek elde edilmektedirler. Balata içeriğini oluşturan malzemeler öncelikle homojen şekilde belli bir süre karıştırılırlar. Bu karışım daha sonra belli bir basınç, sıcaklık ve sürede, balata şeklindeki kalıp içine preslenmektedirler. Presleme işlemi sonrası kalıbın

şeklini almış karışım, sinterleme fırınında belirli bir sıcaklık ve süre ile ısıtılıp işleme tabi tutulmaktadır. Isıl işlem sonrası soğutulan balata örneği, kullanım öncesi testler için hazır konuma gelmiş olur [8].

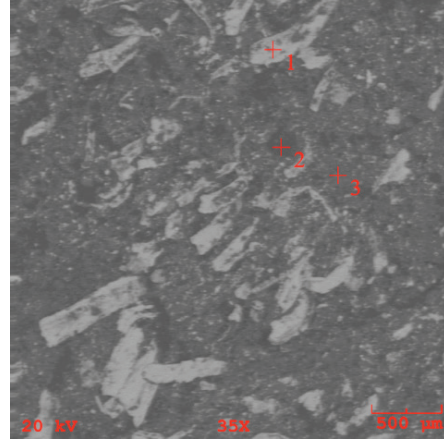
Kompozit fren balataları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Nairobi Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, farklı oranda aynı bileşenler kullanılarak üretilen 3 ayrı balata numunesi aşınma testlerinin yanı sıra sertlik, iç kesme dayanımı ve makroskobik incelemeler sonucunda, takviye amaçlı kullanılan liflerin artışına bağlı olarak sertlikte düşüş, iç kesme dayanımında yükselme tespit edilmiştir [9]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bir başka çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit sürtünmeli fren balatalarında yerli uçucu kül katkısının balata özelliklerine etkisinin incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, uçucu küllerin kütlece %50 oranında dolgu olarak kullanıldığı balata örneklerinin incelenen ticari balatalara en yakın sürtünme-aşınma özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir [10].

Kompozit fren balataları, sürtünmeli fren sistemlerinde kullanılan önemli emniyet elemanlarıdır. Fren balatalarındaki kompozit malzemeler; metalik, yarı metalik, kompozit ve karbon bazlı olarak ayrılır [11]. Fren ve debriyajlarda sürtünme katsayısı ve aşınma gibi kompozitlerin bazı performans özellikleri, matris malzemesinin ve işlemenin göz ardı edilemeyeceği bileşik bileşenlerin karmaşık fonksiyonlarıdır [12]. Bu çalışmada, otomobillerde kullanılan farklı markalardan 3 adet fren balatasının bileşenleri, mekanik ve fiziksel özellikleri yönünden deneysel olarak incelenmiş sonuçlar çevre ve kullanım yerlerindeki performansları açısından değerlendirilmiştir.

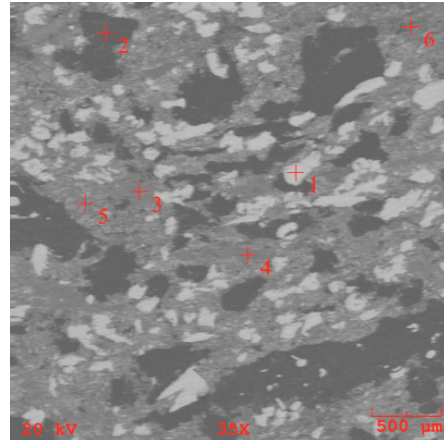
II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar için 1 adet yabancı orijinal, 1 adet yabancı yan sanayi ve 1 adet yerli sanayi üretimi olmak üzere 3 farklı otomobil disk fren balatası kullanılmıştır. Öncelikle her bir balatanın yaklaşık içeriğini belirleyebilmek için XRF analizlerinin yanı sıra, tarama elektron mikroskopunda geri saçılan elektronlar kullanılarak elde edilen

görüntüler üzerinde farklı fazlara ait oluşumların EDS ile nokta analizleri ve genel analizleri gerçekleştirilmiştir. Nokta analizlerin alındığı yerleri gösteren resimler altta Şekil 1, 2 ve 3'te yer almaktadır.



Şekil 1. Orijinal balata



Şekil 3. Yabancı yan sanayi balata

XRF analiz sonuçlarının, EDS genel analiz ve nokta analizlerle elementel olarak teyit edilmesiyle elde edilen balata numunelerine ait yaklaşık bileşenleri altta Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan balataların ortalama bileşen miktarları

Balata	Reçine %	Cashew %	Grafit %	BaSO ₄ %	CaCO ₄ %	Vermikülit %	Çelik Yünü %	Pirinç (Cu-Zn alaşımı) %	Sb ₂ S ₃ %	ZnS %	ZrSiO ₄ %	Diğer
Orijinal	22	-	10,5	5-5,3	13-20	21-25	19	-	3-5,5	5	3-4,8	-
Yerli	24	10-14	10	6-11	-	19-22	26	8-10	3,5-3,8	-	3-3,8	Al tozu
Yabancı yan sanayi	25	10-15	9	5-9,5	13-21	27-28	18	-	-	2	-	-

Balatalara ait aşınma sürtünme testleri JIS 4411 standardına göre yapılmıştır. Bu standart otomobillerde kullanılan kampanalı veya disk fren balataları ile ilgili Japon Endüstriyel Standardıdır. Temel olarak sabit hızlı sürtünme test cihazında aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerini belli toleranslar içinde test etmeyi anlatmaktadır. Bu standart ışığında, deneylerde sabit 1 MPa basınç, 480 d/d devir sayısı kullanılmıştır. Her bir deneyde 25x25x7 mm boyutlarında "A" ve "B" olarak isimlendirilen 2'şer numune kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı noktasal olarak ve aşınma değerleri her bir numune için 5 noktadan ölçülmüştür. Deneylerde 100-150-200-250-300 ve 350°C sıcaklıklarda ısınan diske sürekli frenleme gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları TS 555'e göre değerlendirilmiştir. Altta Tablo 2'de sıcaklık bazında sürtünme katsayılarının ortalama değerleri ve ayrıca normal ve sıcak sürtünme katsayıları görülebilir. Balata malzemesinin bir fren diski ile beraber çalışması esnasında sürtünmenin etkisi ile ara yüzey sıcaklığı sürekli artış gösterir. Bu sıcaklığın etkisiyle balata malzemesinin yapısı ve sergilediği tribolojik özellikler de değişmektedir. Bu çalışmada, balataların sürtünme-aşınma test sonuçlarına göre belirli bir sıcaklığın üzerinde ölçülen sürtünme katsayıları sıcak, altındakiler de normal (soğuk) olarak isimlendirilmiştir [13]. Buna göre 300°C'nin altında ölçülen sürtünme katsayıları normal, üzerindeki ise sıcak olarak isimlendirilmiştir. Buna göre normal ve sıcak sürtünme katsayıları tüm numuneler için TS 555'in öngördüğü 0,25-0,55 değerleri arasında kalmaktadır. TS 555, sürtünme katsayılarına göre balatalar sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma altta Şekil 4'de gösterilmektedir.

Aşınma değerleri; ağırlık azalması, kalınlıktaki değişim ve özgül aşınma yönünden de değerlendirilmiştir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde

malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Buradan elde edilen sonuç Özgül Aşınma değerini vermektedir. Özgül aşınma miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır[15].

$$Ws = \Delta m / dFnS \quad (1)$$

Kod Adı	(g/cm ³)	(cm ³ .dan. m ⁻¹)	Direnç	Katsayısı (µ)	(°C)
GM11	2,30	0,09	11,10	0,35	294
DK 2	2,17	0,06	16,60	0,27	280
NK 11	2,42	0,04	25	0,36	240

Tablo 2'de sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir. Burada gösterilen harflendirmeler standartlarda belirtilmiş olup test cihazından alınan sürtünme katsayısı değerleri standartlara uygun olduğunu ispatlamıştır.

Tablo 2 SAE-J661 ve TSE 555 Standartlarına Göre Balataların Sınıflandırılması [8,10]

Sınıf	Sürtünme katsayısı
C	0,15'e kadar
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55'ten yukarı

Şekil 4. TS555'e göre balata sınıfları [14]

Burada; Ws: Özgül aşınma miktarı (mm³ /Nm), Δm: Ağırlık kaybı (mgr), d: yoğunluk (mgr/mm³), Fn: Uygulanan normal kuvvet (N) ve S: Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir. TS 555, özgül aşınma değerlerinin 5x10⁻⁷ cm³/N.m 'yi geçmemesini önermektedir[14]. Tablo 3'te, balata numunelerine ait farklı sıcaklıklarda cm³/N.m x10⁻⁷ cinsinden özgül aşınma değerleri verilmiştir.

Ağırlık ve kalınlıktaki değişim miktarları Tablo 4 ve 5'te yer almaktadır.

Tablo2. Sürtünme katsayısı değerleri

Balata	Sürtünme Katsayıları						Sıcak sürtünme katsayısı	Normal sürtünme katsayısı
	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C		
Orijinal	0,452	0,453	0,454	0,4425	0,4165	0,4065	0,411 F	0,453 F
Yerli	0,265	0,295	0,3	0,288	0,346	0,3365	0,341 E	0,286 E
Yabancı yan sanayi	0,489	0,502	0,495	0,460	0,427	0,395	0,411 F	0,495 G

Tablo 3. Farklı sıcaklıklarda cm³/N.m x10⁻⁷ cinsinden özgül aşınma değerleri

Balata	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Orijinal	0,258	0,454	0,601	0,862	1,310	1,765
Yerli	0,212	0,185	0,408	0,432	0,497	0,403
Yabancı yan sanayi	0,272	0,411	0,306	0,436	0,672	0,593

Tablo 4. Ağırlıkça aşınma değerleri

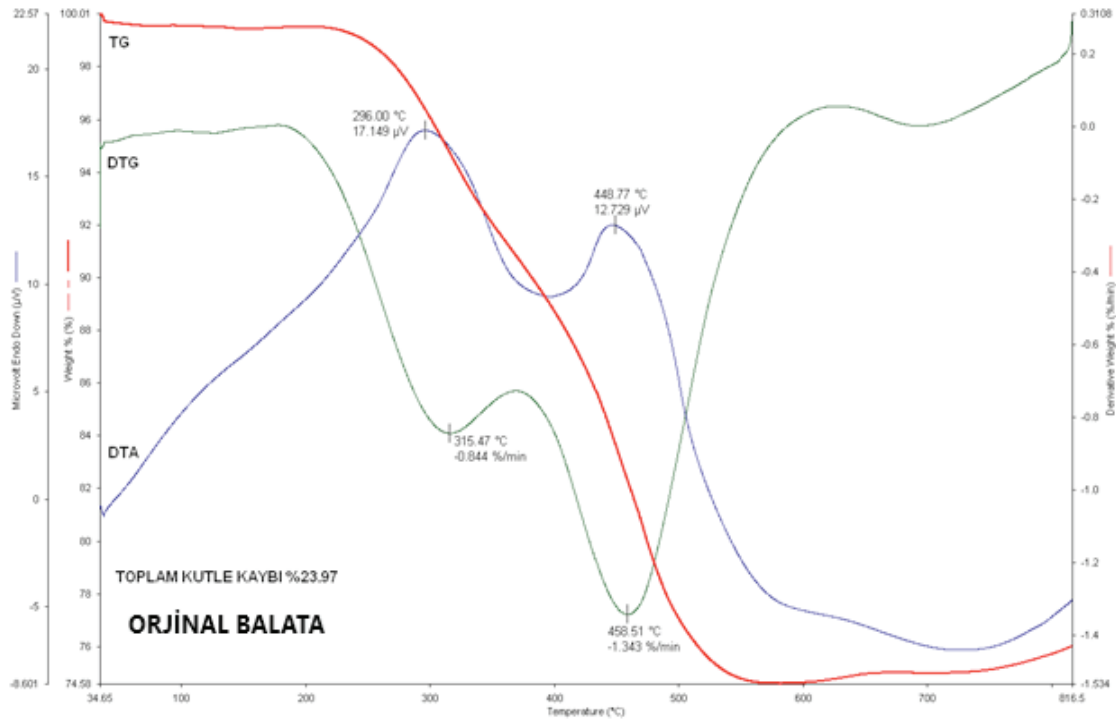
Balata	A (gr)		B (gr)		A fark		B fark	
	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş	gr	%	gr	%
Orijinal	8,685	7,269	7,931	6,478	1,416	16,3	1,453	18,3
Yerli	9,418	8,875	8,941	8,395	0,543	5,7	0,546	6,1
Yabancı yan sanayi	9,731	8,694	9,874	8,837	1,037	10,6	1,037	10,5

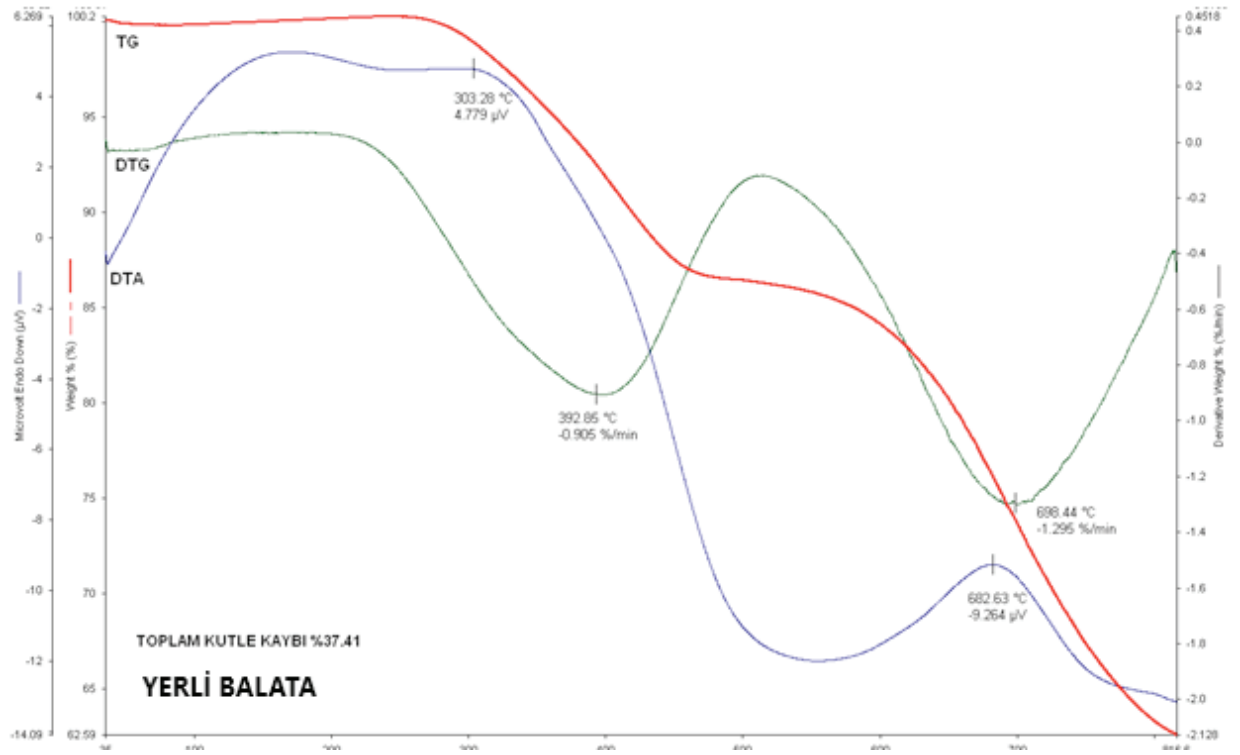
Tablo 5. Kalınlıkça aşınma değerleri

Balata	A Başlangıç kalınlığı (mm)	A Bitiş Kalınlığı (mm)	B Başlangıç kalınlığı (mm)	B Bitiş Kalınlığı (mm)	Δt_A Kalınlık Farklılığı (mm)	A Kalınlık Değişimi (%)	Δt_B Kalınlık Farklılığı (mm)	B Kalınlık Değişimi (%)
Orijinal	6,619	5,713	6,157	5,219	0,896	13,5	0,938	15,2
Yerli	6,130	6,000	5,862	5,578	0,13	2,12	0,284	4,8
Yabancı yan sanayi	6,395	5,882	6,407	5,900	0,513	8	0,507	7,9

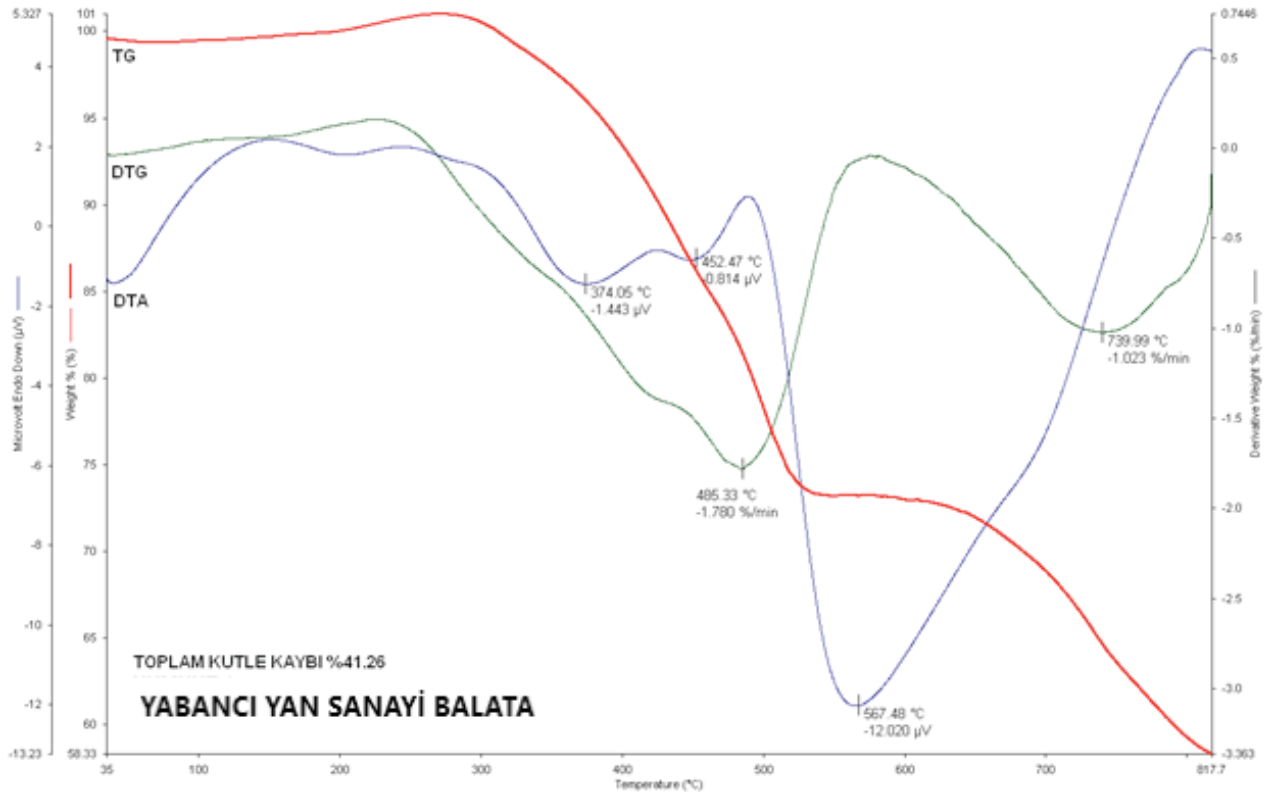
Balata malzemelerinin sıcağıdaki kütle kayıplarını belirlemek için TG (Termogravimetrik) analizleri yapılmıştır. Termogravimetrik analizde, numune azot atmosferinde sabit bir hız ile ısıtılıp/soğutulurken, ağırlığındaki değişme zamana veya sıcaklığa bağlı olarak kaydedilmektedir. Elde edilen eğriler ile numune ağırlığının ısı etkisiyle nasıl değiştiği tespit edilebilmektedir. Ayrıca ısıl değişiklikleri tespit amacıyla DT (Diferansiyel Termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. DT Analizinde, numunenin istenilen sıcaklığa kadar

ısıtılırken ağırlığı sürekli izlenmektedir. Kütlein sıcaklığa karşı çizilen grafiğine termogram denilmektedir. Bu cihazda hassas bir analitik terazi, bir fırın, bir fırın sıcaklığı control edici, bir programlayıcı ve bir de kaydedici bulunur. Kaydedici, numunenin kütleinin sıcaklığa karşı grafiğini çizer [16]. Elde edilen diyagramlarda kırmızı renkte yer alan TG eğrileri, sıcaklığa bağlı olarak yüzdesel kütle kayıplarını göstermektedir. Balata numunelerine ait diyagramlar altta şekil 5, 6 ve 7’de yer almaktadır.

**Şekil 5.** Orijinal balataya ait TG-DTA eğrileri



Şekil 6. Yerli balataya ait TG-DTA eğrileri



Şekil 7. Yabancı yan sanayi balataya ait TG-DTA eğrileri

TG-DTA verileri ışığında, balata numunelerin 20 ila 800°C arasında ölçülmüş toplam kütle kayıpları altta Tablo 6 'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Toplam kütle kayıpları

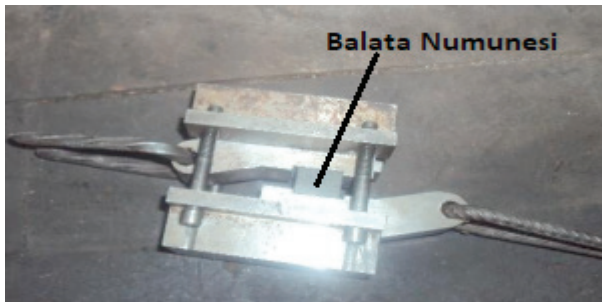
Balata	(TG) ye göre 20-800°C arasında Toplam Kütle Kayıpları (%)
Orijinal	23,97
Yerli	37,41
Yabancı yan sanayi	41,26

Her bir balata numunesinin yine TG-DTA verileri ışığında, sıcaklığa göre kütle kayıpları da incelenmiş, sonuçları altta Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. TG analiz sonuçlarına göre % kütle kayıpları

Balata	250°C	350°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
Orijinal	0	7	11	22	25	25	25
Yerli	0	5	7,5	15	16	28	37
Yabancı yan sanayi	0	3	7,5	22	27	33	40

Son olarak, balata örneklerinin yoğunlukları, sertlikleri ve iç kesme dayanımları ölçülmüş, sonuçlar altta Tablo 8'de verilmiştir. Yoğunluk ölçümlerinde, "bir cisme etki eden kaldırma kuvveti, cismin yerini değiştirdiği sıvının ağırlığı kadardır" hipotezini savunan Arşimet Prensibi'nden faydalanılmıştır. Sertlik ölçümleri için Rockwell-L yöntemi kullanılmıştır. İç kesme dayanımları için, bir çeşit çekme deneyi prensibi kullanılmıştır. Buna göre; Çekme Mukavemeti, çekme kuvvetinin, malzemenin kesit alanına (kopmanın gerçekleştiği yüzeyin kesit alanı) bölünmesiyle bulunmaktadır. Normal çekme deneylerinden farklı olarak, malzemenin çeneler arasına yerleştirilmesi için özel bir aparat kullanılmaktadır. Bu aparatın bir benzeri altta Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Çekme testinde kullanılan özel aparat

Tablo 8. Yoğunluk, sertlik ve iç kesme dayanım değerleri

Balata	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik (HRL)	İç Kesme Dayanımı (MPa)
Orijinal	2,13	88	16,2
Yerli	2,48	46	16,5
Yabancı yan sanayi	2,51	67	16,4

III. SONUÇLAR

- Giriş kısmında yer alan literatür bilgileri ışığında, balata örneklerine yapılan analizler neticesinde balataların tümünde bağlayıcı olarak reçine, yağlayıcı ve sürtünme düzenleyici olarak grafit, dolgu malzemesi olarak BaSO₄ ve vermikülit, takviye olarak çelik yünü kullanıldığı belirlenmiştir. Aşındırıcı olarak her balatada farklı bileşenler kullanılmış, ayrıca hiç bir balatada asbeste rastlanmamıştır.
- Tüm balata numunelerinde, normal ve sıcak sürtünme katsayıları TS 555'in öngördüğü 0,25-0,55 sınırları arasındadır, sınıf olarak E, F ve G'ye uymaktadırlar. Standarda göre, sıcak ve normal sürtünme katsayısı arasındaki farkın %15'i geçmemesi istenmektedir. Tüm numuneler bu değerlere uymaktadır.
- Farklı sıcaklıklarda incelenen sürtünme katsayıları arasındaki fark hiçbir numunede %20'yi aşmamış, sürtünme katsayılarının aynı sıcaklıktaki değişiminin kararlı olduğu görülmüştür.
- Özgül aşınma değerleri tüm örnekler için TS 555'in öngördüğü 5x10⁻⁷ cm³/N.m'yi geçmemiştir. Tablo 3'te de görüldüğü üzere, frenleme esnasında ısınan diske sürtünen balataların farklı sıcaklıklarda ölçülen özgül aşınma değerlerine göre, hiçbir balata numunesinde bu değerler aşılmamıştır. Bunun sebebinin balata bileşenleri içerisinde yer alan, yağlayıcı ve sürtünme giderici olarak kullanılan grafit, çinko sülfür veya antıman sülfür gibi bileşenlerin toplam hacimdeki yoğunluğu olduğu söylenebilir.
- TS 555'e göre, ağırlıkça aşınma değerlerine bakıldığında, ağırlıktaki değişimin %10'dan fazla ölçüldüğü numuneler orijinal ve yabancı yan sanayiye ait balata numuneleridir. % 10'dan az kütle kaybına uğrayan yerli balatanın içerisinde yer alan takviye ve dolgu amaçlı bileşenlerin farklı oluşu ve oranları arasındaki farkın bu durumu oluşturduğu söylenebilir.
- Kalınlıktaki değişim değerlerine göre, orijinal balata numunesinde %10'un üzerinde değer elde edilmiştir. Bu durumun da aynı ağırlıkça aşınma değerlerinde olduğu gibi, takviye ve dolgu amaçlı kullanılan bileşenlerin farklı oluşu ve oranları arasındaki farkın bu durumu oluşturduğu söylenebilir.

7. İç kesme dayanımı ve yoğunluğu en düşük numunenin, orijinal balata numunesi olduğu, sertlik olarak en yüksek değeri de yine aynı numunenin verdiği tespit edilmiştir. Bu duruma yol açan etken, takviye olarak kullanılan yoğunluğu düşük bileşenlerin oranıdır.
8. TG-DTA verileri ışığında, balata numunelerin 20 ila 800°C arasında ölçülmüş toplam kütle kayıpları bakıldığında, en az kütle kaybının orijinal balata numunesinde, en çok kaybın ise yabancı yan sanayi balata numunesinde olduğu tespit edilmiştir, ayrıca kütle kayıpları tüm numunelerde 300°C civarında başlamıştır. Özellikle 500°C'de kütle kaybı tüm numunelerde büyük bir oranda artmıştır. Bu sıcaklıktan sonra orijinal balatada azalış sabit kalmış, yerli ve yabancı yan sanayi balata da ise artmaya devam etmiştir. Fren balataları aşırı ısındıklarında özellikle diske temas eden yüzeylerde reçine yanarak bağlantı zayıflamakta yüzeyden başlayan bir aşınma oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan tüm balata örneklerinde, aşırı ısınma durumunda kütle kayıpları artmış ve aşınma hızlanmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıkta bağlayıcı ve sentetik malzemeler kütle kaybına uğramaktadır, bu durum frenleme sırasında aşırı ısınma olduğunda meydana gelmektedir.

IV.TARTIŞMA

Yukarıda literatür araştırmalarından da görüleceği üzere, balata ile fren diski arasındaki yüzeyde oluşan max ısı 300°C civarındadır. Max. 350°C sıcaklığa kadar gerçekleştirilmiş olan aşınma testlerine göre numunelerden elde edilen veriler ile max. 800 °C sıcaklığa kadar gerçekleştirilmiş olan TG-DTA analizlerinden elde edilen veriler TS 555'e uygun değerlerdir. Özellikle 500 °C üzerine çıkıldığında kütle kayıplar tüm numunelerde artmıştır. Ağırlıkça aşınma değerleri ele alındığında gerek sürtünme aşınma testleri, gerek se TG-DTA analizlerine göre max. kullanım sıcaklığı olan 350°C'ye kadar her 3 numune de standart şartlarını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Priyanka S. Bankar, S. N. Khan,(2014). A Review Paper on Composite Brake Friction Lining for lining Applications on Band Brake. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* Volume 2, Issue 8, November, ISSN 2349-4409 (Online), 116-122
- [2] <http://www.bilgiustam.com/otomobillerde-fren-sistemi-ve-disk-frenler-nasil-calisir/> (erişim08.03.2018)
- [3] Kwangjin Lee, (1993) "Frictionally-excited thermoelastic instability in automotive disk brakes" *University of Michigan Press*,63-64.
- [4] P.J. Blau, (2001). Compositions, functions and testing of friction brake materials and their additives. Oak Ridge National Laboratory *Technical Report* ORNL/TM-2001/64, Oak Ridge, Tennessee
- [5] E. Gümüş, A. Topuz, (2012). Effects of fly ash additive on the properties of composite brake friction materials. *International Materials and Metallurgical Congress*, Turkey, Istanbul.
- [6] K.G. Budinski, (1992). Laboratory Testing Methods for Solid Friction in: *ASM Handbook: Friction, Lubrication, and Wear Technology*, ASM International, Materials Park, OH., 18
- [7] A.Saffar, A.Shojaei., (2012). Effect of rubber component on the performance of brake friction materials. *Wear*, Volumes 274–275, 27 January, Pages 286-297, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.09.012>
- [8] Mohammad Asif, K. Chandra, P.S. Misra, (2011). Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Preform Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10, No.3, pp.231-244.
- [9] Joel Jeremiah Gachoki, Marangu Dickson Katheranya, (2011). Design of Brakepad Friction Material. *University of Nairobi, Final Year Project*, Project No. Jmo/01/2011
- [10] E.Gümüş, (2012). Otomotivde Kullanılan Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. YTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [11] S. Mohanty, Y.P. Chugh, (2007). Development of Fly Ash Based Automotive Brake Lining. *Tribology International* 40, 1217–1224. doi:10.1016/j.triboint.2007.01.005
- [12] James Gary Pruett, (2001). Matrix Contribution to Composite Properties in: *ASM Handbook: Composites*, ASM International, Materials Park, OH, V. 21
- [13] Ertan, R. ve Yavuz, N., (2010). Balata Malzemelerinde Kullanılan Yapısalın Balatanın Tribolojik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1.
- [14] TS 555, (17.03.1992). Karayolu taşıtları-Fren sistemleri – Balatalar – Sürtünmeli frenler için.
- [15] M. Karabaşoğlu, (2008). Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [16] Cem ŞENSÖĞÜT, Ö. Serdar YILDIRIM, İbrahim ÇINAR ve A. Hadi ÖZDENİZ, (2002). Bazı Yerli Kömürlerin Termogravimetrik Karakteristiklerine İstatistiksel Yaklaşım. *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 29-31 Mayıs, Zonguldak, Türkiye

Gerçek Zamanlı Sürücü Yorgunluk Tespit Sistemi

Real Time Driver Fatigue Detection System

Revna ACAR VURAL , Mustafa Yiğit SERT , Büşra KARAKÖSE 

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, görüntü işleme tabanlı sürücü yorgunluk tespit sistemi ile yorgunluk ve uykusuzluğun yol açtığı trafik kazalarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen sistem, farklı aydınlık seviyelerde sürücünün göz hareketlerini kameradan anlık olarak izlemekte, analiz etmekte ve gerekli durumda alarm vermektedir. Yorgunluk tespiti yapılırken PERCLOS (Percentage of Eye Closure) metriği kullanılmıştır. PERCLOS metriği tespit edilen gözlerin eşik değerler baz alınarak çevrilmiş binary görüntülerindeki piksel sayımı yapılarak ardından önceden hesaplanmış averaj değeri ile kıyaslanması sonucu gözlerin kapalı veya açık olduğuna karar verilmesi işlemlerine dayanmaktadır. Sürücüde yorgunluk tespiti yapıldığı anda Raspberry Pi 3 gömülü sistemi üzerinden alarm sisteminin devreye girmesi ve kablosuz haberleşme yardımı ile önceden belirlenmiş bir hesaba durum hakkında görüntülü ve yazılı bildirim yapılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Göz Tespiti, PERCLOS, Gömülü Sistem, Yorgunluk Tespiti

Abstract

Nowadays, car accidents are attributed mostly to driver faults. According to Turkish Statistical Institute, Highway Traffic Accident Statistics, 1.199.010 accidents happened at the national highway network and 88,6% of the accidents happened due to driver faults. Talking to cell phone while driving and texting are the most important factors of traffic accidents. Especially while talking to cell phone, drivers make more mistakes, do not recognize the hazards and are late to take cautions. Driver's perception of the road and ability to control the car together with elemental reflex are either diminished or disappeared in case driving is inattentive and drowsy. Integrating a hardware which monitors driver's attention on road and level of fatigue and activates an alarm system for dangerous situations to a vehicle will be very beneficial especially if there is not an adult passenger to warn the driver or in public transportation vehicles where it is difficult for a passenger to warn the driver. Hardware development and commercialization of driver assistance systems are becoming crucial from this perspective.

In this work, development of a real time hardware is aimed in order to prevent the drivers to cause an accident by the reason of fatigue and inattentiveness. Since the system is designed to be compatible with in car usage, the distance between the camera and the person to be monitored is certain. By perceiving the face region of the driver from the images taken by a visible light camera and detecting whether eyelid is open or close, system evaluates the closure of eyelids for a long time as fatigue or inattentiveness. Alarm system will be activated on these circumstances where unsafe driving is detected.

In order to provide a ground to in car safety package applications on the basis of face and eye region tracking applications, an image processing based driver fatigue detection system is developed. System is not only simulated as a software but also operated on embedded system. This system monitors and analyzes the eye movements of the drivers instantly from the camera under various illumination levels and activates alarm when necessary. Image processing algorithms evaluated for this work are Viola Jones algorithm, Local Binary Pattern and Histogram of Oriented Gradients. PERCLOS metric is used for fatigue detection. PERCLOS metric is based on the calculation of the pixel counts in the binary image that is converted based on the threshold values followed by the determination of whether the resultant eyes are closed or open compared to the pre-calculated average value. When the driver is diagnosed as fatigue, alarm system is activated via Raspberry Pi 3 embedded system. Here, Raspberry Pi embedded system is powered with 12V DC battery through a 5V regulator. If safe drive is detected green LED will be on. Otherwise, red LED will be on and a high frequency audio warning will be given in car. In addition, an information will be sent to a predetermined Twitter account mentioning about the date and the hour of unsafe drive together with a driver photograph showing the eye closure longer than an eyelid.

In car safe drive assistance hardware which will activate alarm system in both car and a remote control point using a Twitter account according to the detection of fatigue and inattentiveness comprises innovation in the field of academics and industry at the national and international platform. The hardware to be designed within the project could be integrated to the projects that will be developed within TUBITAK Smart Mobility Clustering. Moreover, obtained results have the significance to cause a development in standarts and technical regulations for safe drive systems according to Highway Traffic Regulations.

Keywords: Image Processing, Eye detection, PERCLOS, Embedded System, Fatigue detection

I. GİRİŞ

Türkiye İstatistik Kurumu, Karayolu Trafik Kaza İstatistiklerine göre, ülkemiz karayolu ağında 2016 yılında toplam 1 milyon 182 bin 491 adet trafik kazası meydana gelmiştir ve trafik kazalarının %89,6'sını sürücü kusurları oluşturmaktadır. Dikkatsiz ve/veya aşırı yorgun olarak trafiğe çıkılması durumunda, sürücünün aracı kontrol altında tutma, yolu algılama ve doğal refleks becerileri zayıflamakta veya kaybolmaktadır. Sürüş esnasında sürücünün yol üzerindeki dikkatini ve yorgunluk durumunu denetleyen ve tehlikeli durum tespitinde alarm sistemini devreye sokacak olan bir donanımın araca entegrasyonu, özellikle sürücüyü uyaracak yetişkin bir yolcunun olmadığı durumlarda veya yolcuların sürücüye uyarı yapmasının zor olacağı toplu taşıma araçlarında güvenli sürüş açısından büyük fayda sağlayacaktır. Güvenli sürüş koşullarını iyileştirmek üzere sürücü destek sistemlerinin donanım bazında geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi bu açıdan önem kazanmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle sürücüyü uyaracak yetişkin bir yolcunun olmadığı hallerde kazaya sebebiyet verebilecek bu tip durumların önüne geçebilmek için adaptif yapıya sahip sürücü destek sistemlerinin geliştirilmesi konusundaki araştırmalar yoğunluk kazanmaktadır [1-8].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde güvenli sürüş destek sistemlerinde kullanılan yaklaşımların araç içi denetleme ve araç dışı denetleme olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmüştür. Araç dışı denetleme mantığını kullanan sistemler [2] aracın şerit çizgileri dâhilinde ilerleyip ilerlemediğini, sürekli ve düzenli şerit ihlalini ve karanlık ortam halinde stop lambası ışıkları kullanılarak öndeki araçla mesafenin korunup korunmadığını kontrol etmektedir. Araç içi denetleme yapan sistemler genel olarak sürücünün sürüş halindeki fizyolojik durumunu göz takibi yaparak [1,3-8] veya

cep telefonu kullanımını değerlendirerek [9-11] kontrol etmektedir. Bu yaklaşımlara ilaveten geliştirilen diğer bir yöntem ise araç içi ve araç dışı denetlemenin birlikte kullanılmasıdır. [12]'de göz kapanması, esneme, başın eğilmesi gibi yorgunluk belirtilerinin tespiti yapılırken eşzamanlı olarak ikinci kamera ile yolu gözleyerek şerit takibi yapılmaktadır. Eğer şerit ihlali yapılırsa ve sürücüde anormallikler mevcutsa sistem uyarı vermektedir. Başka bir çalışmada ise sürücünün gözünün kapanması ve tekerlek yönlendirme hareketlerini izleyerek tespit edilen anormallikleri sürücüye bildirme ve bu sayede erken yorgunluk tespiti gerçekleştirilmiştir [13].

[2]'de güvenli sürüş kontrolü, karanlık ortamda kameranın kullanıldığı araç ile önünde seyir halinde olan diğer araçların stop lambalarının ışıkları tespit edilerek araçlar arası güvenli mesafenin korunmasına yönelik olarak sağlanmıştır. Ancak bu çözüm de seyir halinde aracın önüne ani olarak ışısız bir araç veya canlı hayvan çıkması durumunda yeterli güvenliği sağlayamayacaktır. Bu tip sistemlere kıyasla sürücünün dikkatini ve yorgunluk durumunu değerlendirecek sistemler, aniden yol üzerinde beliren unsurlara karşı sürüşün daha emniyetli olmasını ve sürücünün refleks davranışıyla bu tip tehlikelerden daha hızlı kurtulabilmesini sağlamaktadır.

[3]'de cep telefonu üzerinde geliştirilen bir uygulama ile sürüş güvenliği kontrol edilmektedir. Ancak araca monte edilmiş dahili bir çözüm olmadığı için kullanıcının telefonunu beraberinde taşımadığı durumda veya toplu taşıma araçları gibi sürücünün değişkenlik göstereceği durumlarda kullanışsız olmaktadır. Bu açıdan araç hareketine geçtiği anda çalışacak bir araca entegre bir donanım kullanımı daha işlevsel olacaktır. Sürücünün yorgunluk durumunu tespit etmek üzere göz açık/kapalı durumunu tayin etmeye yönelik araç içinde kullanıma uygun çeşitli yöntemler önerilmiştir [1,4-8]

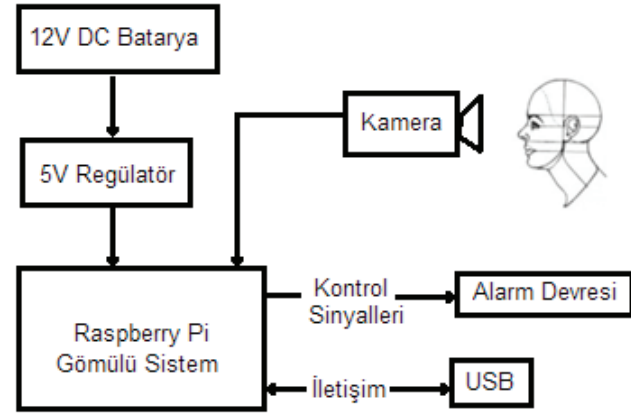
[4]'te önerilen cilt-segmentasyon yöntemi, RGB cilt-renk histogramının yapay sinir ağı ile kestirimini temel almaktadır. Segmentasyon algoritması, pikselleri kestirimi yapılan yüz özellik sınıf olasılıksal yoğunluk fonksiyonları (PDFs) arasındaki en yüksek olasılık değerine göre sınıflamaktadır. [5]'de ise dinamik bayes ağı ve eğitici sınıflama yöntemleri kullanılarak katmanlı bir algoritma geliştirilmiştir. [1]'de geleneksel lojistik regresyon yöntemlerine kıyasla destek vektör makinelerinin sürücü dikkatsizliğini gerçek zamanda daha yüksek doğrulukla tespit ettiğini ortaya konmuştur. [6]'da Sanger yapay sinir ağları tabanlı, ikili sınıflayıcılar ve ikonik veri azaltma yöntemlerini birlikte kullanan gerçek zamanlı bir çözüm

önermiştir. [14]'de Haar Kaskad Sınıflandırıcısı ve Circular Hough Dönüşümü kullanılarak oluşturulan bir göz durum algılama sistemi önerilmiştir. [15]'te gri tonlamalı görüntü işleme ve sürücünün yorulup gitmediğini belirlemek için PERCLOS temelli gerçek zamanlı bir uyuşukluk tespit sistemi geliştirilmiştir. Öğrenmeye dayalı bir sistem gibi çalışan bu yapı, yorulma modelini oluşturmak amacıyla sürücünün yüzünü ve gözlerini tespit etmek için veri toplamakta ve PERCLOS metriği kullanarak bu verileri analiz etmektedir. Bu metriği kullanan başka bir çalışmada ise sürücünün uyku durumunu temassız şekilde tespit eden gömülü bir sistem oluşturulmuş ve yakın IR aydınlatma altında çalışan gerçek zamanlı göz tespit algoritması geliştirilmiştir [16].

Bu çalışmada farklı görüntü işleme algoritmaları ve PERCLOS metriği kullanılarak yüz bölgesindeki göz açık/kapalı durumu değerlendirilerek kişinin yorgun olup olmadığı tespit edilecektir. Geliştirilen yazılım gömülü sistem üzerinde koşturularak sürüş esnasında kamera yardımı ile gerçek zamanlı akışkan görüntüdeki sürücünün yorgunluk durumu değerlendirilecektir. Tehlikeli sürüş tespiti halinde alarm devresi devreye girecek ve kullanıcının isteğine bağlı olarak önceden tanımlanmış bir hesaba sürüş bilgilerini içeren tweet gönderilecektir. Geliştirilen bu sistem ile sürücülerin yorgunluk ve dikkatsizlik gibi sebepler nedeniyle kazaya sebep olmalarının önlenmesi ve güvenli sürüş koşullarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

II. Sürücü Yorgunluk Tespiti Sistemine Genel Bakış

Bu çalışmada görüntü işleme algoritmalarını içeren açık kaynaklı Open Source Computer Vision (OpenCV) kütüphanesi kullanılan Raspberry Pi 3 geliştirme kartı ile gerçek zamanlı sürüş güvenlik sistemi gerçekleştirilmiştir. Kamera uyumlu donanımı ile gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan Raspberry Pi, 1.2GHz 64-bit Quad-core ARMv8 merkezi işlem birimine sahiptir. Tasarlanan görüntü işleme tabanlı gömülü sistemin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Raspberry Pi 3 Model B geliştirme kartı 5V regülatör devresi aracılığıyla 12V DC bataryadan beslenmektedir. A4 TECH 1080P FULL HD Web kamerası ile alınan akışkan görüntüye, geliştirme kartı içerisinde koşturulan görüntü işleme yazılımları uygulanarak, sürücünün göz açıklığı ve kapalılığı tespit edilmektedir. Eğer sürüş güvenli ise devrede yeşil LED yanacak, aksi takdirde kırmızı LED yanacak, buzzer ile yüksek frekanslı tiz sesli uyarı yapılacaktır ve buna ilave olarak önceden tanımlanmış bir Twitter hesabına kişinin riskli sürüş durumunu bildiren bir bildirim yapılacaktır.



Şekil 1. Görüntü işleme tabanlı gömülü sistem blok diyagramı

Görüntü tanıma sistemleri genel olarak farklı ortam ve koşullarda kamera veya tarayıcıdan elde edilen görüntülerin temizlenmesi, filtrelenmesi, ilgili bölgesinin belirlenmesi, dönüşüm süreçlerinden geçirilmesi, ayırt edici özelliklerinin elde edilmesi ve bu özelliklerin anlamlandırılması aşamalarını içermektedir. Bu çalışmada kullanılan kameralar aracın önüne sürücü yüz bölgesi ve çevresini algılayacak şekilde konumlandırılmıştır. Yeterli ışık şiddetinde görünür bölgede çalışan Web kamera vasıtasıyla, sürücünün göz bölgesi tespit edilerek göz kapalılığının açık veya sürüş güvenliğini riske atacak kadar uzun süre kapalı olması belirlenmiştir. Saniyede 30 çerçeveye kadar (30fps) görüntü yakalama hızı ile göz bölgesindeki kırpma hareketi tespit edilebilmektedir. Kişinin gözün açık ve kapalı olduğu durumlardaki gerçek zamanlı video görüntüleri kamera yardımıyla elde edilecek bu görüntülere standart temizleme ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır. Gözün kapalı veya açık durumlarını tespit etmek üzere, ilgili resimde insan yüzü bölgelerinin yerinin saptanmasında boyut/yönelim değişimlerine karşı güçlü bir yöntem olan ve Haar özelliklerini kullanan Haar Cascade Sınıflayıcı [17] yöntemiyle göz bölgesi aranmıştır. Haar özellikleri kullanmak ve eşik değerleri seçmek için Viola-Jones, makine öğrenme metodlarından Ada-Boost yöntemini kullanmaktadır [18]. Haar Cascade algoritması referans şablonlar ile görüntünün ilgililenen her parçasının arasındaki benzerliği ölçmektedir. Çalışmada ayrıca HOG (Histogram of Oriented Gradients) [19] ve LBP (Local Texture Descriptor) [20] ile elde edilen özellik değerleri de değerlendirilmiştir. Göz bölgesi seçimi yapıldıktan sonra yorgunluk tespiti yapılırken PERCLOS (Percentage of Eye Closure) metriği kullanılmıştır. PERCLOS metriği tespit edilen gözlerin eşik değerler baz alınarak çevrilmiş binary görüntülerindeki piksel sayımı yapılarak ardından önceden hesaplanmış averaj değeri ile kıyaslanması sonucu gözlerin kapalı veya açık olduğuna karar verilmesi işlemlerine dayanmaktadır.

III. SİSTEMDE KULLANILAN GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI

Gerçek zamanlı veya gerçek zamanlı olmayan görüntülerin bilgisayara aktarılıp üzerinde işlem yapılması ve ardından çıkışa iletilmesine görüntü işleme denir. Genelde görüntüyü dijital form haline getirmek, spesifik görüntü elde etmek veya ondan bazı yararlı bilgiler çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin girdisi video kesiti veya fotoğraf gibi bir görüntüdür. Çıktısı ise görüntünün istenilen ya da dikkat edilmesi gereken bölümüne karşılık gelir yani çıktının her zaman görüntü olması beklenmez. Genellikle görüntü işleme sistemi, önceden belirlenmiş sinyal işleme yöntemlerini uygularken görüntüleri iki boyutlu sinyaller olarak ele alır. Sinyallerin alımını veri sıkıştırma, görüntü iyileştirme ve insan gözünün anlayamayacağı lekelenme kalıplarını içeren görüntüyü analiz etme ve kullanma aşamaları izler. Son aşamada ise sonuçlar görüntü analizine dayalı olarak değiştirilerek kullanıma hazır hale getirilir.

Görüntü işleme tekniklerinde sıkça kullanılan morfolojik işlemler, açma, kapama, aşındırma, genişletme, gradient alma olarak sıralanabilir. Görüntü işlemenin temelini oluşturan bu işlemler kenarları yakalamak, görüntüyü onarmak, gürültüleri yok etmek amaçlarıyla kullanılır. Şekil 2’de Python dilinde yazılan kod ve OPENCV kütüphanesi yardımıyla giriş verilen resim gri renk uzayına çevrilerek aşındırma, açma, kapama ve gradient işlemleri uygulanmıştır.

3.1 Viola Jones Algoritması

Viola-Jones nesne algılama çerçevesi [18], Paul Viola ve Michael Jones tarafından 2001 yılında önerilen gerçek

zamanlı olarak rekabetçi nesne algılama oranlarını sağlamak için ilk nesne algılama çerçevesidir. Yüksek doğrulukta algılama özelliğine sahip olan Viola-Jones algoritması gerçek zamanlı uygulanabilir. Pratik uygulamalar için saniyede en az 2 çerçeve işlenmelidir. Algoritmanın dört aşaması sırasıyla Haar Özellik Seçimi, Bütünsel Bir Resim Oluşturma, Adaboost Eğitimi ve Basamaklı Sınıflandırıcılar olarak tanımlanabilir.

Viola-Jones nesne algılama çerçevesinin algılama aşamasında hedef boyutun bir penceresi girdi görüntüsü üzerine taşınır ve görüntünün her alt bölümü için Haar benzeri özellik hesaplanır. Bu fark daha sonra nesnelere nesnelere ayıran öğrenilmiş bir eşikle karşılaştırılır. Böyle bir Haar benzeri özellik yalnızca zayıf bir öğrenen veya sınıflandırıcı olduğundan, yeterli doğrulukta bir nesneyi tanımlamak için çok sayıda Haar benzeri özellik gereklidir. Viola-Jones nesne saptama çerçevesinde Haar benzeri özellikler, güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmak için bir sınıflayıcı kaskadı olarak adlandırılan bir alanda düzenlenir.

Haar benzeri bir özelliğin çoğu diğer özelliklere göre en önemli avantajı hesaplama hızıdır. Entegre görüntülerin kullanılması nedeniyle, sabit bir zamanda herhangi bir boyutun Haar benzeri bir özelliği hesaplanabilir.

3.2 Yerel İkili Kalıplar (Local Binary Pattern – LBP)

Çalışmada yüz tespitinde kullanılan diğer bir yöntem yerel ikili kalıplar (local binary pattern-LBP) sınıflandırma [21] yöntemidir. LBP, yönlendirilmiş gradyanların (HOG) tanımlayıcı histogramıyla birleştirildiğinde, bazı veri setleri üzerinde tespit performansını belirgin bir şekilde arttırdığı saptanmıştır.



a)

b)

c)

Şekil 2. a) Orjinal resim b) Gri renk uzayında resim c) Morfolojik işlemler sonucu resim çıktıları

3.3 Yönlü Gradyanların Histogramı (Histogram of Oriented Gradient – HOG)

Yönlü gradyanlar histogramı, bilgisayar görme ve görüntü işleme alanındaki nesnelere algılamak için kullanılan bir özellik tanımlayıcıdır. HOG tanımlayıcı tekniği, bir görüntü algılama penceresinin veya ilgilenilen bölgenin (ROI) lokalize bölümlerinde gradyan yönlendirmesinin oluşumlarını sayar.

3.4 PERCLOS (Percentage of Eye Closure) Metriği

PERCLOS (Percentage of Eye Closure), belirli bir zaman periyodunda açık ve kapalı gözlerin sayısı esas alınarak gözlerin kapalılık oranını ortaya koyan bir yorgunluk tespiti yöntemi olarak tanımlanabilir. Toplam frame sayısı N_t ve açık gözlerin sayısı N_a olarak tanımlanacak olursa sürücünün PERCLOS hesabı (1)'deki gibi çıkartılır:

$$PERCLOS = \frac{N_t - N_a}{N_t} \times 100\% \quad (1)$$

Yüzde 80 üzeri çıkan sonuçlar PERCLOS için uyku tehlikesi olarak karşılanmaktadır. Periyod olarak alınan süre ile PERCLOS başarı oranı doğru orantılıdır. [15-16]

IV. YORGUNLUK TESPİTİ SİSTEMİ YAZILIMI VE DONANIMI

Sürücünün yorgunluk tespitinin ilk adımı olan yüz ve göz tespiti için Haar Kaskad Sınıflayıcı, LBP ve HOG

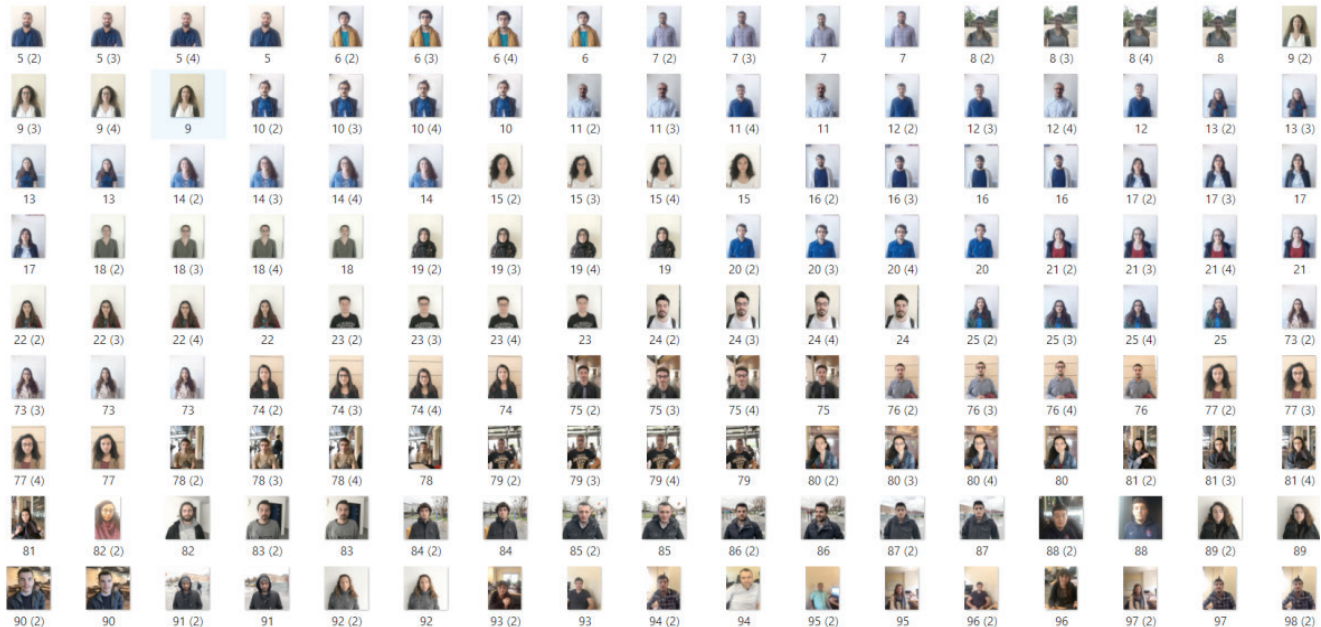
algoritmaları uygulanmıştır. HOG yöntemi ile özellik çıkarma gerçekleştirilmiş ancak göz ve yüz görüntülerinin tanımlanmasında bu yöntem ile başarılı sonuçlar elde edilememiştir. HOG genel olarak sınırları keskin nesnelere tanımlamada oldukça etkili olmakla birlikte yüz ve göz sınıflandırılması sırasında kararlı çalışma sağlamamıştır. Diğer algoritmalar ise veri tabanı üzerinde denenmiş ve sonuçları aşağıda irdelenmiştir.

4.1 Veri Tabanı Testi İle Uygun Sınıflandırıcının Seçilmesi

Bu çalışmada kişilerin yorgunluk durumunu değerlendirecek şekilde, yüz ve gözlerin tespiti için en uygun sınıflandırıcıyı belirlemek amacıyla 100 farklı kişiden farklı ışık koşullarında ve farklı arka planlarda 4 farklı kategoride (gözlüksüz gözler açık, gözlüksüz gözler kapalı, gözlüklü gözler açık ve gözlüklü gözler kapalı) veri tabanı oluşturulmuştur (Şekil 3). Kişilerden çalışma kapsamında yüz görüntüsünün alınmasına ve gerçekleştirilecek tüm akademik çalışmalarda kullanılmasına dair onay alınmıştır.

4.2 Görüntü İşleme Algoritmalarının Performans Değerlendirmesi

Veri tabanı üzerinde denen algoritmaların (Haar Kaskad ve LBP Kaskad) elde ettiği başarı oranları Tablo 1'de verilmiştir. Sonuçlara göre en yüksek başarı Haar Kaskad sınıflayıcı kullanılarak elde edilmiş ve gözler için en uygun



Şekil 3. Yorgunluk tespiti için veri tabanı

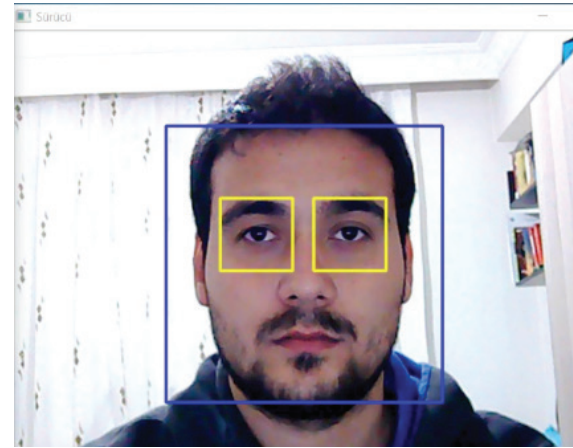
'detectMultiscale' değerleri "roi_gray, 1.3, 9" olarak belirlenmiştir. Bu yöntem ile yapılan örnek yüz ve göz tespiti Şekil 4'de verilmiştir. Tablo 2'de Haar Kaskad sınıflayıcının performansı gözlük kullanılmaksızın gözün açık ve kapalı olma durumuna göre incelenmiştir. Tablonun ilk sütununda verilen toplam görüntü sayısı Haar Kaskad sınıflayıcıya uygulanan gözlüksüz kullanıcıların göz açık ve göz kapalı görüntülerini ifade etmektedir. Doğru tespit edilen görüntü sayısı aynı sınıflayıcının gözün açık ve kapalı olma durumunu doğru olarak değerlendirdiği; yanlış tespit edilen görüntü sayısı ise belirtilen bu durumların sınıflayıcı tarafından yanlış olarak değerlendirildiği görüntülerin sayısını göstermektedir. Doğruluk oranı ise doğru tespit edilen görüntü sayısının toplam görüntü sayısına olan oranıdır.

Tablo 1. Sınıflayıcı doğruluk oranları

Durum	Haar Kaskad (%)	LBP (%)
Gözlüklü, Gözler açık	54,21	42,16
Gözlüklü, Gözler kapalı	98,76	86,41
Gözlüksüz, Gözler açık	88	74,74
Gözlüksüz, Gözler kapalı	87,75	84,84

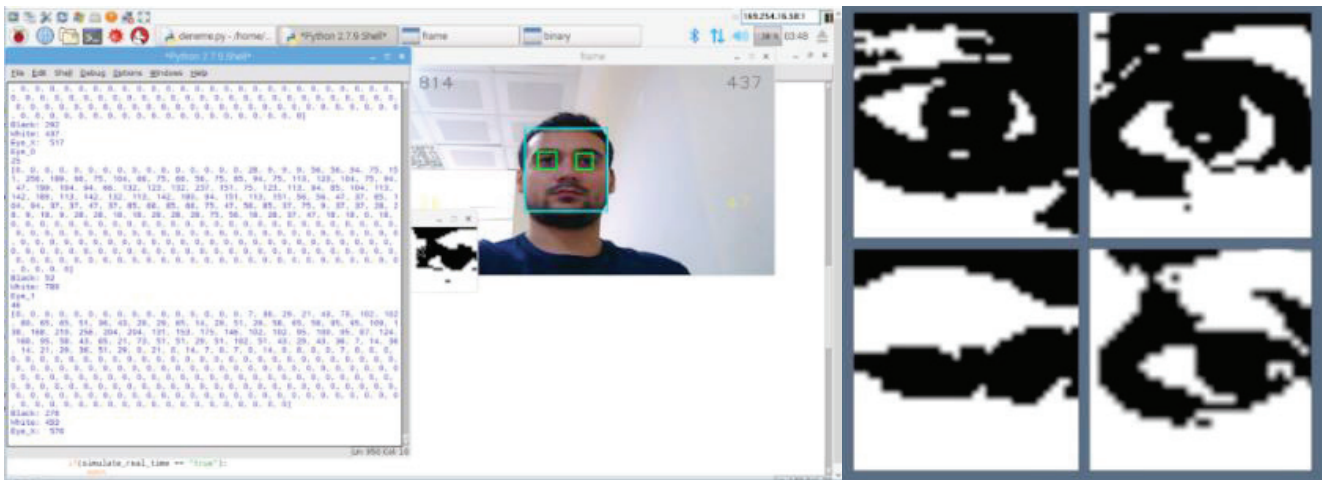
Tablo 2. Haar Kaskad Sınıflayıcı performansı

Gözlük kullanılmayan durum	Gözler açık	Gözler kapalı
Toplam görüntü sayısı	100	98
Doğru tespit edilen görüntü sayısı	88	86
Yanlış tespit edilen görüntü sayısı	12	12
Doğruluk oranı	%88	%87.5

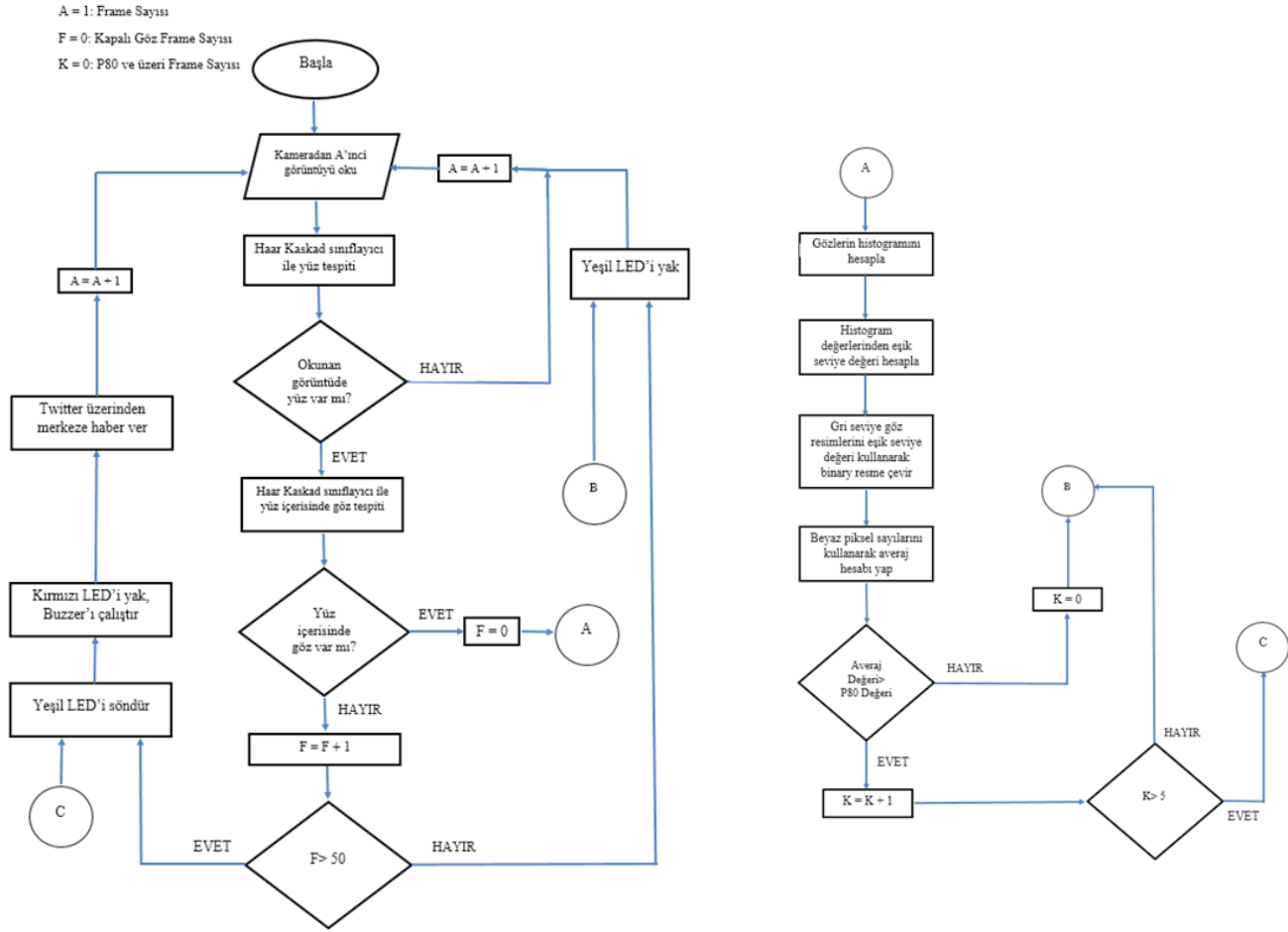


Şekil 4. Haar Kaskad sınıflayıcı ile yüz ve göz tespiti

PERCLOS metriği yöntemi yüz içerisindeki gözler üzerinde yapılan işlemlere dayanmaktadır. RGB görüntüdeki gözler gri seviyeye çevrildikten sonra gri seviye görüntülerin histogramları ve ilgili eşik değeri hesaplanır. Görüntüdeki her piksel değeri ile eşik değeri karşılaştırılır. Eşik değerinin altında kalan piksel değeri 0'a (siyah), üstünde kalan piksel değeri 1'e (beyaz) çekilerek görüntü ikili görüntüye çevrilir (Şekil 5). Görüntüdeki beyaz piksel sayısı referans alınarak önceden belirlenen ortalama değeriyle karşılaştırılır. Eğer beyaz piksel sayısı ortalama değerinden küçükse göz açık, büyükse göz kapalı olarak sınıflandırılır. Her frame için yapılan bu sınıflandırmada (1)'deki PERCLOS hesaplaması ile yorgunluk kararı verilir. Eğer PERCLOS yüzdesi %80 yani bir diğer anlatımla P80 üstünde olursa yorgunluk kararına varılır. Şekil 6'da en başarılı sınıflayıcı olan Haar Kaskad ve PERCLOS metriği kullanılarak tasarlanan sürücü yorgunluk tespiti algoritmasının akış diyagramı verilmektedir.



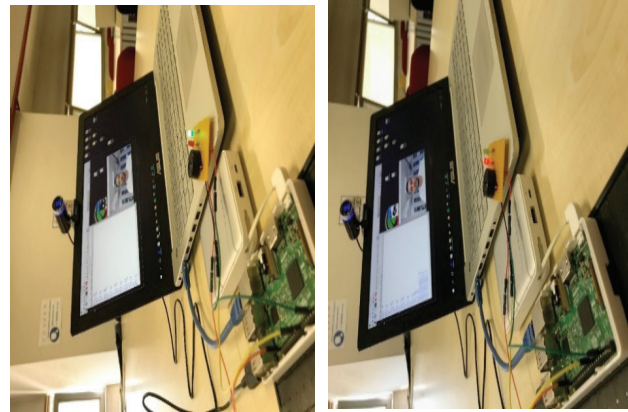
Şekil 5. Gerçek zamanlı tespit edilen gözlerin binary durumları



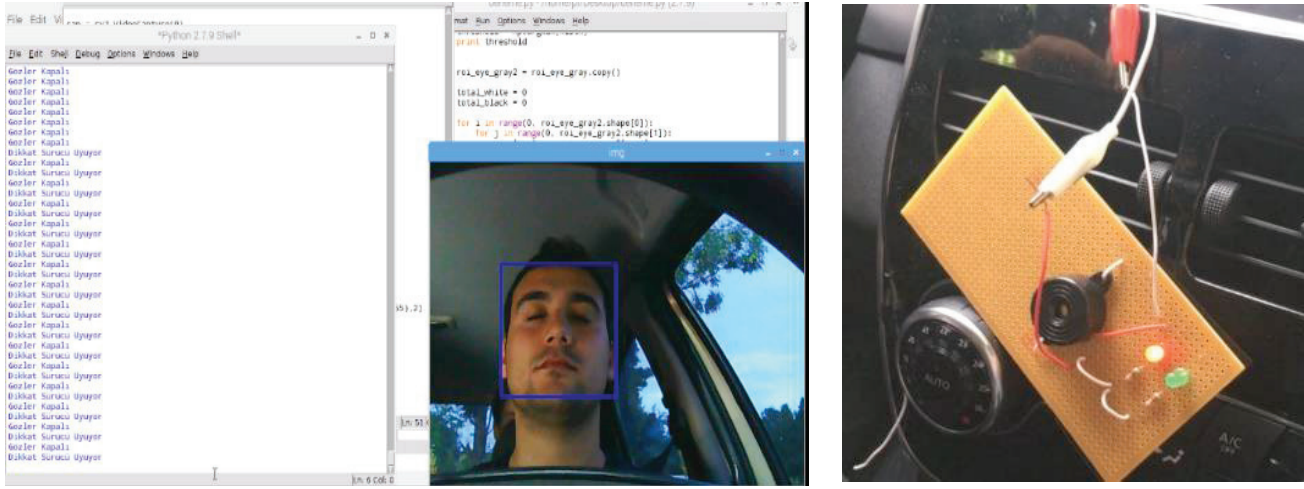
Şekil 6. Sürücü Yorgunluk Tespiti algoritması akış diyagramı

4.3 Sistemin Donanımsal Gerçekleşmesi

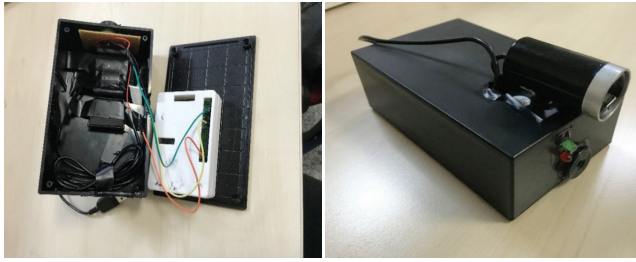
Görüntü işleme tabanlı yorgunluk tespit sistemi için kurulan donanım devresi Şekil 7’de verilmiştir. Kameradan alınan görüntüler analiz edildiğinde sürücüde yorgunluk tespiti yapılmadığı anlarda Raspberry Pi 3, uygun çıkış pinine +5V vererek devredeki yeşil LED’i aktive eder. Şekil 8’deki gibi sistem sürücüyü yorgun tespit ederse Raspberry Pi 3, uygun çıkış pinine +5V vererek devrede “+ uçları” ortak olan kırmızı LED ve buzzer’a enerji gönderir. Bu arada yeşil LED’in bağlı olduğu pine verilen +5V kesilir. Böylelikle kırmızı LED yanar, buzzer çalışır ve yeşil LED söner. Sürücü uyanır ve gözlerini belirli açıklığa getirirse sistem yorgunluk olmadığı andaki işlevine geri döner. Kırmızı LED söner, buzzer çalışmaz ve yeşil LED yanar. Sistemin kutulanmış iç ve dış görüntüleri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 7. PERCLOS ile yorgunluk tespit sistemi donanımının çalıştırılması



Şekil 8. Sürücünün yorgun olduğuna karar verilmesi



Şekil 9. Kutulanmış görüntü işleme tabanlı yorgunluk tespit sistemi donanımı

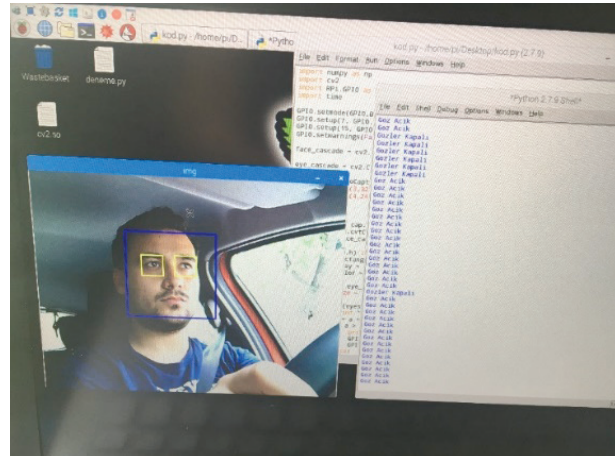


Şekil 10. Sürücünün ve sistemin araç dışından görüntüsü

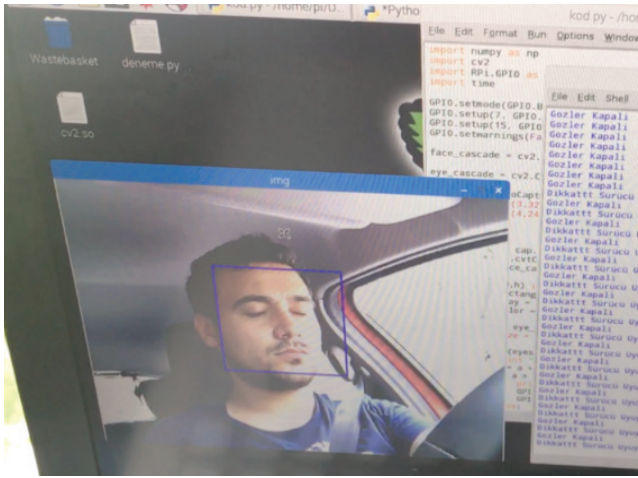
V. Sürücü Yorgunluk Tespiti Donanımının Test İşlemleri

Gün içerisinde farklı saatlerde ve farklı gün-hava koşullarında yapılan testler sonucunda sistemin en çok etkilendiği durumun ışık yoğunluğu olduğuna karar verilmiştir. Kameranın açısı ve sürücü fiziksel durumu da sistem üzerinde etkili olmakla beraber en büyük etkenin ışık yoğunluğu olduğu belirgindir.

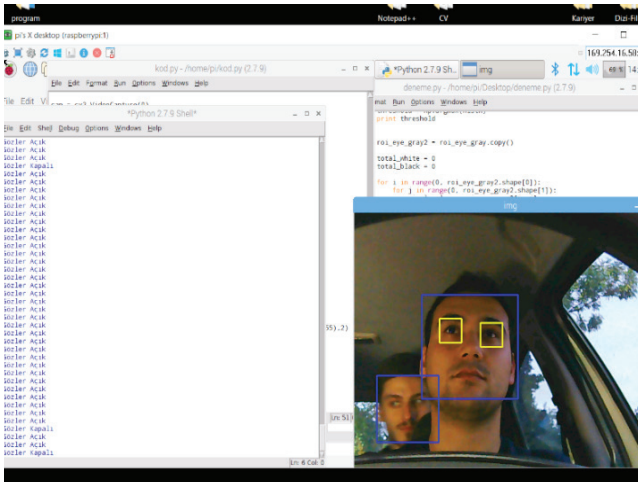
Yapılan testler neticesinde ışık yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda bile sistem başarılı sonuçlar vermiştir. Şekil 10'da sürücünün ve sistemin araç dışından görüntüsü verilmiştir. Nizami sürüş ve yorgunluk tespitleri sırasıyla Şekil 11 ve 12'de verilmiştir. Arka koltukta yolcu olmasında ve düşük ışık yoğunluğunda da sistemin sorunsuz çalıştığı sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekil 15'te ise yorgunluk tespiti durumunda kullanıcı tarafından onaylanmış hesaba gönderilmiş, yazı, fotoğraf, tarih ve saat bilgilerini içeren tweet görüntüsü verilmiştir.



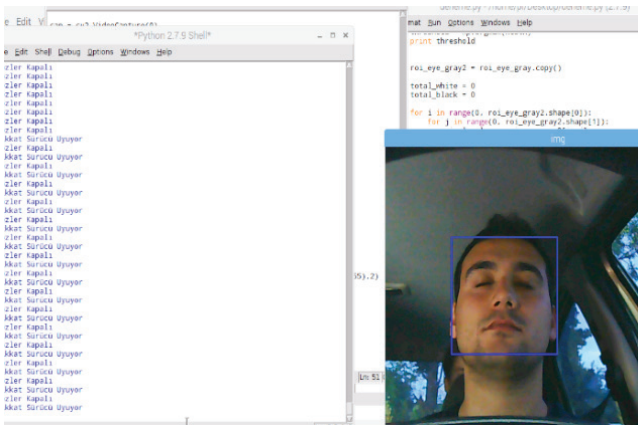
Şekil 11. Sürücünün gözlerinin açık olduğunun tespiti



Şekil 12. Sürücünün yorgun olduğuna karar verilmesi ve uyuyor ikazı yapılması



Şekil 13. Arka koltukta yolcu olması durumunda sistemin sorunsuz çalışması



Şekil 14. Düşük ışık koşullarında yorgunluk tespitinin yapılması



Mustafa surucusunde yorgunluk tespiti yapılmıştır. Mon May 22 20:35:43 2017



Şekil 15. Twitter hesabına yazı, fotoğraf, tarih ve saat bilgili tweet atılması

VI. SONUÇ

Bu çalışmada sürüş güvenliğini sağlamak üzere sürücünün yorgunluk durumunun tespitine ve tehlike durum tespiti halinde sürücünün uyarılmasına yönelik gerçek zamanlı donanım geliştirilmiştir. Trafikte seyir halinde olan sürücünün kameradan elde edilecek görüntüler yardımı ile yüz bölgesinin algılanarak göz takibi sağlanmış ve bu akışkan görüntü gömülü sistem üzerinde gerçek zamanlı olarak işlenerek sürüş esnasında dikkatsiz veya aşırı yorgun olma durumunu donanım üzerinde tespit edilmesi halinde alarm devresi aktive olmuştur. Böylelikle, tehlikeli durum tespit edildiğinde sistemin sürücüyü uyararak olası kaza durumlarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ticari araç kullanımı halinde eğer istenirse sürücünün yorgunluk durumu, önceden belirlenmiş bir hesaba yazılı, fotoğraflı ve gün ile saat bilgisini içeren bir tweet gönderimi ile belgelenmiş olmaktadır.

Sürücünün yorgunluk tespitinin ilk adımı olan yüz ve göz tespiti için Haar Kaskad Sınıflayıcı, LBP ve HOG algoritmaları uygulanmıştır. HOG yöntemi ile özellik çıkarma gerçekleştirilmiş ancak göz ve yüz görüntülerinin tanımlanmasında bu yöntem ile başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

Bu sebeple veri kümesine ilk iki yöntem uygulanmıştır. Tablo 1’de verilen doğruluk oranlarına göre Haar Kaskad Sınıflayıcı LBP yöntemine göre daha başarılı olmuştur.

Bu çalışmada hazır veri kümesi ile eğitim yapılmamış, görüntüler 100 farklı kişiden farklı ışık koşullarında ve farklı arka planlarda 4 farklı kategoride (gözlüksüz gözler açık, gözlüksüz gözler kapalı, gözlüklü gözler açık ve gözlüklü gözler kapalı) alınarak veri tabanı oluşturulmuştur. Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılma yapılırken bu veri tabanının daha önce başka algoritmalarla çalışılmadığı dikkate alınmalıdır. Mevcut çalışmadaki doğruluk oranı hesaplanırken Tablo 1’de verilen tüm durumlar için elde edilen doğruluk oranlarının ortalaması alınmıştır.

Tablo 3. Literatür ile karşılaştırma

Çalışma	Tasarlanan Sistem	Kullanılan Yöntem	Doğruluk Oranı (%)
Mevcut	Sürücü Yorgunluk Tespiti	Haar Kaskad PERCLOS	82.2
[1]	Sürücü Dikkat Dağımlığı Tespiti	Destek Vektör Makineleri	79,37
[1]	Sürücü Dikkat Dağımlığı Tespiti	Lojistik Model	69,99
[3]	Bio-işaretler, göz ve araç hızı ile sürüş değerlendirme sistemi	Bulanık Bayes Ağı	96.5
[5]	Sürücü Dikkat Dağımlığı Tespiti	Hibrid Bayes Ağı	88
[6]	Sürücü Dikkat Tespiti	Sanger Sinir Ağları	81

Gerçek zamanlı sürücü yorgunluk tespit sistemi, görüntü işleme algoritmalarının kullanıldığı açık kaynaklı Raspberry Pi geliştirme kartı, akışkan görüntünün alındığı harici kamera ve gerekli durumda aktive olan alarm devresi ile gerçekleştirilmiştir. Yazılımda kullanılan Haar Kaskad sınıflayıcı ve PERCLOS yöntemi ile yorgunluk tespiti alınan tüm görüntülere bağlı olarak %82.2 başarıyla sağlanmıştır. Gerçeklenen sistem donanımının araç içerisinde testleri farklı ışık koşullarında ve sürücü arkasında oturan yolcu varlığında yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre sürücünün sürüş anındaki yorgunluk durumunun yüksek doğrulukla tespit edildiği belirlenmiştir. İleriki çalışmalarda sistem üzerinde geliştirmeler yapılarak sürücünün cep telefonu kullanımının tespit edilmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

[1] Liang, Y., Reyes, M.L., Lee, J.D., (2007). Real-time detection of driver cognitive distraction using support vector machines. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8, 340–350.

- [2] Chen, Y.L., Chiang, H. H., Chiang, C.Y., Liu, C.M., Yuan, S.M., Wang, J.H., (2012). A vision-based driver nighttime assistance and surveillance system based on intelligent image sensing techniques and a heterogamous dual-core embedded system architecture. *Sensors*, 12, 2373–2399.
- [3] Lee, B.G., Chung, W.Y.A., (2012). Smartphone-based driver safety monitoring system using data fusion. *Sensors*, 12, 17536–17552.
- [4] Lenskiy, A.A., Lee, J., (2012). Driver’s eye blinking detection using novel color and texture segmentation algorithms. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 10, 317-327.
- [5] Liang, Y., Lee J.D., (2014). A hybrid Bayesian Network approach to detect driver cognitive distraction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 146–155.
- [6] Masala, G.L., Grosso E., (2014). Real time detection of driver attention: Emerging solutions based on robust iconic classifiers and dictionary of poses. *Transportation Research Part C*, 49, 32-42.
- [7] Ghosh, S., Nandy, T., Manna, N., (2015). Real Time Eye Detection and Tracking Method for Driver Assistance System. *Advancements of Medical Electronics, Lecture Notes in Bioengineering*, 13-25.
- [8] Cyganek, B., (2016). Real-Time Eye Detection and Tracking in the Near-Infrared Video for Drivers’ Drowsiness Control. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2015, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 403, 481-490.
- [9] Takahashi, K., (2005). Method of detecting concentration on cellular phone call from facial expression change by image processing. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 4, 3444-3448.
- [10] Zhang, X., Zheng, N., Wang, F., He, Y., (2011). Visual Recognition of Driver Hand-held Cell Phone Use Based on Hidden CRF. *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, 248–251.
- [11] Wang, D., Pei, M., Zhu, L., (2014). Detecting Driver Use of Mobile Phone Based on In-Car Camera. *10th International Conference on Computational Intelligence and Security*, 148-151.
- [12] Ahmed, R., Emon, K.E.K., Hossain, M.F., (2014). Robust Driver Fatigue Recognition Using Image Processing. *3rd Int. IEEE Conference on Informatics, Electronics & Vision*, 1-6.
- [13] Beukman, A.R., Hancke, G.P., Silva, B.J., (2016). A multi-sensor system for detection of driver fatigue. *Industrial Informatics IEEE 14th International Conference on (INDIN)*, South Africa
- [14] Fitriyani, N.L., Yang, C.K., Syafrudin, M., (2016). Real-Time Eye State Detection System Using Haar Cascade Classifier and Circular Hough Transform. *IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, Japan*
- [15] Yan, J.J., Kuo, H.H., Lin, Y.F., Liao, T.L., (2016). Real-time Driver Drowsiness Detection System Based on PERCLOS

- and Grayscale Image Processing. *International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), China*
- [16] Acioğlu, A., Erçelebi, E., (2016). Real Time Eye Detection Algorithm for PERCLOS Calculation. *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Turkey*
- [17] Porwik, P., Lisowska, A., (2004). The Haar–Wavelet Transform in Digital Image Processing: Its Status and Achievements. *Machine Graphics & Vision*, 13, 79-98.
- [18] Viola, P., Jones, M., (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 511-518.
- [19] Dalal, N., Triggs B., (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. *Proceedings on IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 886-893.
- [20] Ahonen, T., Hadid, A., Pietikäinen, M., (2004). Face Recognition with Local Binary Patterns. *Proceedings on 8th European Conf. Computer Vision*, 469-481.
- [21] Ojala, T., Pietikäinen, M., Harwood, D., (1994). Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions. *Proceedings of 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition (ICPR 1994)*, vol. 1, 582 – 585.

Çift Kür Olabilen Hidrofob Kaplamaların Mekanik, Yüzey ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical, Surface and Thermal Properties of Dual-Curable Hydrophobic Coatings

Mustafa ÇAKIR 

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Önemli kaplama teknolojilerinden biri olan ultraviyole (UV) ışıkla sertleştirme yöntemi, artan uygulama alanları ve diğer yöntemlere kıyasla var olan avantajları ile birlikte her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir. Bu makalede, bir izosiyanat akrilat olan ICA (Laromer® LR 9000) reçinesi ile monoetilen glikol (MEG), dietilen glikol (DEG) ve hidroksil ile sonlandırılmış perfloropolietir türevi olan floro alkol (Fluorolink® E10-H) içeren reçine sistemleri kullanılarak kaplamalar hazırlanmıştır. Bu reçine sistemlerinin ısı ve UV ile sertleştirilmesi sonucunda farklı oranlarda flor içeren serbest filmler elde edilmiş ve ayrıca alüminyum levhalar üzerine de bu formülasyonlar kaplama yapılmıştır. Elde edilen serbest filmlerin; çekme testi, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) yardımıyla mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca alüminyum levha üzerine yapılan kaplamaların özellikleri ise; kalem sertlik testi, çapraz kesme testi, parlaklık testi ve temas açısı testi ile gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde hidrofobik ve parlak bir kaplama elde edildiği görülmüştür. Ayrıca farklı oranlarda eklenen floro alkolün monoetilen glikol içeren yapı ile dietilen glikol içeren yapının mekanik özelliklerinde farklı etkiler yarattığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çift Kürlenebilir Kaplama, Hidrofobik Yüzey, Termal Özellikler, Mekanik Özellikler

Abstract

One of the important coating technologies, ultraviolet (UV) light curing, is increasingly preferred with increasing application areas and advantages that are present compared to other methods. In this article, coatings were prepared using ICA (Laromer® LR 9000) resin, an isocyanate acrylate resin, and resin systems containing monoethylene glycol (MEG), diethylene glycol (DEG) and fluoro alcohol (Fluorolink® E10-H), a perfluoropolyether derivative terminated with hydroxyl. As a result of heat and UV curing of these resin systems, free films were obtained at different ratios fluorine containing and these formulations were also coated on aluminum sheets. Obtained free films; Mechanical and thermal properties were determined by tensile testing, thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC). Furthermore, the properties of the coatings coated on the aluminum sheet determined by tests as pencil hardness test, cross-cut test, gloss test and contact angle test. When the results are examined, it is seen that a hydrophobic and bright coating is obtained. It has also been found that fluoroalcohol added at different ratios has different effects on the mechanical properties of the structure containing diethylene glycol with the structure containing monoethylene glycol.

Keywords: Dual-Curable Coatings, Hydrophobic Surface, Thermal Properties, Mechanical Properties

I. GİRİŞ

Kaplama teknolojisi artan uygulama alanlarıyla birlikte her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Bu teknoloji ile birlikte, malzeme yüzeyine uygulanan farklı kalınlıklardaki kaplama tabakaları çok daha düşük maliyetle malzemelerin istenilen özellikleri kazanmasını ve dış etkilere karşı korunmasını mümkün kılmıştır. Son zamanlarda en fazla kullanılan ve

gelecekte çok daha öneme sahip olacağı ön görülen kaplama yöntemlerinden biri de ultraviyole (UV) ışıkla sertleştirme yöntemidir. Bu yöntem; gösterdiği yüksek verimlilik, düşük enerji tüketimi, herhangi bir solvent kullanılmadan uygulanabilmesi, yüksek sıcaklıklara gerek duymayan hatta oda sıcaklığında gerçekleştirilebilen bir yöntem olması, çok kısa sürelerde uygulanabilir olması ve çevreci bir yöntem olması sayesinde kaplama teknolojileri arasında en önemli ve en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [1-5].

UV radyasyon ile kürlenmenin en önemli uygulamaları; hızlı kuruyan cilalar, boyalar, baskı mürekkepleri, hızlı kuruyan yapıştırıcılar, sızdırmazlık malzemeleri, çeşitli kaplamalar ve kompozit malzemelerin üretimidir. Ayrıca fotolitografide, fotorezistlerin ışık ile çözünmez hale getirilmesinde ve mini devrelerin, baskı plakalarının ve optik disklerin üretilmesi için yüksek çözünürlüklü görüntüleri elde etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [6-9].

Günümüzde, UV teknolojisinin, bir araba gövdesi gibi üç boyutlu, karmaşık şekilli yapıları koruyan kaplamalarda kullanılması için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle, büyük ve üç boyutlu nesnelerin tekdüze bir şekilde aydınlatılabilmesi için kullanılacak UV ekipman tasarımları üzerine ilerleme kaydedilmiş olsa da halen UV ışınlarının ulaşmadığı gölge alanlardan dolayı büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu gölge alanlar ışığın ulaşmaması nedeniyle polimerizasyonun gerçekleşmediği, dolayısıyla sertleşemeyen bölgelerdir. Aynı sorunla, kalın pigmentli sistemlerin UV ile sertleştirilmesi esnasında da karşılaşılır. Burada UV ışınları kaplama içerisine yeterince nüfuz edemez ve bu nedenle tamamen sertleşme gerçekleşmemiş olur [10-11]. Bu sorunların önüne geçmek için akrilik fotopolimerizasyona ilave olarak ikinci bir kürlenme yöntemi kullanılır. İki farklı kürlenme yönteminin gerçekleştirildiği bu sisteme 'çift-kür (dual-cure)' adı verilmektedir.

Çift kür sisteminde; UV ile kürlenebilir fonksiyonel bir grup ve termal olarak kürlenebilir fonksiyonel bir sistem bulunur. Bu gibi reçine sistemleri belirli bir ısıya ve UV ışınına maruz bırakıldıklarında ışık görmemiş alanlarda bile yüksek mekanik özelliklere sahip olan çapraz bağlı bir ağ yapısına dönüşebilmektedir [12-13].

Floropolimerler, etrafı flor atomları ile sarılmış C-C zincirlerine sahiptir ve flor atomlarının kendine özgü doğası, bu zincir yapısının sert çevre koşullarından korunmasına, yüksek stabilitesini devam ettirmesine olanak sağlar. Bu nedenle, florokarbon kaplamalar, düşük sürtünme direnci, su ve yağ sevmeme, yanmazlık, iyi yalıtım ve gaz bariyer özellikleri gibi önemli özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerle birlikte floropolimerler; biyomedikal cihazlar, optik fiberler,

yakıt hücreleri, gelişmiş tekstil ürünleri gibi birçok farklı kullanım alanına sahiptir [14-18].

Bu makalede, bir izosiyanat akrilat olan ICA reçinesi, monoetilen glikol (MEG), dietilen glikol (DEG) ve farklı oranlarda dialkol ile sonlandırılmış perfloropolietir türevi olan floro alkol bileşenleri kullanılarak reçine sistemleri hazırlanmıştır. Bu reçine sistemleri çift-kür sistemiyle sertleştirilmiş, yani hem termal yöntemle hem de UV ışınlarına maruz bırakılarak kürlenme işlemi tamamlanmış ve bir floropolimer yapısı meydana gelmiştir. Sonrasında bu floropolimer yapısının serbest film halinde ve alüminyum levhalar üzerine kaplama yapılarak farklı flor oranlarında numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler mekanik, yüzey ve termal özellikleri analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzemeler

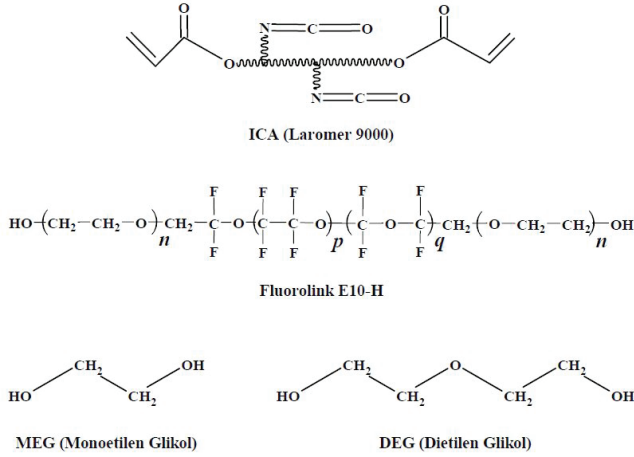
Bu çalışmada; ana reçine olarak bir izosiyanat akrilat olan ICA (Laromer® 9000/BASF Firmasından temin edilmiştir.) reçinesi, monoetilen glikol (MEG), dietilen glikol (DEG), hidroksil ile sonlandırılmış perfloropolietir türevi bir floro alkol (Fluorolink® E10-H/Solvay Solexis firmasından temin edilmiştir.) ve UV başlatıcı olarak Irgacure® 819 (Ciba Inc. Firmasından temin edilmiştir.) kullanılmıştır. Üretan reaksiyonunda kataliz olarak dibütildin dilaurat seçilmiştir. Kullanılan başlıca kimyasalların yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.2 Serbest Filmlerin Hazırlanması

İki farklı reçine sisteminden serbest film numuneleri hazırlanmıştır. Birinci reçine sisteminde; Laromer LR-9000, MEG, UV başlatıcı ve floro alkol bileşenleri kullanılmıştır. Floro alkol oranı %0, %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 olmak üzere farklı numuneler üretilmiştir ve bu numunelere sırasıyla MEGFA-0, MEGFA-0,2, MEGFA-0,4, MEGFA-0,6, MEGFA-0,8 ve MEGFA-1 kodları verilmiştir. İkinci reçine sisteminde ise; Laromer LR-9000, DEG, UV başlatıcı ve floro alkol bileşenleri kullanılmıştır. Floro alkol oranı %0, %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 olmak üzere farklı numuneler üretilmiştir ve bu numunelere sırasıyla DEGFA-0, DEGFA-0,2, DEGFA-0,4, DEGFA-0,6, DEGFA-0,8 ve DEGFA-1 kodları verilmiştir. Tüm formülasyonlara üç damla dibütildin dilaurat kataliz olarak ilave edilmiştir.

Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilen ağırlık oranlarında bileşenlerin karıştırılmasıyla elde edilen reçine sistemleri, teflon kalıp içerisine dökülmüş ve teflon kalıp konveyör hızı 5 mm/dk, lamba gücü 25 mW/cm² olan (Lamba, orta basınçlı

bir lambadır ve maksimum dalga boyu 360 nm'dir.) UV kurutma makinesinden bir kez geçirilmiştir. Sonrasında numuneler, 80°C'de 12 saat boyunca etüvde bekletilmiş ve polikondenzasyon reaksiyonu meydana gelerek tamamen sertleştirilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan başlıca kimyasallar

Tablo 1. MEGFA serisi reçine sisteminde kullanılan bileşenlerin ağırlıkça oranları

Numune Kodu	Floro Alkol	ICA	MEG	UV Başlatıcı
MEGFA-0	%0	%75	%22	%3
MEGFA-0,2	%0,2	%75	%21,80	%3
MEGFA-0,4	%0,4	%75	%21,60	%3
MEGFA-0,6	%0,6	%75	%21,40	%3
MEGFA-0,8	%0,8	%75	%21,20	%3
MEGFA-1	%1	%75	%21	%3

Tablo 2. DEGFA serisi reçine sisteminde kullanılan bileşenlerin ağırlıkça oranları

Numune Kodu	Floro Alkol	ICA	DEG	UV Başlatıcı
DEGFA-0	%0	%75	%22	%3
DEGFA-0,2	%0,2	%75	%21,80	%3
DEGFA-0,4	%0,4	%75	%21,60	%3
DEGFA-0,6	%0,6	%75	%21,40	%3
DEGFA-0,8	%0,8	%75	%21,20	%3
DEGFA-1	%1	%75	%21	%3

2.3 Kaplamaların Hazırlanması

Hazırlanan reçine sistemleri, 100 mm x 100 mm x 1 mm ve 65 mm x 65 mm x 1 mm boyutlarındaki alüminyum levhalar üzerine aplikatör yardımıyla uygulanmıştır. Aplikatör ile düzgün ve her noktada eşit kalınlığa (50 mikron) sahip kaplamalar elde edilmiştir. Bu işlem sonrasında, serbest filmlerin sertleştirilmesi için yapılan tüm uygulamalar kaplamalar için de gerçekleştirilmiştir.

2.4 Karakterizasyon

MEGFA ve DEGFA serisi numunelerin FT-IR spektrumları serbest film üzerinden Shimadzu 8300 FT-IR spektrofotometre ile incelenmiştir. Hazırlanan serbest film numuneleri; Zwick/Roell Z10 Ünlversal Test Cihazında 2 mm/dk hızda ve çeneler arası mesafe 50 mm olacak şekilde test edilmiştir. Azot atmosferi altında, 25°C/dk ısıtma hızıyla ve 25°C'den 800°C'e kadar ısıtılarak termogravimetrik analiz (TGA) yapılmıştır. Bu analiz için Netzch marka termogravimetrik analiz cihazı kullanılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ise; azot atmosferi altında 25°C/dk ısıtma hızıyla ve 0°C'den 200°C'e kadar ısıtılarak, Perkin Elmer DSC cihazında yapılmıştır.

Alüminyum levhalar üzerinde bulunan kaplamalar; ASTM D3363 standardına göre kalem sertlik testine, ASTM D3002/D3359 standardına göre çapraz kesme testine, ISO 2813:2014 standardına göre 60° açılarla parlaklık testine ve ASTM D7334 standardına göre ise temas açısı testine tabi tutulmuştur.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

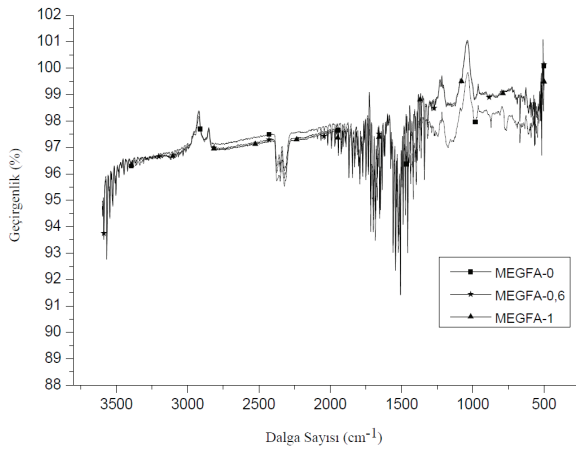
3.1 FT-IR Analizi

MEGFA ve DEGFA serisi numunelerin serbest film üzerinden yapılan FT-IR spektrumları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3 de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde 2271 cm⁻¹'de izosiyanat pikinin saf Laromer LR 9000 reçinesine göre azaldığı görülmektedir. Fakat alınan polioller oranlarının tamamen izosiyanat pikini yok edecek miktarda olmadığı görülmüştür. Şekil 3 için de aynı açıklama yapılabilir. Laromer LR 9000 ile yapılan çalışmada [19] butantriol için 100 saat sonra %10 civarında reaksiyona girmeyen serbest izosiyanat kaldığı, PEG 200 için ise 90°C sıcaklıkta 70 saat sonra reaksiyona girmeyen serbest izosiyanat kalmadığı belirtilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 göz önüne alındığında; MEGFA serisi numunelerde DEGFA serisi numunelere göre daha az izosiyanat bulunduğu görülmektedir. Bu durum ise her iki diollerin moleküler ağırlığındaki farktan kaynaklanmaktadır.

3.2 Çekme Testi

Farklı kompozisyondaki her serbest film grubu için beş farklı numune yukarıda belirtilen koşullarda test edilmiştir ve numunelerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama değerleri Tablo 3'de görülmektedir. Elde edilen değerler arasındaki ilişkinin daha kolay anlaşılabilmesi için Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de çekme mukavemeti-% floro alkol oranı ve birim şekil değişimi-% floro alkol oranı grafikleri verilmiştir.

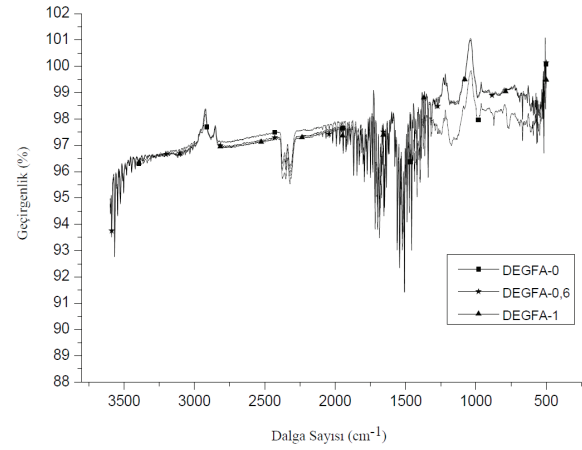
Çekme testi sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde; MEGFA serisi numunelere floro alkol oranının artmasıyla malzemenin mukavemetinde ve birim şekil değişimi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. %0 floro alkol içeren reçine sistemi ile %1 floro alkol içeren reçine sistemi kıyaslandığında maksimum gerilme değerinde %63'lük, birim şekil değişimi değerinde ise %28'lik bir artış görülmüştür. Ancak DEGFA serisi reçine sistemine bakıldığında floro alkol oranının artmasıyla maksimum gerilme değeri azalmıştır. Uzama miktarında ise küçük değişimler olmasına rağmen önemli derecede bir değişim görülmemiştir. Bu sonuçlara bakıldığında floro alkol oranının MEGFA ve DEGFA serisi numunelerinin özellikleri üzerinde aynı etkiye bulunmadığı görülmektedir. Söz konusu zıt değişimlerin bu iki alkol türevinin zincir boylarındaki farklılıktan ve DEG'de ek olarak bulunan oksijen atomundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



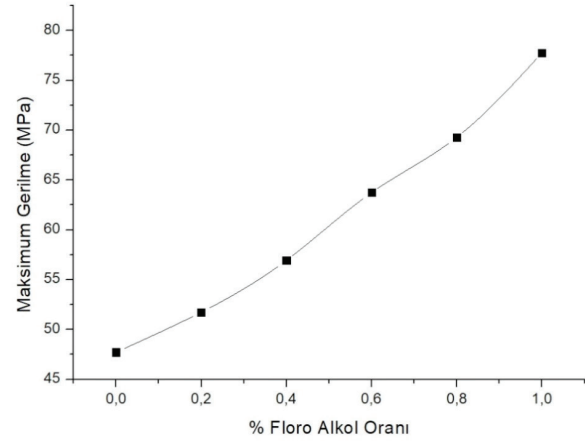
Şekil 2. MEGFA serisi numunelerinin FT-IR spektrumları

Tablo 3: Çekme testi değerleri

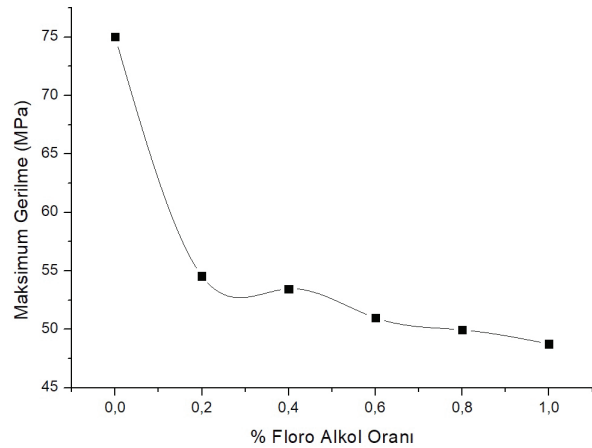
Numuneler	Maksimum smax (MPa)	Gerilme	Birim Şekil Değişimi e (%)
MEGFA-0	47,72		5,1
MEGFA-0,2	51,75		5,75
MEGFA-0,4	56,94		6,1
MEGFA-0,6	63,75		6,25
MEGFA-0,8	69,3		6,45
MEGFA-1	77,765		6,55
DEGFA-0	75,055		6,55
DEGFA-0,2	54,555		7,35
DEGFA-0,4	53,465		6,95
DEGFA-0,6	50,985		6,75
DEGFA-0,8	49,95		6,55
DEGFA-1	48,75		6,75



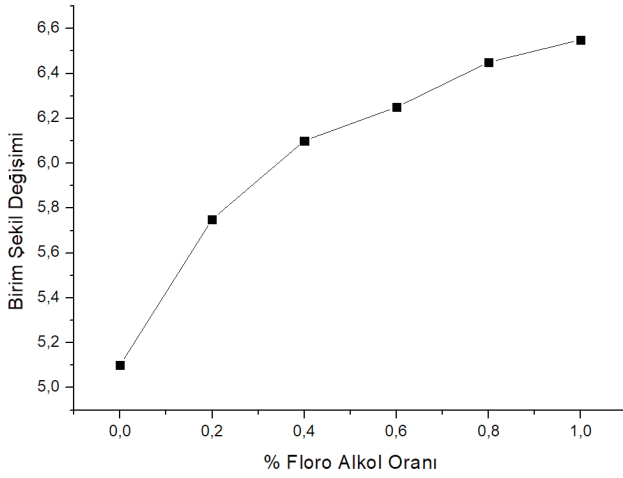
Şekil 3. DEGFA serisi numunelerinin FT-IR spektrumları



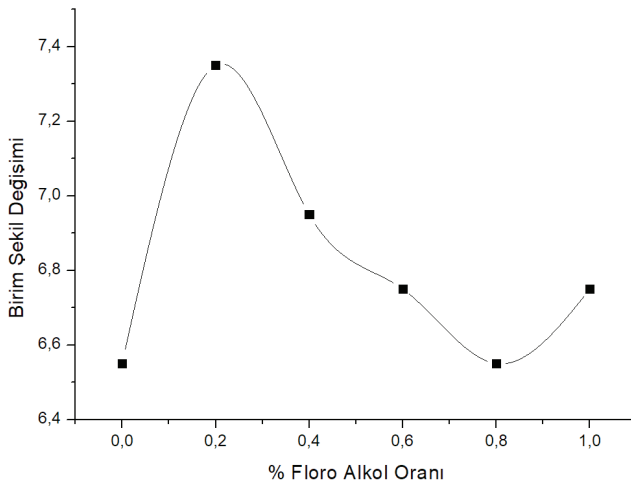
Şekil 4. MEGFA serisi serbest filmlerin floro alkol oranı ile değişen maksimum gerilme değeri



Şekil 5. DEGFA serisi serbest filmlerin floro alkol oranı ile değişen maksimum gerilme değeri



Şekil 6. MEGFA serisi serbest filmlerin floro alkol oranı ile değişen birim şekil değişim miktarı



Şekil 7. DEGFA serisi serbest filmlerin floro alkol oranı ile değişen birim şekil değişim miktarı

3.3 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Şekil 8'de verilen MEGFA serisi numunelerin DSC eğrilerini incelendiğinde; MEGFA-0 numunesinin camsı geçiş sıcaklığı 64,22 °C iken floro alkol içeriğinin artması ile bu değer MEGFA-1'de 61,96°C değerine düşmüştür. Şekil 9'da DEGFA serisi numunelerin DSC eğrilerini incelediğimizde ise; DEGFA-0 numunesinin camsı geçiş sıcaklığı 52,02°C iken floro alkol içeriğinin artması ile bu değer DEGFA-1 de yine düşme göstererek 49,79°C değerine düşmüştür. Flor içeriğinin camsı geçiş sıcaklığını düşürdüğü bilinen bir gerçek olduğuna göre bu sonuçlarda bu bilgiyle paralellik arz etmektedir. Burada dikkat çeken bir diğer sonuç ise;

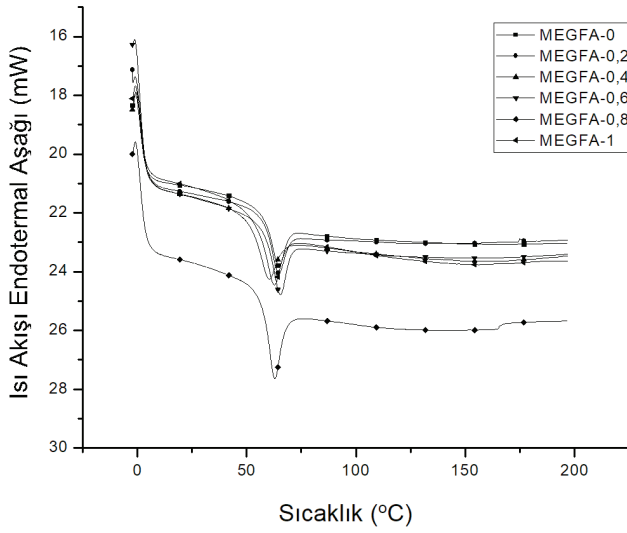
floroalkol ilavesi olmadan sadece çapraz bağlayıcı değişikliği ile (MEG ve DEG) camsı geçiş sıcaklığında 12,2°C'lik bir değişme meydana gelmesidir. Bunun sebebi DEG'in zincir boyunun daha uzun olmasından dolayı çapraz bağlar arasındaki moleküler ağırlığının daha fazla olması ve ısı ile bu zincir segmentlerinin daha kolay hareket etmeleridir.

3.4 TG/DTA Analizi

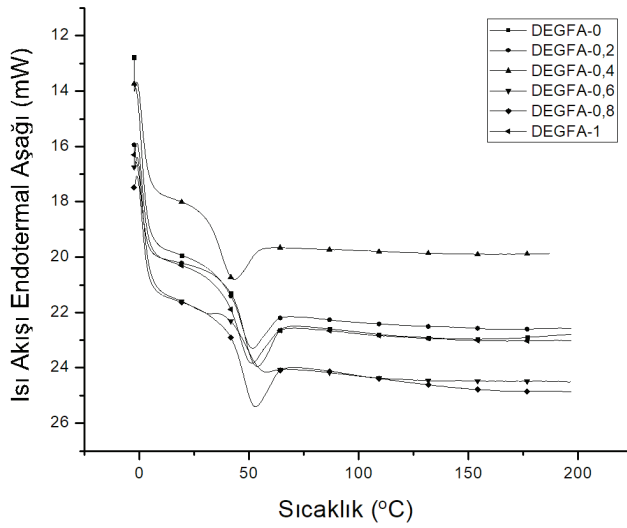
Azot atmosferi altında yapılan TG/DTA analizinde, görüntü karmaşasını önlemek için serilerden seçilen 3 numunenin sonuçları verilmiştir. DEGFA serisi numunelerin TG/DTA analiz sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Bu termogramlara göre DEGFA-0 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 304°C gibi oldukça iyi olarak nitelendirilebilecek bir sıcaklıktır. T₁ bölgesinde %27,1 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %17,8 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. DEGFA – 0,6 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 305°C'dir. T₁ bölgesinde %39,6 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %11,8 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. DEGFA – 1 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 306°C'dir. T₁ bölgesinde %38,7 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %25,1 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. DEGFA serisi numunelerin %10 oranında bozunma sıcaklıkları 305°C civarında ve T₁ sıcaklığındaki ağırlık kaybı ise maksimum 39,6 olarak gerçekleşmiştir. 800°C'de %99 un üzerinde ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

MEGFA serisi numunelerin TG/DTA analiz sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Bu termogramlara göre MEGFA-0 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 295°C'dir. T₁ bölgesinde %41,4 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %22,1 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. MEGFA-0,6 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 295°C'dir. T₁ bölgesinde %29,2 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %10,9 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. MEGFA-1 numunesinin %10 oranında bozunma sıcaklığı 296°C'dir. T₁ bölgesinde %34,9 ağırlık kaybı T₂ bölgesinde ise %55,2 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

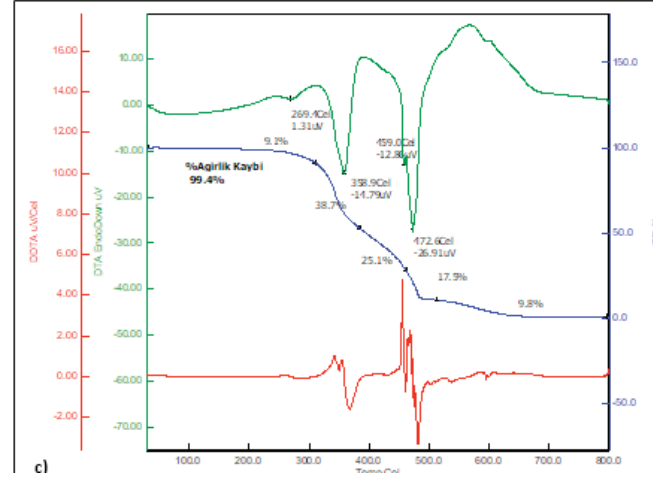
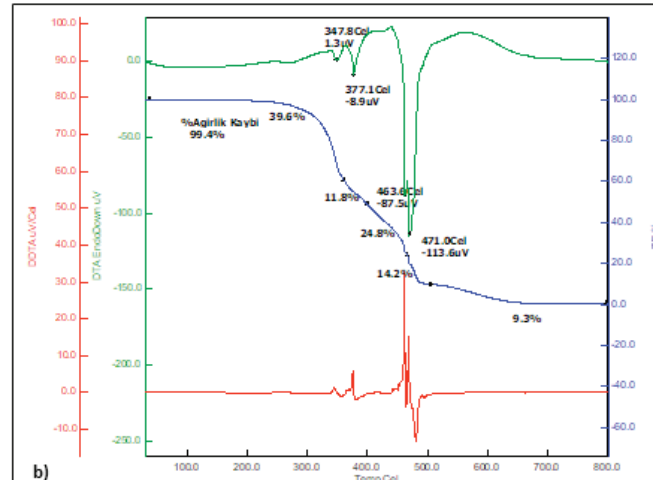
DEGFA ve MEGFA numunelerinin termal özellikleri kıyaslandığında; DEGFA serisi kaplamaların termal kararlılığının MEGFA serisinden daha iyi olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca flor ilavesi ile %10 oranındaki bozunma sıcaklığında azda olsa her iki seride de bir artma gözlemlenmiştir.



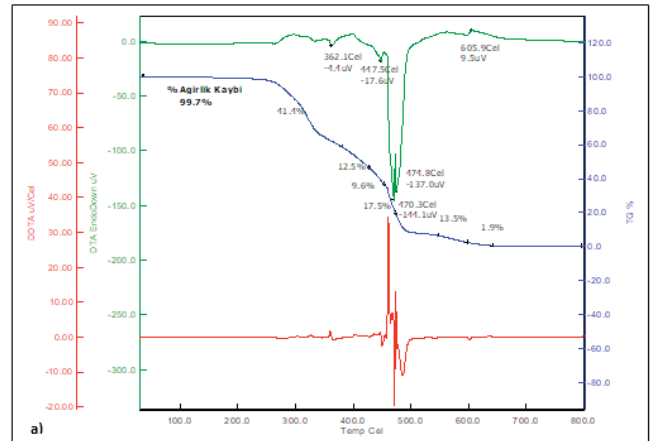
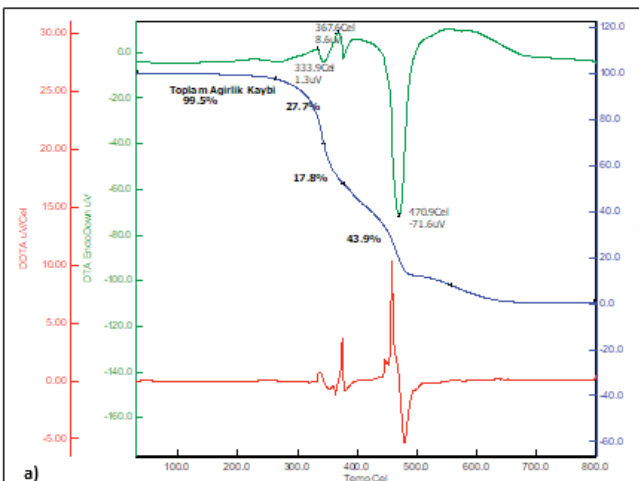
Şekil 8. MEGFA serisi serbest filmlerin DSC eğrileri

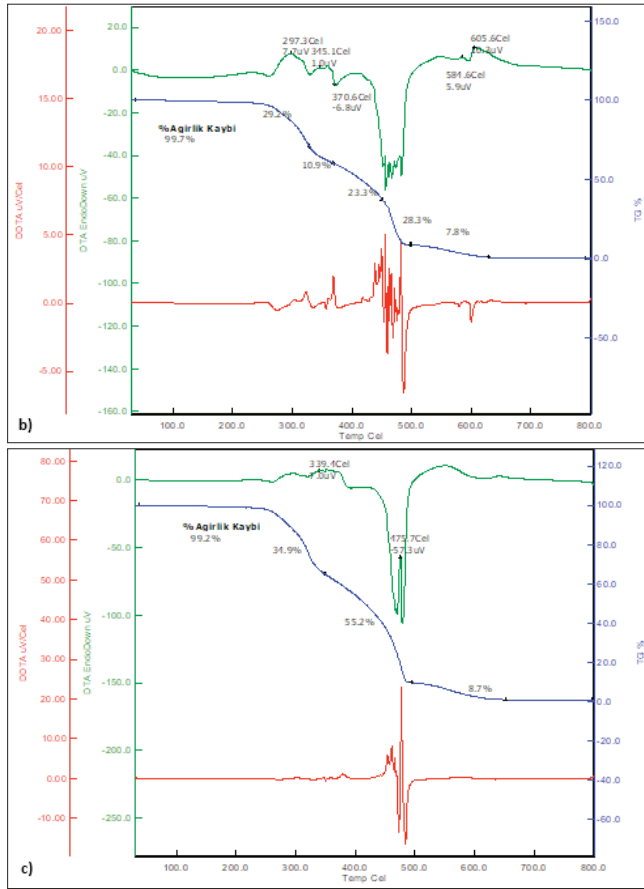


Şekil 9. DEGFA serisi serbest filmlerin DSC eğrileri



Şekil 10. DEGFA serisi serbest filmlerden sırasıyla a) DEGFA-0, b) DEGFA-0,6 ve c)DEGFA-1 numunelerinin TG/DTA termogramları





Şekil 11. MEGFA serisi serbest filmlerden sırasıyla a) MEGFA-0, b) MEGFA-0,6 ve c) MEGFA-1 numunelerinin TG/DTA termogramları

3.5 Temas Açısı Testi

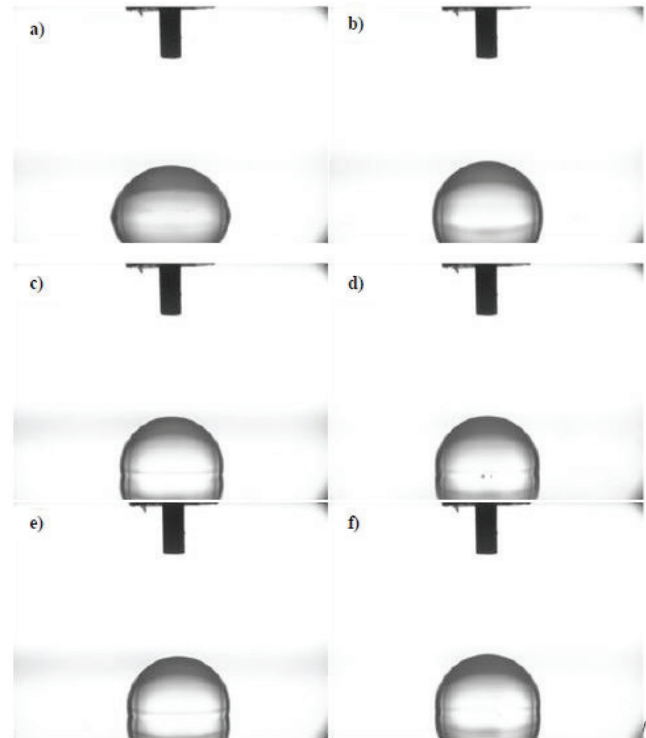
Kaplamaların temas açısı testinden elde edilen görüntüler Şekil 12 ve Şekil 13’de verilmiştir. Temas açısı değerleri ve temas açısı ölçüm cihazının yazılımı tarafından hesaplanan yüzey enerji değerleri Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. Kaplamaların temas açısı ve yüzey enerjisi değerleri

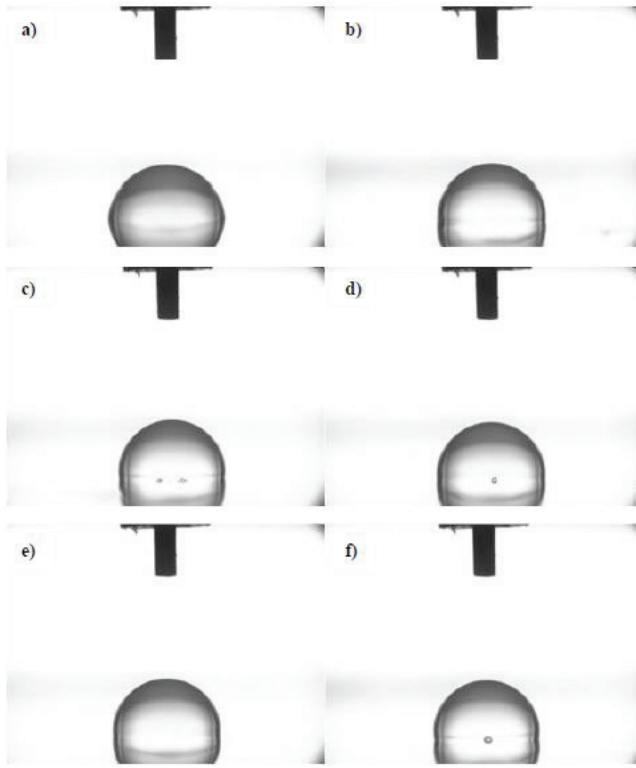
Numuneler	Temas Açısı (Derece)	Toplam Yüzey Enerjisi (mJ/m ²)
MEGFA-0	81,6	35,7
MEGFA-0,2	90,5	32,4
MEGFA-0,4	91,9	31,9
MEGFA-0,6	92,4	31,5
MEGFA-0,8	96,2	30,4
MEGFA-1	101,2	30,2
DEGFA-0	84,7	35,3
DEGFA-0,2	93,6	32,4
DEGFA-0,4	94,1	31,9
DEGFA-0,6	95,4	31,4
DEGFA-0,8	95,7	30,8
DEGFA-1	96,5	30,5

Tablo 4’deki sonuçlar incelendiğinde kaplama formülasyonundaki floro alkol oranının artmasıyla kaplamaların hidrofobiklik özelliklerinin arttığı görülmektedir. DEGFA serisi reçine sisteminde floro alkol içermeyen kaplamalarda temas açısı 84,7° ölçülürken floro alkol oranının artmasıyla bu değer giderek yükselmiş ve ağırlıkça %1 oranında floro alkol içeren kaplamada temas açısı 96,5° ölçülmüştür. MEG içeren reçine sisteminde de temas açısı 81,6°’den %1 oranında floro alkol ilavesi ile 101,2°’e kadar yükselmiştir. Bu elde edilen değerlere bakıldığında yapıdaki flor oranının artmasıyla hidrofobik özellikteki beklenen artış meydana gelmiştir. Bir yüzeyin temas açısı değeri 90°’nin üzerinde ise o yüzey hidrofob olarak adlandırılmaktadır. MEGFA-0 ve DEGFA-0 numuneleri hariç diğer tüm numune yüzeylerinin hidrofob karakterde olduğu söylenebilir.

Huibin Lei ve çalışma arkadaşlarının 2018 yılında yaptığı çalışmada elde edilen bu sonuçları destekler niteliktedir. Bu çalışmada akrilik reçine içerisine flor eklenerek ultraviyole ışık ile sertleştirilen bir kaplama hazırlanmış ve temas açısı testine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerin sonucunda flor içermeyen kaplamanın temas açısı 72° ölçülürken flor eklenmesiyle temas açısı 93°’e kadar artırılmıştır [19].



Şekil 12. MEGFA serisi numunelerin (a) MEGFA-0, b) MEGFA-0,2, c) MEGFA-0,4, d) MEGFA-0,6, e) MEGFA-0,8, f) MEGFA-1) temas açısı görüntüleri



Şekil 13. DEGFA serisi numunelerin (a) DEGFA-0, b) DEGFA-0,2, c) DEGFA-0,4, d) DEGFA-0,6, e) DEGFA-0,8, f) DEGFA-1) temas açısı görüntüleri

3.6 Kalem Sertlik Testi

Kaplama numunelerinin kalem sertlik testi sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Sertlikte bir değişme söz konusu değildir. Bilindiği gibi çapraz bağlanma oranı arttıkça malzemenin sertliğinde artış söz konusudur. Burada ise zaten ana reçinemiz oldukça sert ve yapışma mukavemeti yüksek olan bir reçine sistemidir. Dolayısıyla kalem sertliği bu kaplamanın sertliğini ayıracak nitelikte değildir.

Tablo 5. Kaplama numunelerinin bazı fiziksel test değerleri

Numuneler	Kalem Sertliği	Çapraz-Kesme Testi Değerleri	Parlaklık Değeri (60°)
MEGFA-0	6H	5B	100,37
MEGFA-0,2	6H	5B	98,17
MEGFA-0,4	6H	4B	99,10
MEGFA-0,6	6H	4B	102,87
MEGFA-0,8	6H	5B	91,67
MEGFA-1	6H	5B	88,90
DEGFA-0	6H	5B	93,05
DEGFA-0,2	6H	5B	102,45
DEGFA-0,4	6H	5B	65,14
DEGFA-0,6	6H	5B	93,52
DEGFA-0,8	6H	4B	90,45
DEGFA-1	6H	5B	100,47

3.7 Çapraz-Kesme Testi

Çapraz-kesme testi kaplamaların uygulandıkları yüzeye yapışma özelliklerinin kolayca değerlendirilebildiği basit bir test yöntemidir ve ASTM D3002/D3359 standardına göre uygulanmıştır. Test sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; MEGFA-0,4, MEGFA-0,6 ve DEGFA-0,8 numunelerinin 4B sınıfında, geri kalan tüm numunelerin ise 5B sınıfında olduğu görülmektedir. Test standartlarına göre 5B sınıfının kaplamanın yüzeye en iyi şekilde yapıştığı sınıf olduğu bilinmektedir. Bu nedenle alüminyum levha yüzeyindeki polimerik kaplamanın yüzeye sıkı bir şekilde tutunduğu ve floro alkol oranının değişimi ile önemli bir farkın ortaya çıkmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca monoetilen glikol içeren kaplama ile dietilen glikol içeren kaplama özellikleri arasında da önemli bir farklılık görülmemiştir.

3.8 Parlaklık Testi

Tablo 5’de verilen kaplama numunelerinin parlaklık testi sonuçları incelendiğinde hiç floro alkol içermeyen MEGFA-0 numunesinin 60° parlaklık testi sonucu 100,37 olarak bulunmuştur. %0,2 floro alkol ilavesi ile bu değer 98,17’e düşmüş, sonra floro alkol oranının artırılması ile ise; MEGFA-0,6 numunesinde parlaklık değeri 102,87’e kadar yükselmiştir. Floro alkol oranının artması ile tekrar parlaklık değerleri 88,90’a kadar düşmüştür. DEG serisi numunelerde ise; DEGFA-0 parlaklık değeri 93,05 iken floro alkol oranının artması ile DEGFA-0,2 numunesinde 102,45’e kadar çıkmış, DEGFA-0,4 numunesinde ise ani bir düşüş görülmüştür. Artan floro alkol oranı ile tekrar parlaklık artış göstermiştir. Her iki sistemde floro alkol içeriğinin parlaklığa etkisinin farklı olduğu görülmektedir. Floro alkol oranının artması ile parlaklık artıyor veya azalıyor diye bir yargıda bulunmamız bu çalışmada doğru olamaz. Fakat literatürde [21] yapılan çalışmalarda flor oranındaki artma ile parlaklıkta artma olduğu belirtilmiştir.

IV. DEĞERLENDİRME

Ana reçine olarak Laromer LR 9000 reçinesi UV ile sertleşen akrilat gruplarının yanında, termal olarak kondenzasyon reaksiyonu meydana getirerek bağlanmayı sağlayan izosiyanat gruplarına sahiptir. Bu izosiyanat grupları DEG, MEG ve floro alkol ile dibütiltin dilaurat katalizinin bulunduğu ortamda reaksiyona girmektedir. FT-IR spektrumları incelendiğinde 2271 cm⁻¹’de bulunan pikin tamamen kaybolmadığı görülmektedir. Bunun sebebi tam olarak izosiyanatları üratana dönüştürecek stekiyometride polioliol kullanılmamasıdır. Polioliol ilavesi ile MEGFA serisinde çekme

mukavetinde %63'lük artma sağlanmıştır. Aynı oranda artma DEGFA serisinde gözlenmemiştir. Bunun sebebinin MEG ve DEG arasındaki molekül ağırlığı farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki seride de ilave edilen floro alkol oranı camsı geçiş sıcaklığında düşmeye sebep olmaktadır. MEGFA ve DEGFA serileri arasında kıyaslama yaptığımızda MEGFA serisinin camsı geçiş sıcaklığının DEGFA'dan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; DEG'in zincir boyunun daha uzun olması, dolayısıyla çapraz bağlar arasındaki moleküler ağırlığının daha fazla olması ve ısı ile bu zincir segmentlerinin daha kolay hareket etmelelidir. Genel olarak TG eğrilerine bakıldığında %10 bozunma sıcaklığı 300°C civarındadır ve bu sıcaklık bir polimer için oldukça yüksek bir sıcaklıktır. Floro alkol oranının artması ile temas açısı değerleri her iki seri için de artmaya neden olmuştur. Floro alkol oranındaki artma ile kaplama yüzeylerinin temas açısı değerleri 90°'nin üzerine çıktığından dolayı yüzeyler hidrofob karakterdedir. Uygulanan kaplamaların alüminyum yüzeye kuvvetli bir şekilde bağlandığı çapraz kesme testi sonucunda açığa çıkmıştır. Floro alkol oranındaki artma ile birlikte parlaklık değerinde önemli artma meydana gelmemiştir. Bu kaplama çift sertleşme özelliği sayesinde UV ışığı görmeyen yüzeylerde dahi kullanılabilen hidrofob karakterde, sert ve iyi yapışma özelliğine sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Chattopadhyay, D. K., Panda, S. S., & Raju, K. V. S. N. (2005). Thermal and mechanical properties of epoxy acrylate/methacrylates UV cured coatings. *Progress in Organic Coatings*, 54(1), 10-19.
- [2] Yan, R., Yang, D., Zhang, N., Zhao, Q., Liu, B., Xiang, W., ... & Hu, W. (2018). Performance of UV curable lignin based epoxy acrylate coatings. *Progress in Organic Coatings*, 116, 83-89.
- [3] Chen, X., Hu, Y., Song, L., & Jiao, C. (2008). Preparation and thermal properties of a novel UV-cured star polyurethane acrylate coating. *Polymers for Advanced Technologies*, 19(4), 322-327.
- [4] Park, C. H., Lee, S. W., Park, J. W., & Kim, H. J. (2013). Preparation and characterization of dual curable adhesives containing epoxy and acrylate functionalities. *Reactive and Functional Polymers*, 73(4), 641-646.
- [5] Shen, L., Li, Y., Zheng, J., Lu, M., & Wu, K. (2015). Modified epoxy acrylate resin for photocurable temporary protective coatings. *Progress in Organic Coatings*, 89, 17-25.
- [6] Decker, C. (2002). Kinetic study and new applications of UV radiation curing. *Macromolecular Rapid Communications*, 23(18), 1067-1093.
- [7] Velankar, S., Pazos, J., & Cooper, S. L. (1996). High-performance UV-curable urethane acrylates via deblocking chemistry. *Journal of applied polymer science*, 62(9), 1361-1376.
- [8] Park, Y. J., Lim, D. H., Kim, H. J., Park, D. S., & Sung, I. K. (2009). UV-and thermal-curing behaviors of dual-curable adhesives based on epoxy acrylate oligomers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(7), 710-717.
- [9] Zhang, J. Y., Windall, G., & Boyd, I. W. (2002). UV curing of optical fibre coatings using excimer lamps. *Applied surface science*, 186(1-4), 568-572.
- [10] Studer, K., Decker, C., Beck, E., & Schwalm, R. (2005). Thermal and photochemical curing of isocyanate and acrylate functionalized oligomers. *European polymer journal*, 41(1), 157-167.
- [11] Decker, C., Masson, F., & Schwalm, R. (2003). Dual-Curing of Waterborne Urethane-Acrylate Coatings by UV and Thermal Processing. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288(1), 17-28.
- [12] Jung, T., Simmendinger, P., Studer, K., & Tobisch, W. (2006). Plasma technology: a solution for UV curing on 3-dimensional substrates.
- [13] Fouassier, J. P., & Rabek, J. F. (Eds.). (1993). *Radiation curing in polymer science and technology: Practical aspects and applications* (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
- [14] Li, T. X., & Chen, F. (2015). Study of Organic Fluorine Modified Epoxy Acrylic Cathodic Electrodeposition Coatings. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 722, pp. 30-33). Trans Tech Publications.
- [15] Bongiovanni, R., Di Meo, A., Pollicino, A., Priola, A., & Tonelli, C. (2008). New perfluoropolyether urethane methacrylates as surface modifiers: Effect of molecular weight and end group structure. *Reactive and Functional Polymers*, 68(1), 189-200.
- [16] Bongiovanni, R., Medici, A., Zompatori, A., Garavaglia, S., & Tonelli, C. (2012). Perfluoropolyether polymers by UV curing: design, synthesis and characterization. *Polymer International*, 61(1), 65-73.
- [17] Jeon, J. H., Park, Y. G., Lee, Y. H., Lee, D. J., & Kim, H. D. (2015). Preparation and properties of UV-curable fluorinated polyurethane acrylates containing crosslinkable vinyl methacrylate for antifouling coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(26).
- [18] Wu, J., Zhang, R., Ma, G., Hou, C., & Zhang, H. (2017). Preparation and properties of fluorinated oligomer with tertiary amine structure in the UV curable coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(2).
- [19] Studer, K., Decker, C., Beck, E., & Schwalm, R. (2005). Thermal and photochemical curing of isocyanate and acrylate functionalized oligomers. *European polymer journal*, 41(1), 157-167.
- [20] Lei, H., He, D., Guo, Y., Tang, Y., & Huang, H. (2018). Synthesis and characterization of UV-absorbing fluorine-silicone acrylic resin polymer. *Applied Surface Science*, 442, 71-77.
- [21] Çakır, M. (2017). Investigation of Coating Performance of UV-Curable Hybrid Polymers Containing 1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorooctyltriethoxysilane Coated on Aluminum Substrates. *Coatings*, 7(3), 37.

Ramalina calicaris (L.) Fr. Liken Türünün Antibakteriyel ve Antioksidan Aktivitesi

Antibacterial and Antioxidant Activities of the Lichen Species *Ramalina calicaris* (L.) Fr.

Damla GÜNEŞ YÜCEL¹ , Gülşah ÖZYİĞİTOĞLU² 

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kadıköy/İstanbul, TÜRKİYE.

²Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kadıköy/İstanbul, TÜRKİYE.

Öz

Bu çalışmada *Ramalina calicaris* (L.) Fr. liken türünün antibakteriyel ve antioksidan aktivitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bolu'da iki farklı lokasyondan (Mudurnu-Aladağlar) toplanmış olan *R. calicaris* türüne ait liken örnekleri; ayrıştırma ve teşhis yapıldıktan sonra yıkanmış, kurutulmuş ve aseton çözücüsü kullanılarak özütleri çıkarılmıştır. Liken aseton özütlerinin antibakteriyel aktiviteleri iki Gram negatif (CECT 4122 *Pseudomonas aeruginosa*, ATCC 25922 *Escherichia coli*) ve iki Gram pozitif (ATCC 29212 *Enterococcus faecalis*, ATCC 25923 *Staphylococcus aureus*) bakteri üzerinde disk difüzyon yöntemiyle araştırılmıştır. Araştırma sonucunda aynı ilde iki farklı lokasyondan toplanmış olan liken örneklerine ait özütlerin ikisinin de sadece Gram pozitif olan *E. faecalis* ve *S. aureus* üzerinde antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu, fakat antibakteriyel aktiviteleri arasında çok büyük farklılıklar olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, antibakteriyel etkinliği nispeten daha yüksek bulunan Bolu-Aladağlar lokasyonundan toplanmış olan *R. calicaris* örneklerinin CUPRAC metodu kullanılarak antioksidan aktivitesi de araştırılmıştır. *R. calicaris* aseton özütünün belirli bir düzeyde kromojenik oksidan indirgeme kapasitesine sahip olduğu, dolayısıyla antioksidan aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Liken, *Ramalina calicaris*, antibakteriyel aktivite, antioksidan aktivite

Abstract

In this study, the antibacterial and antioxidant activities of the lichen species *Ramalina calicaris* (L.) Fr. were investigated. Lichen samples belonging to *R. calicaris* were collected from two different locations (Mudurnu-Aladağlar) in Bolu. After the separation and the identification steps, the samples were washed, dried and then extracted using an acetone solvent. Antibacterial activities of the acetone extracts were investigated by disk diffusion method on two Gram negative (CECT 4122 *Pseudomonas aeruginosa*, ATCC 25922 *Escherichia coli*) and two Gram positive (ATCC 29212 *Enterococcus faecalis*, ATCC 25923 *Staphylococcus aureus*) bacteria. As a result of the study, the both extracts of lichen samples collected from two different locations in Bolu had antibacterial activity on only Gram positive *E. faecalis* and *S. aureus*. However, they did not show a great difference between their antibacterial activities. Antioxidant activity studies were also carried out with *R. calicaris* samples collected from Bolu-Aladağlar location, which indicated relatively higher antibacterial activity by using CUPRAC method. It has been found that *R. calicaris* acetone extract has antioxidant activity as it has a certain level of chromogenic oxidant reduction capacity.

Keywords: Lichen, *Ramalina calicaris*, antibacterial activity, antioxidant activity

I. GİRİŞ

Belirli mantarlar ile belirli alg veya siyanobakterilerin mutualist olarak biraraya gelerek oluşturduğu likenlerin çok uzun yıllardır yiyecek, boya maddesi ve kozmetik alanında hammadde olarak örneklendirilebilecek kullanımları olduğuna dair bilgiler mevcuttur [1]. Fakat likenlerin antibakteriyel, antioksidan, antiviral, antifungal, antikanser gibi tıbbi alandaki etkinliklerinin araştırılması geleneksel ilaçlar olarak kullanılıyor olmalarından köken almıştır ve likenler üzerinde antibiyotik etkinlik

araştırmalarının başlangıç tarihi 2. Dünya Savaşı'nın sonrasına tekabül etmektedir [2]. Zaman içinde yapılan araştırmalar sonucu likenlerin bünyesinde likene özgü bir veya birden çok sayıda biyolojik olarak aktif sekonder metabolit bulunduğu ve günümüzde bu liken metabolitlerinin sayısının yaklaşık 1050 civarında olduğu belirlenmiştir [3].

Ramalina cinsinde bulunan likene özgü metabolitler üzerine yapılan araştırmalar; bu cinsin çeşitli türlerinde usnik asit, lekanorik asit, fumarprotosetrarik asit, protosetrarik asit, evernik asit, stiktik asit türevleri ve atranorin gibi çok sayıda sekonder metabolit bulunduğunu göstermiştir [4]. Bu metabolitlere sahip olan *Ramalina* cinsine ait bazı türlerin de dahil olduğu çeşitli liken türleri ile yapılan antimikrobiyal aktivite araştırmaları, bu metabolitlerin Gram (+) ve Gram (-) bazı bakterilerde dikkate değer ölçüde antimikrobiyal etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur [5-8]. Yine *Ramalina* cinsinin bazı türleri üzerinde antioksidan aktivite araştırmaları yapılmış ve bu araştırmalardan *Ramalina* cinsine ait türlerde antioksidan kapasitenin yüksek olduğuna dair sonuçlar elde edilmiştir [9-13].

Günümüzde sentetik maddelerin zararları konusunda bilinç arttıkça insanlar doğala yönelmekte ve sentetik kökenli antioksidanlar daha az tercih edilir hale gelmektedir. Aynı zamanda mevcut antibiyotiklere karşı direnç kazanan bakterilere karşı kullanılacak alternatiflerin sayısı gün geçtikçe azalmaktadır. Bu da mikrobiyal hastalıkların antibiyotik tedavisinde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada doğal bir alternatif kaynak olma potansiyeline sahip olan *R. calicaris* liken türünün antibakteriyel ve antioksidan aktivitesinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Liken Aseton Özütlerinin Eldesi

Deneylerde kullanılan *R. calicaris* türü liken örnekleri Bolu ili Mudurnu'dan 24.04.2016 ve Aladağlar'dan 25.04.2016 tarihlerinde toplanmıştır. Örneklerin ayırt edilebilmesi için Mudurnudan toplanan örnekler *R. calicaris* (MUD) ve Aladağlardan toplanan örnekler ise *R. calicaris* (ALA) şeklinde belirtilmiştir. Toplanan örnekler Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Gülşah ÖZYİĞİTOĞLU tarafından Marmara Üniversitesi Herbariumu'nda teşhis edilmiştir. Likenlerin tür olarak teşhisi yapıldıktan sonra yabancı maddelerden ayıklanarak yıkanmış ve kurutulmuştur. 3'er gram tartılarak havanda ezilen liken örnekleri toz haline getirilmiş ve steril falkon tüplere alınarak üzerlerine 35 mililitre aseton eklenmiştir. Aseton içerisindeki likenler 24 saat karanlık bir ortamda bekletilmiş

ve filtre kağıdıyla süzülerek steril cam petrilere aktarılmıştır. Cam petrilere 24 saat çeker ocakta bekletilerek asetonun uçması sağlanmıştır. Aseton uçtuktan sonra kalan toz halindeki liken özütleri kazanarak toplanmış ve steril ependorf-lara alınmıştır. Steril ve uygun şartlarda muhafaza edilmiş olan toz *R. calicaris* (ALA) ve *R. calicaris* (MUD) özütleri antibakteriyel ve antioksidan aktivite deneylerinde kullanılmak üzere konsantrasyonları 9 miligram/mililitre olacak şekilde tekrar asetonla çözülerek kullanılmıştır.

2.2. Bakterilerin Çoğaltılması

Antibakteriyel aktivite deneyinde kullanılan bakteri suşları (ATCC 29212 *E. faecalis*, ATCC 25923 *S. aureus*, CECT 4122 *P. aeruginosa*, ATCC 25922 *E. coli*) Yeditepe Üniversitesi Merkez Mikrobiyoloji Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. Bakteri suşları Luria Bertoni (LB) besiyeri kullanılarak üretici firmanın prosedürlerine uygun şartlarda çoğaltılmış ve muhafaza edilmiştir. Deney için kullanılmak üzere stok bakteri kültürlerinden steril şartlarda LB agar besiyeri içeren steril petrilere pasaj alınmış ve 37 °C 'de 24 saat bekletilerek bakterilerin aktive olmaları sağlanmıştır. Aktive olmuş bakteri kültürlerinden steril özeyle alınan bakteriler LB broth besiyerine eklenmiş ve UV-VIS Spektrofotometre (Beckman Coulter DU 730) kullanılarak bakteri konsantrasyonları 0.5 McFarland'a ayarlanmıştır.

2.3. Antibakteriyel Aktivite Testleri

Liken özütlerinin antibakteriyel aktiviteleri disk difüzyon yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Liken aseton özütleri mikropipet kullanılarak 6 mm çapındaki steril disklere 20 µL, 40 µL ve 80 µL miktarlarında emdirilmiştir. Emdirme işlemi diskin bir yüzeyine emdirilen asetonun uçması beklenerek aynı işlemin diğer yüzeye uygulanması ve belirlenen miktar emdirilene kadar aynı işlemin tekrarlanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda disklerdeki özüt konsantrasyonu; 20 µL'de 0.18 mg, 40 µL'de 0.36 mg ve 80 µL'de 0.72 mg olmuştur. LB agar besiyeri içeren steril petrilere 0.5 McFarland konsantrasyonundaki bakterilerden steril şartlarda 35 µL ekim yapılmış ve steril cam L baget ile besiyeri üzerine tamamen yayılması sağlanmıştır. Özüt emdirilmiş diskler ekimi yapılmış olan petrilere steril şartlarda her biri birbirine uygun mesafede olacak şekilde 3'er dozaj olarak yerleştirilmiş ve aynı petrilere karşılaştırma yapmak amacıyla standart antibiyotik diskler de uygun bir mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ekimi yapılmış ve diskleri yerleştirilmiş olan petrilere 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda liken özütü içeren disklerin ve antibiyotik disklerin etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapları cetvel ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Aseton çözücüsünün bakteriler üzerinde inhibe edici etkiye sahip olup olmadığını belirlemek için aseton emdirilmiş ve uçurulmuş diskler kullanılmıştır. Kontrol grubu olarak Gram (-) bakteriler üzerinde Ciprofloxacın 5 µg, Gram (+) bakteriler üzerinde ise Sulphamethoxazole 25 µg antibiyotik diskleri kullanılmıştır. Deneyler 3 tekrarlı olarak çalışılmış ve sonuçlar ortalama değer üzerinden hesaplanmıştır.

2.4. Antioksidan Aktivite Testleri

Antioksidan etkinlik araştırması, *R. calicularis* (ALA) ve *R. calicularis* (MUD) liken örnekleri üzerinde gerçekleştirilen antibakteriyel aktivite testi sonucunda nispeten daha yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu tespit edilen *R. calicularis* (ALA) örnekleri üzerinde yapılmıştır. *R. calicularis* (ALA) aseton özütünün antioksidan etkinliği Apak ve arkadaşları tarafından 2004'te geliştirilen CUPRAC yöntemi ile belirlenmiştir [14]. CUPRAC yöntemi için 3 farklı solüsyon hazırlanmıştır;

1.0 x 10⁻²M olacak şekilde CuCl₂. 2H₂O 0,4262 g tartılıp distile suyla 250 mL'ye tamamlanmış, 1.0 M amonyum asetat 19.27 g tartılıp distile su ile 250 ml'ye tamamlanmış ve 7.5×10⁻³ M olacak şekilde Neokuproin'den 0.156 g tartılarak etanolle 100 mL'ye tamamlanmıştır.

Bir cam tüp içerisine hazırlanan üç solüsyondan 50'şer µL alınmış ve üzerine 55 µL liken özütü koyularak tüp iyice çalkalanmıştır. (CUPRAC metoduna göre toplam 4.1 mL olması gereken hacim 20'de 1'i olacak şekilde oranlanmıştır.)

Ağız kapatılan tüp oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Kontrol grubu hazırlanan üç solüsyondan 50'şer µl alınarak ve üzerine 55 µl aseton ilave edilerek hazırlanmıştır. 30 dakika sonra örnekler UV spektrofotometrede 450 nm absorbansta ölçülmüştür. Referans antioksidan olarak troloks kullanılmıştır. Deneyler kontrol grupları kullanılarak ve 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Elde edilen verilerin ortalamaları ve standart sapmaları belirlenmiştir.

III. BULGULAR

3.1. Antibakteriyel Aktivite

Çalışmada Bolu ilinde Mudurnu ve Aladağlar lokasyonlarından toplanmış olan *R. calicularis* liken örneklerinin aseton özütlerinin antibakteriyel etkinliğini belirleyebilmek için disk difüzyon yöntemi kullanılmıştır. Steril disklere artan oranlarda emdirilen özüt *E. faecalis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli* bakterilerine uygulanmıştır. Oluşan zonların çapları diskler dahil şekilde ölçülmüş ve milimetre cinsinden kaydedilmiştir. Asetonun inhibe edici etkinliğini test etmek için hazırlanmış kontrol grubu olan özütsüz disklerde aktivite gözlenmemiştir. Üçer farklı dozda test edilen *R. calicularis* (ALA)'nın antimikrobiyal aktivite sonuçları Tablo 1'de ve *R. calicularis* (MUD) ise Tablo 2'de verilmiştir. Kontrol grubu olarak Gram (-) bakteriler üzerinde Ciprofloxacın 5 µg (CIP 5), Gram (+) bakteriler üzerinde ise Sulphamethoxazole 25 µg (SXT 25) antibiyotik diskleri kullanılmıştır.

Tablo 1. *R. calicularis* (ALA) aseton özütü inhibisyon zonları (mm)

Bakteriler	İnhibisyon zonları (mm)				
	ALA 0.18 mg	ALA 0.36 mg	ALA 0.72 mg	CIP 5 µg	SXT 25 µg
<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	11.6±0.6	12.6±0.6	13.3±0.6	D	24.6±0.6
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	12±0	13±0	13.6±0.6	D	25.3±1
<i>P. aeruginosa</i> CECT 4122	-	-	-	32.8±0.6	D
<i>E. coli</i> ATCC 25922	-	-	-	25±0.6	D

(-): İnhibisyon yok, D: Denenmedi.

Tablo 2. *R. calicularis* (MUD) aseton özütü inhibisyon zonları (mm)

Bakteriler	İnhibisyon zonları (mm)				
	MUD 0.18 mg	MUD 0.36 mg	MUD 0.72 mg	CIP 5 µg	SXT 25 µg
<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	11.3±1	12±1.7	13±1	D	25±1
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	11±1	12.3±0.6	13±0	D	25.3±0.6
<i>P. aeruginosa</i> CECT 4122	-	-	-	33±0.6	D
<i>E. coli</i> ATCC 25922	-	-	-	25±0.6	D

(-): İnhibisyon yok, D: Denenmedi.

R. calicaris (ALA) ve *R. calicaris* (MUD) aseton özütlerinin uygulanan dozları Gram negatif *P. aeruginosa* ve *E. coli* üzerinde antimikrobiyal aktiviteye sahip olmazken Gram pozitif *E. faecalis* ve *S. aureus* üzerinde belirli büyüklüklerde inhibisyon zonları oluşturarak antibakteriyel aktivite göstermiştir.

R. calicaris (ALA) ve *R. calicaris* (MUD) örneklerinin her ikisinin de aseton özütlerinin uygulanan dozundaki artışa paralel olarak Gram pozitif *E. faecalis* ve *S. aureus* üzerinde antibakteriyel aktivitede artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Deneyde araştırılan bakterilerden kullanılan liken özütlerine karşı en duyarlı olan *S. aureus* olmuştur. Gram negatif bakterilerin ikisine karşı da herhangi bir antibakteriyel etkinlik tespit edilemezken Gram pozitif bakterilerin ikisine karşı da antibakteriyel etkinlik gözlemlenmesi liken özütlerinin etkinliğinin bakteri hücre duvarının özelliklerine göre değişebileceğini düşündürmektedir.

Test edilen liken özütlerinin hiçbir dozajı mukayese antibiyotikinden daha yüksek bir antibakteriyel etkinlik göstermemiştir.

3.2. Antioksidan Aktivite

R. calicaris (ALA) aseton özütünün antioksidan aktivitesi CUPRAC yöntemiyle belirlenmiştir. Kontrol grubu olarak CUPRAC reaktifine sadece aseton eklenmiştir. Referans antioksidan olarak troloks kullanılmıştır. Troloks kalibrasyon grafiği hazırlanmış, grafikte belirtilen troloks miktarlarının antioksidan etkinliği incelenerek, troloksun miktarına bağlı etkinliğiyle liken özütünün etkinliği orantılanmıştır. Absorbans ve molar derişim grafiğinin eğiminden molar absorplama katsayısı bulunmuş, bulunan bu değer troloksun molar absorplama katsayısına bölünerek troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi bulunmuştur.

R. calicaris (ALA) aseton özütü için CUPRAC yöntemiyle elde edilen sonuç; $5.996 \pm 0.122 \mu\text{g}$ Troloks eşdeğerleri (TE) /g (kuru ağırlık)'dır. Troloksun 5,996 mikrogramının antioksidan etkinliğinin *R. calicaris* (ALA) aseton özütünün 1 gramının antioksidan etkinliğine eşdeğer olduğu belirlenmiştir.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Likenlerin ilaç olarak kullanımları ilk olarak görüntülerinin benzer olduğu organlardaki hastalıklara iyi geleceğine dair bir düşünceyle denenmiş, bu denemelerden bazı ümit verici sonuçlar elde edilmesiyle de likenler ve içeriğinde bulundurduğu kimyasal maddeler bilimsel araştırmaların konusu olmuştur [1]. *R. calicaris*'in geçmiş yıllarda

peruk boyası olarak ve sarı – kırmızı yün boyası olarak kullanıldığı bilinmektedir [15]. Ayrıca XX. yüzyılın başlarından beri Avrupa'da kozmetik alanında saç pudrası olarak kullanılmıştır [16]. Bunların yanı sıra; Libya'da *Ramalina farinacea*, *Usnea plicata* ve *Pseudevernia furfuracea* ile birlikte kaynatılarak scı'ba adı verilen geleneksel bir ilaç olarak kullanıldığına dair bilgiler bulunmaktadır [17]. Liken metabolitleri üzerine yapılan araştırmalar sonucu antimikrobiyal, antifungal, antikanser, antiviral, antipiretik, anti-inflamatuar, analjezik ve anti-protozoal gibi pek çok biyolojik aktiviteye sahip olduğu belirlenen usnik asit metaboliti ilk kez 1834 yılında *R. calicaris*'in de aralarında bulunduğu bir kaç liken türünden izole edilmiştir [18].

Çalışmamızda Bolu ilinden toplamış olduğumuz *R. calicaris*'in aseton özütünün disk difüzyon yöntemiyle Gram pozitif olan *E. faecalis* ve *S. aureus* üzerinde antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu, fakat Gram negatif *E. coli* ve *P. aeruginosa*'ya karşı ise antibakteriyel etkisi bulunmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca antioksidan aktivite araştırması CUPRAC yöntemiyle yapılmış olup *R. calicaris* aseton özütünün belirli bir düzeyde kromojenik oksidan indirgeme kapasitesine sahip olduğu, dolayısıyla antioksidan aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda *R. calicaris* aseton özütünün test edilen Gram pozitif bakterilere karşı antibakteriyel etkinlik gösterirken Gram negatif bakterilere karşı etkinlik göstermemiş olması içerisinde bulunan usnik asit metabolitinin miktarına bağlı olabilir. Çünkü çeşitli çalışmalar usnik asit miktarı yüksek olan liken türlerinin daha yüksek antibakteriyel etkinliğe sahip olduğunu göstermiştir [19,20]. *R. calicaris* aseton özütünün belirli bir seviyede antioksidan etkinliği bulunduğu fakat bu etkinlik seviyesinin diğer bazı liken türlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir [21]. Bunun sebebi bünyesinde bulundurduğu ve antioksidan etkinliği diğer çalışmalarla belirlenmiş olan Sekikaic asit [22] ve Usnik asit [23] miktarına bağlı olabilir. Ayrıca liken bünyesinde bulunan metabolitlerin farklı çözücüler karşısında farklı seviyelerde açığa çıktığı ve bu durumun da araştırılan biyolojik aktiviteler üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir [24].

Tay ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada *R. farinacea*'nın aseton özütünün antimikrobiyal etkisini *S. aureus* (ATCC 6538), *E. coli* (ATCC 25922) ve *P. aeruginosa* (ATCC 27853)'nın da içerisinde bulunduğu çok sayıda bakteri ve mantar üzerinde denemişlerdir. Kirby & Bauer disk difüzyon yöntemiyle yapılmış olan deneyin sonucunda, çalışmamızda da test edilmiş olan bakterilerden *S. aureus*'a karşı antibakteriyel etkisi olduğunu, *E. coli* ve *P. aeruginosa*'ya karşı ise antibakteriyel etki bulunmadığını tespit etmişlerdir [25]. Çalışmamızda da *S. aureus*'a karşı antibakteriyel etki elde edilirken, Gram negatif olan *E. coli* ve *P. aeruginosa*'ya

karşı herhangi bir etkinlik görülmemesi çalışma sonuçlarının paralel olduğunu göstermektedir.

Çobanoğlu ve ark. (2010) *R. farinacea*, *Platismatia glauca*, *Evernia divaricata*, *Bryoria fuscescens* ve *Alectoria sarmentosa* liken türlerinin antibakteriyel etkinliklerini Gram (-) olan *P. aeruginosa*, *Acinetobacter* sp. ve *E. coli* ATCC 11666 bakterileri üzerinde test etmişlerdir. Çözücü olarak kloroform ve aseton kullanmışlardır. Araştırılan liken türlerinin üç bakteri türü üzerinde de farklı seviyelerde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda test edilen liken türüyle aynı cins mensup *R. farinacea*'dan *P. aeruginosa*'ya karşı aseton özütünde, *E. coli*'ye karşı ise kloroform özütünde antibakteriyel etki elde etmişlerdir [26]. Çalışmamızda ise aseton özütüyle bu iki Gram negatif bakteriye karşı da antibakteriyel etki görülemedi. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar arasındaki farklılık çözücülerin farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir, çünkü farklı çözücüler liken içindeki farklı metabolitleri etkin hale getirebilmektedir. Aynı zamanda sonuçların farklılığı tür bazındaki farklılıktan, usnik asit miktarlarının farklı olmasından veya deneyin uygulanma metodundan ileri geliyor olabilir.

Sesal ve ark. (2016) *Ramalina* cinsine mensup *R. canariensis*, *R. chondrina*, *R. fastigiata* ve *R. fraxinea* türlerinin metanol ve kloroform özütlerinin antimikrobiyal aktivitesini 2 Gram negatif (*P. aeruginosa* ve *E. coli*), 2 Gram pozitif bakteri (*E. faecalis* ve *S. aureus*) ve 1 maya (*C. albicans*) türüne karşı araştırmışlardır. Gram negatif bakteri türlerine karşı sadece *R. canariensis* ve *R. chondrina* türlerinin kloroform özütleri etkinlik göstermiştir. Aynı zamanda bu iki türün kloroform özütleri *E. coli* üzerinde standart antibiyotikten daha etkili olmuştur. *E. faecalis* üzerinde sadece *R. canariensis* ve *R. chondrina* türlerinin metanol özütleri hiçbir etkinlik göstermemiştir. *S. aureus* üzerinde 4 liken türüne ait bütün özütler belirli düzeylerde antimikrobiyal etkinlik göstermiştir fakat hiçbiri standart antibiyotikten daha etkili çıkmamıştır [27]. Çalışmamızda Gram negatif bakterilere (*E. coli*, *P. aeruginosa*) karşı inhibe edici bir etki elde edilememiş olup, Gram pozitif bakterilere (*E. faecalis*, *S. aureus*) karşı ise standart antibiyotikten daha düşük seviyede inhibe edici etki gözlemlenmiştir. Aynı cins ait bu liken türleri arasındaki antimikrobiyal etkinlik farklılıkları türlerin sahip olduğu sekonder metabolitlerin veya bu metabolitlerin miktarlarının farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu farklılıklar ise sıcaklık, pH, kuraklık gibi abiyotik etmenlerden, coğrafi yayılıştan veya küresel ısınma gibi etmenlerin oluşturduğu çevresel koşullardan, karbon ve nitrojen kaynağının niteliğinden ve hava kirliliğinden ileri geliyor olabilir [28]. Aynı zamanda farklı çözücülerle hazırlanmış özütlerin aynı bakteri üzerinde farklı etki gösteriyor olması çözücülerin bazı sekonder metabolitleri daha etkin ortaya çıkarıyor

olabileceğine işaret etmektedir. Bu durumda *R. calicaris* türünün farklı çözücüler kullanılarak elde edilecek özütünün Gram negatif bakteriler üzerinde de etkili olabileceği veya Gram pozitif bakterilere karşı daha yüksek antibakteriyel etki gösterebileceği düşünülebilir.

Zrnzević ve ark. (2017) *Ramalina capitata* 'nın aseton özütünün antibakteriyel aktivitesini iki Gram pozitif ve üç Gram negatif bakteriye karşı disk difüzyon yöntemini kullanılarak test etmişlerdir. Test edilen Gram pozitif bakteriler; *Bacillus spizizenii* ve *S. aureus*, Gram negatif bakteriler ise; *E. coli*, *P. aeruginosa* ve *Salmonella abony*'dir. Analizler sonucu bu liken türüne ait aseton özütünün Gram pozitif bakterilere karşı yüksek antibakteriyel etkinliği olduğu, Gram negatif bakterilere karşı ise etkinliği olmadığı belirlenmiştir. Test edilen standart antibiyotigin liken özütüne kıyasla daha yüksek bir etkinliği olduğu belirlenmiştir [21]. Çalışmamızda da *P. aeruginosa* ve *E. coli*'ye karşı etkinlik oluşmamış ve standart antibiyotik daha etkili çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar iki çalışmanın paralel olduğunu ve bu iki türün benzer özellikte olduğunu göstermektedir. Zrnzević ve ark. (2017) aynı çalışmada *R. capitata* 'nın aseton özütünün antioksidan aktivitesini de CUPRAC yöntemiyle test etmişlerdir. Konsantrasyonu 15 mg/mL olan metanolde çözünmüş özütün toplam antioksidan kapasitesini troloks eşdeğeri cinsinden 6.1176 ± 0.2964 µg Troloks eşdeğerleri (TE) /mg (kuru ağırlık) bulmuşlardır. Çalışmamızda ise konsantrasyonu 9 mg/mL olan *R. calicaris* (ALA) aseton özütü için elde edilen sonuç; 5.996 ± 0.122 µg Troloks eşdeğerleri (TE) /g (kuru ağırlık)' dir. İki çalışma arasındaki antioksidan etkinlik farkının tür farklılığından kaynaklanacağı gibi, özütlerin konsantrasyon farkından da kaynaklanıyor olabileceği düşünülebilir. Aynı makalede araştırmacılar kendi çalışmalarını Zlatanović ve ark. (2017) tarafından yapılmış güncel bir çalışmayla karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada *Umbilicaria crustulosa* likeninin aseton özütünün troloks eşdeğeri cinsinden tam antioksidan kapasitesi 19.7641 ± 0.0166 µg TE / mg bulunmuştur [29]. Araştırmacılar bu türün kendi çalışmış oldukları *R. capitata* örneğinden daha etkili olduğunu belirtmişlerdir, nitekim bizim çalışmamızda test ettiğimiz türden de daha etkilidir. Bu durum kullanılan çözücü ve yöntemin aynı olmasıyla tür bazındaki antioksidan etkinlik farklılığını ortaya koymaktadır.

Sundararaj ve ark. (2015) *Ramalina nervulosa* likeninin petrol eteri, su ve etanol çözücülerıyla elde edilmiş özütlerinin antioksidan özelliklerini araştırmışlardır. Antioksidan aktiviteyi belirleyebilmek için DPPH, FRAP ve CUPRAC yöntemini kullanmışlardır. Özütlerin 100 µg/mL konsantrasyonda bakır iyonunun (Cu^{2+}) indirgeme ölçümlerinden etanol, petroleum eter ve su özütleri için sırasıyla % 62.49, % 33.4 ve % 44.49 sonuçlarını elde etmişlerdir. Aynı çalışmada

özütün konsantrasyonu arttıkça indirgeme gücünün de arttığı belirlenmiştir [30]. Bu sonuçlara göre, özüt elde etmede kullanılan çözücünün antioksidan etkinlik üzerinde büyük farklılıklara neden olduğu görülmektedir. Çözücü olarak bu çalışmada etkili çıkmış olan etanol kullanılarak ve özüt konsantrasyonu artırılarak *R. calicaris* özütünden de daha yüksek bir antioksidan etkinlik elde edilebileceği düşünülebilir.

Ramalina fastigiata ve *R. farinacea*'nın da bulunduğu 6 liken türünün aseton ve metanol özütlerinin toplam fenol ve antioksidan kapasiteleri Oran ve ark. (2012) tarafından araştırılmıştır. Ölçümler sonucunda en yüksek antioksidan aktivite değeri *R. fastigiata*'nın metanol özütünde çıkmıştır. *R. fastigiata*'nın metanol özütünün antioksidan aktivite değeri 154.3 ± 0.2 mg troloks/10 g örnek iken *R. farinacea*'nın metanol özütünün antioksidan aktivite değeri 31.7 ± 0.5 mg troloks/10 g örnek bulunmuştur. Aynı liken türlerinin aseton özütlerinin antioksidan aktivite değerleri ise sırasıyla; 123.9 ± 0.3 mg troloks/10 g örnek ve 11.1 ± 0.9 mg troloks/10 g örnek bulunmuştur. Çalışmamızda ise *R. calicaris* aseton özütü için bu değer 5.996 ± 0.122 µg Troloks eşdeğerleri (TE) /g örnek olarak bulunmuştur. Sonuçlar karşılaştırılmak üzere orantılandığında en yüksek etkinliği göstermiş olan *R. fastigiata*'nın metanol özütü de aseton özütü de bizim özütümüzden daha etkili çıkmıştır. Aynı cins mensup *R. farinacea*'nın da metanol özütü ve aseton özütü bizim özütümüzden daha etkili çıkmıştır. Bu durum tür bazındaki farklılıkların ve çözücü farklılıklarının antioksidan aktivite üzerindeki etkisi olarak yorumlanabilir. Aynı liken türü üzerindeki çözücü değişiminden kaynaklanan antioksidan aktivite değeri farklılığı araştırmacılar tarafından likenlerin ürettiği sekonder metabolitler farklı kimyasal yapılarda olduğu için organik çözücülerdeki davranışları da değişiklik göstermektedir şeklinde yorumlanmıştır [31]. Örnek verilen çalışmadan elde edilen sonuçlardan hareketle araştırmış olduğumuz *R. calicaris* türünün de metanol çözücüsünde daha yüksek bir antioksidan aktivite gösterebileceği düşünülebilir.

Çok sayıda araştırma, liken örneklerinin yaşam alanındaki iklim, toplandığı rakım, uygulandığı konsantrasyon, özütünün elde edildiği çözücü gibi çok sayıda değişkenin likenin antibakteriyel ve antioksidan etkinliği üzerinde etkili olabileceğini ortaya çıkarmış olup bu koşulların optimal olduğu durumlarda en yüksek etkinin elde edilebileceği düşünülebilir.

Literatür incelendiğinde birçok liken türünün biyolojik aktiviteleriyle ilgili çalışmalar bulunduğu, ancak *R. calicaris* türü üzerinde cinsin diğer türleri kadar araştırmaya rastlanılmadığı için çalışmamız bu türün antibakteriyel ve antioksidan özellikleri ile ilgili yeni veriler sağlamaktadır. Araştırmamız sonucunda *R. calicaris*'in aseton özütlerinin *S. aureus* ve *E. faecalis* Gram pozitif bakterileri üzerinde antibakteriyel

etkinliğe sahip olduğu ve aynı zamanda Cu(II)-neokuproin (Nc) reaktifini Cu (I)-Nc kelatına indirgeme özelliği göstermesi nedeniyle antioksidan etkinliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, bu liken türünün potansiyel bir antibakteriyel ve antioksidan olarak kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. Karşılaştırma yaptığımız benzer çalışmaların sonuçları; bu liken türünden elde edilmiş olan antibakteriyel ve antioksidan etkinlik değerlerinin daha ileri çalışmalarla artırılmasının mümkün olduğuna işaret etmektedir. Ülkemizde doğal yetişen bir tür olarak bu liken üzerinde yapılabilecek daha kapsamlı kimyasal çalışmalar sayesinde, ilaç sektöründe kullanılacak bir kaynak olma potansiyelinin değerlendirilmesi gereklidir. Bu ve benzeri çalışmalardan elde edilen veriler, hem yaygın bir sorun haline gelmeye başlayan antibiyotiklere dirençli mikroorganizmalara karşı mücadelede hem de doğala yönelim sonucu daha çok tercih edilmeye başlamış olan doğal antioksidan ilaçların elde edilmesinde likenlerden yararlanılmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca laboratuvarından faydalanmamıza olanak veren Doç. Dr. N. Cenk SESAL'a, deney aşamasında hiçbir yardımı esirgemeyen Ezgi UÇARKUŞ ve Barış GÖKALSIN'a çok teşekkür ederiz. Bu makale kapsamında çalışmalara 113S306-COST FA1202 no' lu proje aracılığıyla destek olan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] Çobanoğlu, G., Dilsizoğlu, A., Kavuncuoğlu, Z., & Oba, D. (2004). Eski ve yeni kullanım alanları, bilinmeyen yönleriyle likenler. *Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 439, 86-89.
- [2] Zeybek, U., John, V. (1992). Likenler, kimyasal bileşikleri ve tıbbi kullanımları. *Pharmacia*, 32 (1) 7. 37 – 48.
- [3] Molnár, K., & Farkas, E. (2010). Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65(3-4), 157-173.
- [4] Şahin, S., Oran, S., Şahintürk, P., Demir, C., Öztürk, Ş. (2015). *Ramalina* Lichens and Their Major Metabolites as Possible Natural Antioxidant and Antimicrobial Agents. *Journal of Food Biochemistry*, 39 (4): 471-477.
- [5] Francolini, I., Norris, P., Piozzi, A., Donelli, G., & Stoodley, P. (2004). Usnic acid, a natural antimicrobial agent able to inhibit bacterial biofilm formation on polymer surfaces. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 48(11), 4360-4365.
- [6] Ingoldsdottir, K. (2002). Usnic acid. *Phytochemistry*, 61(7), 729-736.
- [7] Yılmaz, M., Türk, A. O., Tay, T., & Kivanç, M. (2003). The antimicrobial activity of extracts of the lichen *Cladonia foliacea* and its (-)-usnic acid, atranorin, and fumarprotocetraric acid

- constituents. *Zeitschrift für Naturforschung. C, Journal of biosciences*, 59(3-4), 249-254.
- [8] Garcia Rowe, J., Gimenez, G., & Saenz Rodriguez, M. T. (1999). Some lichen products have antimicrobial activity. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 54(7-8), 605-609.
- [9] Sundararaj, J. P., Kuppuraj, S., Ganesan, A., Ponnusamy, P., & Nayaka, S. (2015). In vitro assessment of antioxidant and antimicrobial activities of different solvent extracts from lichen *Ramalina nervulosa*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(8), 200-204.
- [10] Kumar, S. P., Kekuda, T. P., Vinayaka, K. S., & Sudharshan, S. J. (2009). Anthelmintic and antioxidant efficacy of two macrolichens of *Ramalinaceae*. *Pharmacognosy Journal*, 1(4), 238-242.
- [11] Stanly, C., Hag Ali, D. M., Keng, C. L., Boey, P. L., & Bhatt, A. (2011). Comparative evaluation of antioxidant activity and total phenolic content of selected lichen species from Malaysia. *J Pharm Res*, 4, 2824.
- [12] Luo, H., Wei, X., Yamamoto, Y., Liu, Y., Wang, L., Jung, J. S., ... & Hur, J. S. (2010). Antioxidant activities of edible lichen *Ramalina conduplicans* and its free radical-scavenging constituents. *Mycoscience*, 51(5), 391-395.
- [13] Gulluce, M., Aslan, A., Sokmen, M., Sahin, F., Adiguzel, A., Agar, G., & Sokmen, A. (2006). Screening the antioxidant and antimicrobial properties of the lichens *Parmelia saxatilis*, *Platismatia glauca*, *Ramalina pollinaria*, *Ramalina polymorpha* and *Umbilicaria nylanderiana*. *Phytomedicine*, 13(7), 515-521.
- [14] Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981.
- [15] http://web.uvic.ca/~stucraw/part2NX.html#Lichens_N-X Erişim tarihi: 08.02.2018.
- [16] Hanuš, L. O., Temina, M., & Dembitsky, V. M. (2008). Antibacterial and antifungal activities of some phenolic metabolites isolated from the lichenized ascomycete *Ramalina lacera*. *Nat Prod Commun*, 3, 233-236.
- [17] Crawford S.D. (2015). Lichens Used in Traditional Medicine. Chapter 2. In: Lichen Secondary Metabolites – Bioactive Properties and Pharmaceutical Potential (Edited by Rankovic B.). *Springer International Publishing*, Switzerland. ISBN 978-3-319-13373-7
- [18] Moura, J. B., Vargas, A. C. D., Gouveia, G. V., Gouveia, J. J. D. S., Ramos-Júnior, J. C., Botton, S. D. A., ... & Costa, M. M. D. (2017). In vitro antimicrobial activity of the organic extract of *Cladonia substellata* Vainio and usnic acid against *Staphylococcus* spp. obtained from cats and dogs. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(4), 368-378.
- [19] Cansaran, D. et al. (2007). HPLC analysis of usnic acid in some *Ramalina* species from anatolia and investigation of their antimicrobial activities. *Pharmaceutical Biology*, Vol. 45, No. 1, pp. 77-81.
- [20] Shrestha, G., & St Clair, L. L. (2013). Antimicrobial activity of extracts from two lichens *Ramalina menziesii* and *Usnea lapponica*. *Bulletin of the California Lichen Society*, 20(1), 5-10.
- [21] Zrnzevic, I., Stankovic, M., Jovanovic, V. S., Mitic, V., Dordevic, A., Zlatanovic, I., & Stojanovic, G. (2017). *Ramalina capitata* (Ach.) Nyl. acetone extract: HPLC analysis, genotoxicity, cholinesterase, antioxidant and antibacterial activity. *EXCLI journal*, 16, 679.
- [22] Luo, H., Wei, X., Yamamoto, Y., Liu, Y., Wang, L., Jung, J. S., ... & Hur, J. S. (2010). Antioxidant activities of edible lichen *Ramalina conduplicans* and its free radical-scavenging constituents. *Mycoscience*, 51(5), 391-395.
- [23] Moura, J. B., Vargas, A. C. D., Gouveia, G. V., Gouveia, J. J. D. S., Ramos-Júnior, J. C., Botton, S. D. A., ... & Costa, M. M. D. (2017). In vitro antimicrobial activity of the organic extract of *Cladonia substellata* Vainio and usnic acid against *Staphylococcus* spp. obtained from cats and dogs. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(4), 368-378.
- [24] Oran, S., Şahin, S., Öztürk, Ş., Demir, C. (2012). Bazı dalsı ve yapraksı liken türlerinde toplam fenol ve antioksidan kapasite tayini. *21. Ulusal Biyoloji Kongresi*, 03-07 Eylül 2012, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- [25] Tay, T., Türk, A. Ö., Yılmaz, M., Türk, H., & Kıvanç, M. (2004). Evaluation of the antimicrobial activity of the acetone extract of the lichen *Ramalina farinacea* and its (+)-usnic acid, norstictic acid, and protocetraric acid constituents. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 59(5-6), 384-388.
- [26] Çobanoğlu, G., Sesal, C., Gökmen, B., & Çakar, S. (2010). Evaluation of the antimicrobial properties of some lichens. *South Western Journal of Horticulture*, 1(2), 153-158.
- [27] Sesal, C., Çobanoğlu, G., Karaltı, İ., Açıkgöz, B. (2016). In Vitro antimicrobial potentials of four *Ramalina* lichen species from Turkey. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*6(3), 202-209, Doi 10.5943/cream/6/3/8.
- [28] Öztiğitoğlu, G. Ç., Açıkgöz, B., & Sesal, C. (2017). Lichen secondary metabolites: Synthesis pathways and biological activities. *Acta Biologica Turcica*, 29(4), 150-163.
- [29] Zlatanović, I., Stanković, M., Jovanovic, V. S., Mitić, V., Zrnzević, I., Đorđević, A., & Stojanović, G. (2017). Biological activities of *Umbilicaria crustulosa* (Ach.) Frey acetone extract. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82(2), 141.
- [30] Sundararaj, J. P., Kuppuraj, S., Ganesan, A., Ponnusamy, P., & Nayaka, S. (2015). In vitro assessment of antioxidant and antimicrobial activities of different solvent extracts from lichen *Ramalina nervulosa*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(8), 200-204.
- [31] Oran, S., Şahin, S., Öztürk, Ş., Demir, C. (2012). Bazı dalsı ve yapraksı liken türlerinde toplam fenol ve antioksidan kapasite tayini. *21. Ulusal Biyoloji Kongresi*, 03-07 Eylül 2012, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

Yeni Bir İterasyon Yöntemi için Hemen-Hemen Büzülme Dönüşümleri Altında Bazı Sabit Nokta Teoremleri

Some Fixed Point Theorems for a New Iteration Method Under Almost Contraction Mappings

Yunus ATALAN ¹ 

¹ *Aksaray Üniversitesi, Matematik Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye*

Öz

Bu makalede (1) ile verilen iterasyon yönteminden daha sade olan yeni bir iterasyon yöntemi tanımlanmıştır. Bu iterasyon yönteminin hemen hemen büzülme dönüşümü şartını sağlayan iki operatörün ortak sabit noktasına yakınsak olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca yeni iterasyon yönteminin (1) ile verilen iterasyon yönteminden daha hızlı olduğu gösterilmiştir ve bu sonucu destekleyen bir nümerik örnek verilmiştir. Son olarak, hemen hemen büzülme dönüşümü şartını sağlayan iki operatör için yeni tanımlanan iterasyon kullanılarak veri bağılılığı sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeni iterasyon yöntemi, Hemen hemen büzülme dönüşümleri, Yakınsaklık hızı, Veri bağılılığı

Abstract

Throughout history, the emergence of scientific knowledge in real life has been associated with fields such as Physics, Chemistry, Biology, Medicine, Economics, Computer. Under these names, each field contains many abstract or practical problems to implement in itself, or as a result of the association with one of the others. Mathematical models of such problems are either an equation type or an equation system. The methods that can be used for solving the obtained equation systems can be listed as differential-integral equations or operator-functional equations.

Generally, in research on the existence of solutions of many problems which are belong to integral equations, differential equations, partial differential equations, dynamic programming, system analysis and fractal modeling, fixed point theory emerges as a useful method. This theory can also be applied to problems encountered in approach theory, game theory, mathematical economics and applied sciences.

The mathematical modeling of the real-life problem in historical development first began with Isaac Newton's idea of modeling the movements of planets with mechanical laws. In differential calculus found by Newton and Leibniz at the same time, the Euler equation for dynamic systems, the Lagrange equation for motion, the Fourier equation for heat diffusion, the Navier-Stokes equation for viscosity and the movement of fluids, the Maxwell equation for electromagnetic field and Schrodinger and Dirac equations for quantum mechanics were solved with the help of differential equations; thus, many scientific and technological developments were opened up. With this rapid development of the differential calculus, many equations could be solved in closed form. However, qualitative and quantitative details which belong to the problem, along with initial and boundary values that are important for some equations, have become apparent with the application of the iterative method developed by Picard for the solution of differential equations.

With the help of the iteration method used in the integral or differential equations to be solved, the limit of obtained sequence gives the solution of equation. For this reason, the iteration methods are gradually developed from several equations of the type $f(x) = x$ whose solutions are fixed points of the f function.

However, the largest share in the placement of applications, which are outside of the basic differential and integral equations, into an abstract framework belongs to Stefan Banach. Banach Contraction Principle (BCP), which is proved by Banach in his doctoral thesis, from Hilbert spaces to metric spaces, has given a new direction to the study of the existence of fixed points in any space. BCP, which is very useful in solving differential and integral equations of different kinds, is also used as an effective tool to solve nonlinear problems. In addition to having a wide applicability, researchers have generalized BCP by putting new conditions on mapping or space.

With the process that started with Picard, fixed point iteration methods have attracted the attention of many researchers because they have wide application areas in science and they have come up to these days as a large working area. In this process, a number of iteration methods have been developed for certain classes of mappings to investigate their strong convergence, equivalence of convergence, rate of convergence and whether fixed points of these mappings are data dependent.

The equivalence of convergence between two iterations is expressed as follows:

When an iteration method for a given mapping converges to the fixed point of this mapping, does the other method converge to the same point? Based on this problem, many researchers have studied the equivalence of convergence of iteration methods for various classes of mappings, and a large literature has been created in this sense.

For two iterative methods that are equivalent in the sense of convergence, the knowledge of which method converges faster than the other is of great importance in applied mathematics. In this context, the rate of convergence of the iteration methods, which are in literature and newly defined, has been compared for the different classes of mappings by many researchers.

When constructing an iteration method, another mapping can be used that is close enough to the mapping chosen and is called the approach operator. Moving from this approach operator accepting that it has a different fixed point, the questions of how close the fixed point of the chosen mapping and fixed point of this approach operator to each other is and how the distance between them will be calculated, have revealed the concept of data dependence of these fixed points.

In this work, we show that the new iteration method, which is simpler than the iteration method (1), converges strongly to the common fixed point of two operators satisfying almost contraction condition. Also, we prove that the new iteration method is faster than the iteration method (1) and in order to show the validity of this result we give a numerical example. Finally, we obtain a data dependence result for two operators satisfying almost contraction mappings condition using new iteration method.

Key Words: New iteration method, Almost contraction mappings, Rate of convergence, Data dependence

I. GİRİŞ

Sabit nokta teorisi, matematik dışında fizik, kimya, biyoloji, mühendislik ve ekonomi gibi bilimin birçok dalında geniş bir uygulama sahasına sahip olduğundan pek çok araştırmacının dikkatini çeken ilginç bir çalışma alanıdır. Sabit nokta tanımını hatırlatacak olursak; X boştan farklı bir küme ve $U : X \rightarrow X$ herhangi bir dönüşüm olsun. Eğer

$$Uq = q$$

olacak şekilde bir $q \in X$ varsa bu q noktasına U dönüşümünün sabit noktası denir ve U 'nun tüm sabit noktaları kümesi $F(U)$ şeklinde gösterilir.

Sabit nokta teorisinin temel amacı $F(U) \neq \emptyset$ olabilmesi için X kümesinin veya U dönüşümünün üzerine konulacak uygun şartları belirlemektir. Bir dönüşümün sabit noktasının varlığı gösterildikten sonra bu noktaya ulaşmak için adına iterasyon denilen algoritmalar tanımlanmıştır. İlk olarak Picard [1]'in

tanımladığı iterasyonla başlayan süreçte günümüze kadar birçok iterasyon yöntemi tanımlanmış ve belirli dönüşüm sınıfları için bu yöntemlerin kuvvetli yakınsaklığı (norm yakınsama), yakınsaklıklarının denkliği, yakınsama hızları ve bu dönüşümlerin sabit noktalarının veri bağılı olup olmadığı araştırılmıştır (bkz. [2]-[16]).

2011 yılında S.H. Khan [17] üç adımlı bir iterasyonu şu şekilde tanımlamıştır:

$$\begin{cases} x_{n+1} = (1 - b_n - c_n)x_n + b_n T y_n + c_n S z_n \\ y_n = (1 - \alpha_n - \beta_n)x_n + \alpha_n T x_n + \beta_n S z_n \\ z_n = (1 - a_n)x_n + a_n S x_n \\ (n \in \mathbb{N}), \end{cases} \quad (1)$$

burada $\{\alpha_n\}_{n=1}^{\infty}$, $\{\beta_n\}_{n=1}^{\infty}$, $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$, $\{b_n\}_{n=1}^{\infty}$ ve $\{c_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizileri $[0,1]$ aralığındadır. Bu iterasyondan esinlenerek tanımladığımız yeni iki adımlı iterasyon yöntemi ise şu şekildedir:

$$\begin{cases} x_{n+1} = T y_n \\ y_n = (1 - \alpha_n - \beta_n)x_n + \alpha_n T x_n + \beta_n S x_n \\ (n \in \mathbb{N}), \end{cases} \quad (2)$$

burada $\{\alpha_n\}_{n=1}^{\infty}$ ve $\{\beta_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizileri de $[0,1]$ aralığındadır.

Bu çalışmada (2) ile verilen iki adımlı iterasyon yönteminden elde edilen dizinin hemen hemen büzülme dönüşümü şartını sağlayan iki operatörün ortak sabit noktasına yakınsadığı ispatlanmıştır. Ayrıca bu yakınsamanın (1) ile verilen iterasyondan elde edilen dizinin yakınsamasına göre daha hızlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu sonucu desteklemek için bir örnek üzerinden grafik ve tablo verilmiştir. Son olarak hemen hemen büzülme dönüşümü şartını sağlayan iki operatör için (2) ile verilen iterasyon yöntemi kullanılarak veri bağılılığı sonucu elde edilmiştir.

Şimdi temel sonuçlarımızı elde etmek için ihtiyacımız olan bazı ön bilgileri verelim:

Lemma 1.[18] $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ ve $\{b_n\}_{n=0}^{\infty}$ aşağıdaki eşitsizliği sağlayan, negatif olmayan iki dizi olsun:

$$a_{n+1} \leq (1 - \mu_n)a_n + b_n$$

Burada her $n \geq n_0$ için $\mu_n \in (0,1)$ ve $\sum_{n=1}^{\infty} \mu_n = \infty$ ayrıca $n \rightarrow \infty$ için $\frac{b_n}{\mu_n} \rightarrow 0$. Bu durumda $\lim a_n = 0$.

Lemma 2.[19] $\{a_n\}$ negatif olmayan bir dizi, her $n \in \mathbb{N}$ için $\mu_n \in (0,1)$, $\sum_{n=1}^{\infty} \mu_n = \infty$ ve $\eta_n \geq 0$ olsun. Her $n \geq n_0$ için

$$a_{n+1} \leq (1 - \mu_n)a_n + \mu_n \eta_n$$

eşitsizliğin sağlanacağı şekilde bir n_0 sayısı mevcut olsun. Bu durumda

$$0 \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} a_n \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \eta_n$$

eşitsizliği sağlanır.

2003 yılında, Berinde hemen-hemen büzülme dönüşümünü şu şekilde tanımladı:

Tanım 1. [20] X bir tam metrik uzay ve $T : X \rightarrow X$ bir dönüşüm olsun. Eğer her $x, y \in X$ için

$$d(Tx, Ty) \leq \delta d(x, y) + Ld(y, Tx) \quad (3)$$

olacak şekilde bir $\delta \in (0,1)$ sabiti ve bir $L \geq 0$ mevcut ise, T 'ye bir hemen-hemen büzülme dönüşümü denir.

Berinde tarafından ortaya konulan aşağıdaki teorem, (3) ile verilen şarta oldukça benzer ek bir şartla bir hemen-hemen büzülme dönüşümünün sabit noktasını teklikle belirlemeyi mümkün kılmaktadır:

Teorem 1. [20] X bir tam metrik uzay ve $T : X \rightarrow X$ dönüşümü aşağıdaki şartı sağlayan bir hemen-hemen büzülme dönüşümü olsun: Eğer her $x, y \in X$ için

$$d(Tx, Ty) \leq \delta d(x, y) + L_1 d(x, Tx) \quad (4)$$

olacak şekilde $\delta \in (0, 1)$ sabiti ve $L_1 \geq 0$ mevcutsa, T bir tek sabit noktaya sahiptir.

(2) ile verdiğimiz iterasyon yöntemi iki operatörle inşa edildiğinden (4) ile verilen şartı normlu uzaylarda iki operatör için yeniden düzenlemek zorundayız. Bunun en iyi yolu, her iki operatörün de normlu bir uzayda (4) ile verilen şartı ayrı ayrı sağlamasıdır. Yani, $\delta \in (0, 1)$ sabiti ve bir $L \geq 0$ sayısı için

$$\|Tx - Ty\| \leq \delta \|x - y\| + L \|x - Tx\|$$

ve

$$\|Sx - Sy\| \leq \delta \|x - y\| + L \|x - Sx\|$$

eşitsizlikleri geçerlidir.

Tanım 2. [10] $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ ve $\{v_n\}_{n=1}^{\infty}$ aynı p_* sabit noktasına yakınsayan iki dizi olsun. Eğer,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{d(u_n, p_*)}{d(v_n, p_*)} = 0$$

ise $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisi p_* noktasına $\{v_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisinden daha hızlı yakınsar denir.

Tanım 3. [19] $T_1, T_2 : C \rightarrow C$ iki operatör olsun. Her $x \in C$ ve sabit bir $\varepsilon > 0$ için $\|T_1 x - T_2 x\| \leq \varepsilon$ ise T_2 'ye T_1 'in yaklaşım operatörü adı verilir.

II. TEMEL SONUÇLAR

Teorem 2 C kümesi, X Banach uzayının boştan farklı, kapalı ve konveks alt kümesi ve $x_1 \in C$ olmak üzere $T, S : C \rightarrow C$ tanımlı (4) şartını sağlayan hemen-hemen büzülme dönüşümleri ve $F(T) \cap F(S) \neq \emptyset$ olsun. $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ (2) ile verilen iterasyondan elde edilen bir dizi ve $\{\alpha_n\}_{n=1}^{\infty}, \{\beta_n\}_{n=1}^{\infty}$ kontrol dizileri $[0, 1]$ aralığına ait olmak üzere $\sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n + \beta_n) = \infty$ şartı sağlansın. Bu durumda $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisi T ve S operatörlerinin teklikle belirli olan ortak p_* sabit noktasına kuvvetli yakınsar.

İspat p_* 'ın T ve S operatörlerinin teklikle belirli olan ortak sabit noktası olduğu (4)'ten kolaylıkla görülebilir. $n \rightarrow \infty$ için $x_n \rightarrow p_*$ olduğunu göstermemiz gerekmektedir. (2) ve (4)'ten

$$\begin{aligned} \|y_n - p_*\| &= \|(1 - \alpha_n - \beta_n)x_n + \alpha_n Tx_n + \beta_n Sx_n - p_*\| \\ &\leq (1 - \alpha_n - \beta_n)\|x_n - p_*\| + \alpha_n \|Tx_n - p_*\| + \beta_n \|Sx_n - p_*\| \\ &\leq (1 - \alpha_n - \beta_n)\|x_n - p_*\| + \alpha_n \delta \|x_n - p_*\| + \beta_n \delta \|x_n - p_*\| \\ &= [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)]\|x_n - p_*\| \end{aligned} \quad (5)$$

ve

$$\|x_{n+1} - p_*\| \leq \delta \|y_n - p_*\| \quad (6)$$

eşitsizlikleri elde edilir. (5) eşitsizliği (6)'da yerine yazılırsa,

$$\|x_{n+1} - p_*\| \leq \delta [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \|x_n - p_*\|$$

olacaktır. Son eşitsizlikte tümevarım uygulanırsa

$$\begin{aligned} \|x_n - p_*\| &\leq \delta [1 - (\alpha_{n-1} + \beta_{n-1})(1 - \delta)] \|x_{n-1} - p_*\| \\ \|x_{n-1} - p_*\| &\leq \delta [1 - (\alpha_{n-2} + \beta_{n-2})(1 - \delta)] \|x_{n-2} - p_*\| \\ &\dots \\ \|x_1 - p_*\| &\leq \delta [1 - (\alpha_1 + \beta_1)(1 - \delta)] \|x_0 - p_*\| \end{aligned} \quad (7)$$

olur. (7)'den

$$\|x_{n+1} - p_*\| \leq \|x_1 - p_*\| \delta^n \prod_{i=1}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i)(1 - \delta)] \quad (8)$$

yazılabilir.

$\delta \in (0,1)$ olduğundan $[1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \leq 1$ olur. Klasik analizden her $x \in [0,1]$ için $1 - x \leq e^{-x}$ eşitsizliğinin sağlandığı bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle (8) eşitsizliği

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - p_*\| &\leq \|x_1 - p_*\| \delta^n \prod_{i=1}^n e^{-(1-\delta)(\alpha_i + \beta_i)} \\ &= \|x_1 - p_*\| \delta^n e^{-(1-\delta) \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \beta_i)} \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir. Son eşitsizlikte limit alınırsa $n \rightarrow \infty$ için $x_n \rightarrow p_*$ olduğu görülür. Bu ise ispatı tamamlar.

Teorem 3 C kümesi X Banach uzayının boştan farklı, kapalı ve konveks alt kümesi olmak üzere $T, S : C \rightarrow C$ tanımlı (4) şartını sağlayan hemen-hemen büzülme dönüşümleri ve $F(T) \cap F(S) \neq \emptyset$ olsun. $u_1 = x_1 \in C$ olmak üzere, $\alpha_n > \mu > 0$ veya $\beta_n > \mu > 0$ şartları altında (2) ile verilen iterasyon yönteminden elde edilen $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisini ve $b_n + c_n < \frac{1}{1-\delta}$ ve $\lim_{n \rightarrow \infty} (b_n + c_n) = 0$ şartları altında (1) iterasyon yönteminden elde edilen $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisini göz önüne alalım. Bu durumda $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisi T ve S operatörlerinin teklikle belirli olan ortak p_* sabit noktasına $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisine göre daha hızlı yakınsar.

İspat (8)'den aşağıdaki eşitsizliği yazabiliriz.

$$\|x_{n+1} - p_*\| \leq \|x_1 - p_*\| \delta^n \prod_{i=1}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i)(1 - \delta)] \quad (9)$$

Ayrıca [17] no'lu referanstan

$$\|u_{n+1} - p_*\| \leq \|u_1 - p_*\| \prod_{i=1}^n [1 - (b_i + c_i)(1 - \delta)] \quad (10)$$

eşitsizliği elde edilir.

(9) ve (10) eşitsizliklerinden

$$\frac{\|x_{n+1} - p_*\|}{\|u_{n+1} - p_*\|} \leq \frac{\|x_1 - p_*\| \delta^n \prod_{i=1}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i)(1 - \delta)]}{\|u_1 - p_*\| \prod_{i=1}^n [1 - (b_i + c_i)(1 - \delta)]}$$

yazılabilir.

$$\psi_n = \frac{\delta^n \prod_{i=1}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i)(1 - \delta)]}{\prod_{i=1}^n [1 - (b_i + c_i)(1 - \delta)]}$$

şeklinde tanımlayalım. Bu durumda

$$\frac{\psi_{n+1}}{\psi_n} = \frac{\delta[1 - (\alpha_{n+1} + \beta_{n+1})(1 - \delta)]}{[1 - (b_{n+1} + c_{n+1})(1 - \delta)]}$$

olup hipotezden

$$i) \alpha_n > \mu \text{ veya } \beta_n > \mu \Rightarrow \alpha_n + \beta_n > \mu$$

$$\Rightarrow (1 - \delta)(\alpha_n + \beta_n) > \mu(1 - \delta)$$

$$\Rightarrow 1 - (1 - \delta)(\alpha_n + \beta_n) < 1 - \mu(1 - \delta)$$

ve

$$ii) b_n + c_n < \frac{1}{1 - \delta} \Rightarrow (b_n + c_n)(1 - \delta) < 1$$

elde edilir. O halde

$$\begin{aligned} \frac{\psi_{n+1}}{\psi_n} &= \frac{\delta[1 - (\alpha_{n+1} + \beta_{n+1})(1 - \delta)]}{[1 - (b_{n+1} + c_{n+1})(1 - \delta)]} \\ &\leq \frac{\delta[1 - \mu(1 - \delta)]}{[1 - (b_{n+1} + c_{n+1})(1 - \delta)]} \end{aligned}$$

olur. Ayrıca $\lim_{n \rightarrow \infty} (b_n + c_n) = 0$ olduğundan

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\delta[1 - \mu(1 - \delta)]}{[1 - (b_{n+1} + c_{n+1})(1 - \delta)]} = \delta[1 - \mu(1 - \delta)] < 1$$

elde edilir. Bu nedenle $\lim_{n \rightarrow \infty} \psi_n = 0$ olur. Tanım 2'den $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisi, ortak p_* sabit noktasına $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisine göre daha hızlı yakınsar.

Örnek 1 $X = \square$ ve $C = [0, 1]$ olmak üzere $T, S : C \rightarrow C$ operatörleri her $x \in C$ için sırasıyla $T(x) = x - 1 + \frac{1}{e^x}$

ve $S(x) = \frac{x}{1+x}$ şeklinde tanımlansın. T ve S 'nin ortak sabit noktasının $p_* = 0$ olduğu açıktır. Başlangıç

değeri $x_1 = 0,99$ olmak üzere kontrol dizilerini $\alpha_n = \beta_n = a_n = b_n = c_n = \frac{1}{9}$ şeklinde seçelim. MATLABR-

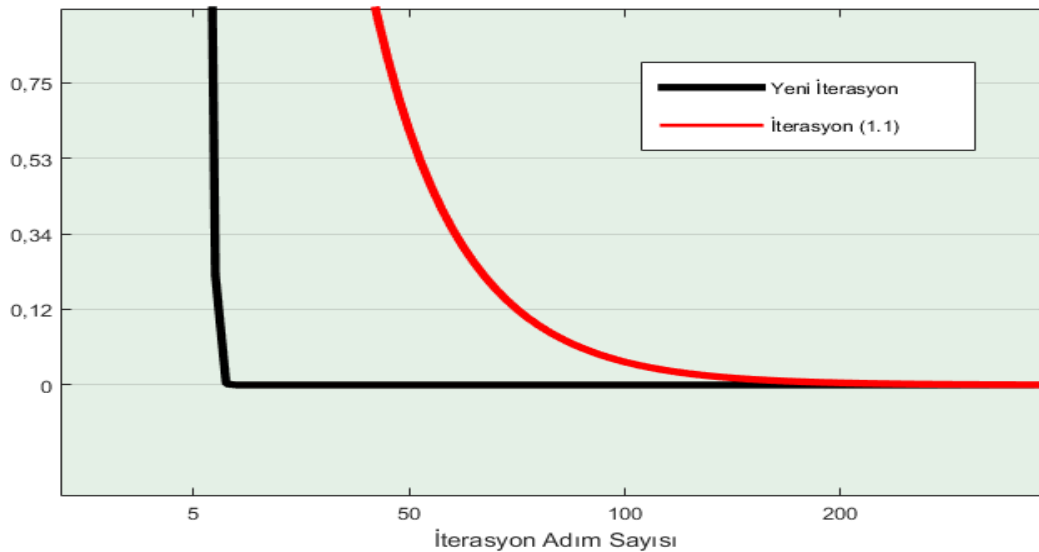
2015a programı kullanılarak elde edilen aşağıdaki tablo, (2) ile verilen iterasyon yönteminin, (1) ile verilen iterasyon yönteminden

daha hızlı olduğunu göstermektedir:

Tablo 1. Yakınsaklık hızı karşılaştırılması

İterasyon Adım Sayısı	Yeni İterasyon Yöntemi	(1) ile verilen iterasyon yöntemi
1	0,990000000000000	0,990000000000000
2	0,28631303118539	0,85540857025091
3	0,02914867897021	0,73958412716685
4	0,00033163252152	0,64002711558702
5	0,00000004344287	0,55450559890724
6	0,000000000000000	0,48104624276882
⋮	⋮	⋮
277	0,000000000000000	0,000000000000001
278	0,000000000000000	0,000000000000000

Tablo 1 göstermektedir ki, yeni tanımladığımız iterasyon yöntemi 6. adımda sabit noktaya ulaşırken (1) ile verilen iterasyon yöntemi 278. adımda sabit noktaya ulaşmıştır. Aşağıda verilen grafik bu durumu göstermektedir:

**Şekil 1-**İki iterasyon yöntemi için yakınsama hızlarının grafik gösterimi

Teorem 4 C kümesi, X Banach uzayının boştan farklı, kapalı ve konveks alt kümesi olmak üzere $T, S: C \rightarrow C$ tanımlı (4) şartını sağlayan hemen-hemen büzülme dönüşümleri ve ortak sabit noktaları p_*

olsun. T_1 ve S_1 operatörleri ise x_* ortak sabit noktasına sahip ve sırasıyla T ve S operatörlerinin yaklaşım operatörleri olsun. T ve S operatörleri kullanılarak inşa edilen (2) iterasyon yönteminden elde edilen dizi $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ olmak üzere, T_1 ve S_1 operatörleri kullanılarak oluşturulan aşağıdaki iterasyon yönteminden elde edilen $\{u_n\}_{n=1}^{\infty}$ dizisini göz önüne alalım:

$$\begin{cases} u_1 \in C, \\ u_{n+1} = T_1 u_n \\ v_n = (1 - \alpha_n - \beta_n) u_n + \alpha_n T_1 u_n + \beta_n S_1 u_n \end{cases} \quad (11)$$

Burada $\{\alpha_n\}_{n=1}^{\infty}, \{\beta_n\}_{n=1}^{\infty}$ kontrol dizileri $[0,1]$ aralığına ait olup her $n \in \mathbb{N}$ için $\frac{1}{2} \leq (\alpha_n + \beta_n)$ şartını sağlamaktadır. $Tp_* = Sp_* = p_*$ ve $T_1 x_* = S_1 x_* = x_*$ olmak üzere $n \rightarrow \infty$ için $u_n \rightarrow x_*$ ise, bu durumda $\varepsilon > 0$ sayısı için

$$\|p_* - x_*\| \leq \frac{3\varepsilon}{1 - \delta}$$

eşitsizliği geçerlidir.

İspat (2), (4) ve (11) kullanılarak,

$$\begin{aligned} \|y_n - v_n\| &\leq (1 - \alpha_n - \beta_n) \|x_n - u_n\| \\ &\quad + \alpha_n \|Tx_n - T_1 u_n\| + \beta_n \|Sx_n - S_1 u_n\| \\ &\leq (1 - \alpha_n - \beta_n) \|x_n - u_n\| \\ &\quad + \alpha_n (\|Tx_n - Tu_n\| + \|Tu_n - T_1 u_n\|) \\ &\quad + \beta_n (\|Sx_n - Su_n\| + \|Su_n - S_1 u_n\|) \\ &\leq [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \|x_n - u_n\| \\ &\quad + (\alpha_n + \beta_n)L \|x_n - Tx_n\| + (\alpha_n + \beta_n)\varepsilon \end{aligned} \quad (12)$$

ve

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - u_{n+1}\| &= \|Ty_n - T_1 v_n\| \\ &\leq \|Ty_n - Tv_n\| + \|Tv_n - T_1 v_n\| \\ &\leq \delta \|y_n - v_n\| + L \|y_n - Ty_n\| + \varepsilon \end{aligned} \quad (13)$$

elde edilir.

(12) eşitsizliği (13)'te yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - u_{n+1}\| &\leq \delta [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \|x_n - u_n\| \\ &\quad + \delta(\alpha_n + \beta_n)L \|x_n - Tx_n\| + \delta(\alpha_n + \beta_n)\varepsilon \\ &\quad + L \|y_n - Ty_n\| + \varepsilon \end{aligned} \quad (14)$$

elde edilir. Hipotezden

$$1 - (\alpha_n + \beta_n) \leq (\alpha_n + \beta_n)$$

olup $\delta \in (0,1)$ olduğundan (14) eşitsizliği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - u_{n+1}\| &\leq [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \|x_n - u_n\| + (\alpha_n + \beta_n)L \|x_n - Tx_n\| \\ &\quad + (\alpha_n + \beta_n)\varepsilon + 2(\alpha_n + \beta_n)L \|y_n - Ty_n\| + 2(\alpha_n + \beta_n)\varepsilon \\ &= [1 - (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta)] \|x_n - u_n\| \\ &\quad + (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta) \frac{\{L \|x_n - Tx_n\| + 2L \|y_n - Ty_n\| + 3\varepsilon\}}{(1 - \delta)} \end{aligned}$$

Eğer

$$\begin{aligned} a_n &= \|x_n - u_n\| \\ \mu_n &= (\alpha_n + \beta_n)(1 - \delta) \in (0, 1) \\ \eta_n &= \frac{\{L\|x_n - Tx_n\| + 2L\|y_n - Ty_n\| + 3\varepsilon\}}{(1 - \delta)} \end{aligned}$$

şeklinde seçilirse Lemma 2'den

$$\begin{aligned} 0 &\leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u_n\| \\ &\leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\{L\|x_n - Tx_n\| + 2L\|y_n - Ty_n\| + 3\varepsilon\}}{(1 - \delta)} \right\} \\ &= \frac{3\varepsilon}{(1 - \delta)} \end{aligned}$$

elde edilir. Teorem 2'den $x_n \rightarrow p_*$ elde edilmişti. Dolayısıyla

$$\|p_* - x_n\| \leq \frac{3\varepsilon}{1 - \delta}$$

elde edilir.

Teşekkür Yorum ve önerileriyle bu makaleye katkıda bulunan hakemlere teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Picard, E., (1890). Mémoire Sur la Théorie des Équations Aux Dérivées Partielles et la Méthode des Approximations Successives. *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 6, 145-210.
- [2] Abbas, M., ve Nazir, T., (2014). A New Faster Iteration Process Applied to Constrained Minimization and Feasibility Problems. *Matematički Vesnik*, 66(2), 223-234.
- [3] Agarwal, R., O Regan, D., ve Sahu, D., (2007). Iterative Construction of Fixed Points of Nearly Asymptotically Nonexpansive Mappings. *Journal of Nonlinear and Convex Analysis*, 8(1), 61-79.
- [4] Chugh, R., Kumar, V., ve Kumar, S., (2012). Strong Convergence of a New Three Step Iterative Scheme in Banach Spaces. *American Journal of Computational Mathematics*, 2, 345-357.
- [5] Dogan, K., ve Karakaya, V., (2014). On the Convergence and Stability Results for a New General Iterative Process. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-8.
- [6] Gürsoy, F., Karakaya, V., ve Rhoades, B.E., (2013). Data dependence results of new multi-step and S-iterative schemes for contractive-like operators. *Fixed Point Theory and Applications*, 2013, 1-12.
- [7] Karakaya, V., Atalan, Y., Dogan, K., ve Bouzara, NEH., (2017). Some Fixed Point Results for a New Three Steps Iteration Process in Banach Spaces. *Fixed Point Theory*, 18(2), 625-640.
- [8] Ishikawa, S., (1974). Fixed Point By a New Iteration Method. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 44, 147-150.
- [9] Karahan, I., ve Ozdemir, M., (2013). A General Iterative Method for Approximation of Fixed Points and Their Applications. *Advances in Fixed Point Theory*, 3(3), 510-526.

- [10] Phuengrattana, W., ve Suantai, S., (2012). Comparison of the Rate of Convergence of Various Iterative Methods for the Class of Weak Contractions in Banach Spaces. *Thai Journal of Mathematics*, 11(1), 217-226.
- [11] Karakaya, V., Atalan, Y., Dogan, K., ve Bouzara, NEH., (2016). Convergence Analysis for a New Faster Iteration Method. *Istanbul Commerce University Journal of Science*, 15(30), 35-53.
- [12] Mann, W.R., (1953). Mean Value Methods in Iteration. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 4(3), 506-510.
- [13] Noor, M.A., (2000). New Approximation Schemes for General Variational Inequalities. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 251(1), 217-229.
- [14] Osilike, M., (1995). Stability Results for Fixed Point Iteration Procedures. *Journal of the Nigerian Mathematical Society*, 14(15), 17-29.
- [15] Phuengrattana, W., ve Suantai, S., (2011). On the Rate of Convergence of Mann, Ishikawa, Noor and SP Iterations for Continuous on an Arbitrary Interval. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 235, 3006-3014.
- [16] Khan, S.H., (2013). A Picard-Mann Hybrid Iterative Process. *Fixed Point Theory and Applications*, 69, 1-10.
- [17] Khan, S. H., (2011). Common fixed points of quasi-contractive type operators by a generalized iterative process. *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 41(3), 260-264.
- [18] Weng, X., (1991). Fixed Point Iteration for Local Strictly Pseudo-Contractive Mapping. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 113(3), 727-731.
- [19] Şoltuz, S.M., ve Grosan, T., (2008). Data dependence for Ishikawa iteration when dealing with contractive like operators. *Fixed Point Theory and Applications*, 2008, 1-7.
- [20] Berinde, V., (2003). On The Approximation of Fixed Points of Weak Contractive Mappings. *Carpathian J. Math.*, 19(1), 7-22.

Evaluation of Value Capture Strategies for Public Private Partnership Projects in Railway System Projects to be Built in Istanbul City

İstanbul Şehrinde İnşa Edilecek Raylı Sistem Projelerinde Kamu Özel İşbirliği Projeleri için Değer Yakalama Stratejilerinin Değerlendirilmesi

Hakan İNAÇ¹ , Cem Çağrı DÖNMEZ² 

¹ Marmara University, Engineering Management Science, 34722, Istanbul, Turkey

² Marmara University, Department of Industrial Engineering, 34722, Istanbul, Turkey

Abstract

For urban rail lines, there is a need for resources at all stages such as planning, construction and operation. In financing these structures with large budgets and requiring specialized construction, it is possible to implement not only the use of state resources but also many models of Public-Private Partnership (PPP).

This method, which can be called alternative financing, will make a significant contribution to the realization of investment auctions and will also contribute to the rapid commissioning / finalization of investments. This model has been tried many times in the world and it has been evaluated that it will be more successful for all the types of the metro (cable car, light subway, monorail, street tram which can be called as a relatively light subway investment).

For rail lines when alternative financing is required, it would be appropriate to increase the diversity of income items in feasibility reports. In this context, in addition to travel revenues, real estate value tax, Tax credit financing, goodwill and real estate development partnership can provide income. Real estate prices increase in the area where rail system investment is made and this situation is used as a direct marketing tool by construction companies. On the other hand, in cases where Station structures have to be constructed outside the public area, the cost of expropriation for the project is increasing and financing needs are increasing.

For the transportation investment projects carried out as Public-Private Partnership Project (PPP), the use of value increase strategies other than passenger revenues will be beneficial in terms of financing. The demographic and geographic features of the project will be decisive in the determination of the Value Capture Strategies (VCS) to be used.

Within the scope of this project; VCS strategies were evaluated in PPP models by using analytical hierarchy process (AHP) with expert opinion in rail system projects to be carried out in Istanbul.

Keywords: Alternative Funding Options, Value Capture Strategies (VCS), Public-Private Partnership (PPP), Rail System, Analytic Hierarchy Process (AHP), Istanbul

Öz

Şehir içi raylı sistem hatları için; planlanma, yapım ve işletme gibi tüm aşamalarda birçok kaynak ihtiyacı bulunmaktadır. Büyük bütçeli ve inşaatı ihtisas gerektiren bu yapıların finansmanında, sadece devlet kaynakları kullanımı değil birçok kamu özel işbirliği modelinin de hayata geçirilmesi mümkün görülmektedir.

Alternatif finansman olarak adlandırılabilen bu yöntem, yatırım ihalelerinin gerçekleştirilmesinde önemli katkı sağlayacağı gibi, yatırımların hızlı bir şekilde hizmete alınması / sonuçlandırılmasında da katkı sağlayacaktır. Bu model dünyada birçok kez denenmiş ve göreceli olarak hafif metro yatırımı olarak isimlendirilebilecek metro türlerinde (teleferik, hafif metro, havaray, cadde tramvayı) daha başarılı olacağı değerlendirilmiştir.

Alternatif finansmanı istenen raylı sistem hatları için, fizibilite raporlarında gelir kalemlerinin çeşitliliğin artırılması uygun olacaktır. Bu kapsamda yolculuk gelirlerinin yanında, Gayrimenkul Değer Vergisi, Vergi Artış Yoluyla Finansman (Tax Increment Financing), Şerefiyeler ve Gayrimenkul Geliştirme Ortaklığı gibi yöntemler ile gelir sağlanabilecektir. Özellikle, raylı sistem yatırımları metropol şehirlerde emlak fiyatlarını doğrudan etkilemektedir. Raylı sistem yatırımı yapılan alanlarda gayrimenkul fiyatları artmakta ve bu durum inşaat firmaları tarafından doğrudan bir pazarlama aracı olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan istasyon yapılarının kamu alanı dışında inşa edilmesi zorunluluğu olduğu durumlarda proje için kamulaştırma maliyeti oluşturmada, finansman ihtiyacı artmaktadır.

Kamu-Özel İşbirliği Projesi (PPP) olarak yapılan ulaştırma yatırım projeleri için, yolcu gelirleri dışındaki değer artış stratejilerinin kullanılması finansmanın sağlanması açısından faydalı olacaktır. Kullanılacak Değer Yakalama Stratejileri'nin (VCS) belirlenmesinde ise, projenin demografik ve coğrafi özellikler belirleyici olacaktır.

Bu proje kapsamında; İstanbul'da yapılacak raylı sistem projelerinde uzman görüşü ile Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak, PPP modellerinde VCS stratejileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Fonlama Seçenekleri, Değer Yakalama Stratejileri (VCS), Kamu-Özel Ortaklığı (PPP), Raylı Sistem, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP), İstanbul

I. INTRODUCTION

Project financing can be defined as the provision of resources necessary and adequate for the construction of a new project or the development of an existing project [1].

Trends in PPP projects in the construction and operation of railway system lines are on the rise. Until 2013, during the last 25 years, we have passed, 27 PPPs have been passed on to the project. 16 of these projects were made in Europe. The positive side of these collaborations is that they are innovative and able to finance projects that are impossible to pass through. The downside of PPP projects is that the budget is a risk of financing more expensive than the specified costs. PPP projects also have unsuccessful modelling of railway financing. [2]. A good study and Value Capture Strategies (VCS) should be studied for this purpose.

When the studies of PPPs are examined; it has been seen that studies are analyzed in 4 different project types. In this approach, construction and operating costs, income expectancy, and ease of financing are analyzed:

- (i) High Speed Rail
- (ii) Airport Rail Links
- (iii) Equipment / Rolling Stock
- (iv) Conventional Rail

It is stated that the studies are in various public-specific regulations such as business concessions, division, joint ventures, special infrastructure as well as public transport such as light rail system, subway, human transport [3].

In accordance with the budget draft of 2015 published by Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), capital expenditures including Istanbul-wide investments took place as 51.11% of total municipal expenses. The biggest share of capital expenditures is the transportation services management. For example, the IMM foresees that this share would be 44.7% of capital expenditures in 2016 [4]. Rail system investments in transportation services take the biggest share in the investment category. The development of alternative financing methods for rail system investments will alleviate the burden on the budget, as well as increase the appropriations allocated to other investments.

In fact, Istanbul is the first in the world to use alternative financing methods in the construction of public transportation systems. Taksim Tunnel Funicular Railway Line which was put into service in 1875 was operated by the private sector until 1939. The private sector operated 64 lines are still in use [13]. This system was built by the private sector as an operating transfer. However, 68 years later, due to non-travel incomes, a certain price was paid by the public and expropriated. This historic example also demonstrates the importance of value capture strategies for private sector investments.

In general, accessibility plays an important role in the construction of cities. Accessibility generally refers to the convenience of the passengers to go where they want to go. Rail systems with accessibility affect the attitudes and behaviours of households and companies, creating greater impacts such as land use and real estate valuation. These effects generate economic and social benefits for three segments [5].

The first segment is the public opinion that provides direct or indirect gains from the economic and social benefits generated by rail system investments. Economic and social income is the basis for the allocation of tax revenues from the general budget in financing railway system investments. The second segment is rail system users. For this segment, rail systems benefit by reducing travel times and providing adequate transportation capacity in a comfortable and economical way. Such benefits are the basis for the financing and operation of rail systems to provide financial resources in different ways than the passengers.

The third segment is the construction companies that develop real estate in the land of the owners of the real estate located in the vicinity of the rail system lines and the

construction companies that develop real estate in the land near the lines or stations.

When housing land prices are examined, the distribution of land prices across neighbourhoods is also effective beyond socio-economic conditions, population density, development status and land availability. For this reason, land prices may be high in the neighbourhoods that are behind in the housing price rankings. Housing prices for the sale of low value are concentrated in Silivri, Çatalca and Arnavutköy districts, where the prices are mainly far from the city centre, population density is low and the availability of empty land is high. The zoning situation (for example, in water basins) is determinant over the low price. In the prices of agricultural land for sale, there are neighbourhoods where Villa type buildings are mainly connected to the districts of Eyüp, Sarıyer and Beykoz. Therefore, the price rise in these neighbourhoods can be thought to be due to the possibility of a possible zoning change, rather than the use of these lands as my style land [6].

This research will contribute to the evaluation of the railway system investments to be made in Istanbul with the PPP model. In this work, the value increases of public investments directly and indirectly in private properties were examined together with literature examples in the world. Value-added strategies for Istanbul were handled with public administrations, construction contractors and real estate appraisers. It has been proposed in this study that the selection of appropriate PPP models and which alternative financing methods can be used. In addition, the PPP model and the VCS were discussed in this work. This approach will contribute to the establishment of a suitable PPP cooperation model for a city.

II. LITERATURE SURVEY

The biggest challenge facing the construction of rail system projects is financing. Providing financial sources for the rail systems requiring high investment profiles, is easier by using VCS and PPP evaluations.

I.1. Value Capture Strategies

In both theoretical and empirical studies, there are important findings that investing in the leased system increases the value of real estate [6]. In recent years, in the literature, it has come to the fore to support investment in referrals by value acquisition (value capture). The methods known as VCS in the literature refer to mechanisms that allow the transfer of the resulting value increases to the public investment to be used in the financing of public investments.

They have comprehensively catalogued VCS that the US has created for the Minnesota State Assembly by creating reproductive systems [4].

Organizations that make investments in this system are;

- (i) Split-rate property tax,
- (ii) Tax increment financing,
- (iii) Special assesment district,
- (iv) Joint development,
- (v) Air rights,

they can provide a source of value increases created by railed systems.

The theme of the real estate value tax is on the land and land, and the application is different from country to country. In the United States (USA), the tax-sharing system is widely applied as a split-rate property tax. In this taxation system, a real estate is subject to taxation in two different ratios. The higher rate is applied to the land of the real estate while the lower rate is applied to the structure constructed on the land. In our country, the real estate value tax is the real estate tax. Since the local governments have no authority to create fiscal obligations such as taxes; the land-based tax application in Turkey is not possible with existing regulations.

I.2. Value Capture Strategies Practices in Worldwide

Value-added strategies have various practices around the world. The technical details of these applications vary depending on the country's legal legislation, socio-economic structures and habits. It is seen that value-added strategies in railway systems are applied more often in developed countries such as China, Japan and USA.

I.2.1. Practices of real estate value tax method in the world

Important applications of real estate value tax were made in the cities of Pennsylvania in the USA. From 1913 onwards, the provincial administration decided that a plot of land, both land and land, could be subject to taxation. After this darkness, many cities wanted to shift to a tax-rich system of taxation as a split-rate property tax in the literature [5]. In this system, a real estate is subject to taxation in two different ratios. The higher rate is applied to the land of the real estate while the lower rate is applied for the structure located on the land.

Another method of providing funds is known as "Tax Increment Financing" in the literature. Basically, this

method seeks to allocate a share for the guided systems from the real estate tax collected from places where the value increases, the resulting transfer value increases which is invested to the public. This method is widely used for various projects in the northeastern states of the USA. As a result of the investments of the first stage rail system, the region where real estate appreciation increases will be determined. This region is called the financial district. The pre-tax base of all taxable real estate located in this region is determined. The collected tax revenues are used to finance the guided system because of the increases in the tax base during the period during the method is applied. The important point in this application is that tax revenues derived from pre-investment bases are not used for financing but only tax revenues derived from the value increases in the investment resultants. Thus, the investments in the backward system do not create an additional financing burden for the public.

1.2.2. Practices of Tax Increment Financing in the World

This method has been applied in the USA for various projects for the last 50 years. Nevertheless, the number of local governments using this method has increased in the last 15 years. Since 2005, all states have made legal arrangements that underpin the implementation of this method.

This method is widely used in many cities of the state of Illinois. By the end of 2005, 233 districts in the Cook district, 136 in the Chicago area and suburbs in the Chicago area were funded for various projects using this method. Only 10 per cent of the real estate value tax collected in Chicago alone is transferred to various projects within this method.

1.2.3. Practices of Special Assessment District in the World

In the third method of providing funds, the goodwill is taken into the measurements determined by the owners of the real estates where the end result value increase is realized. The appreciation of an immovable property is not limited to having a tracked system in the area it occupies. The reason for this is that the value increases due to the railed system have to be deducted from the prices to be paid due to factors other than the guided system. In practice, it is necessary to determine the real estate appreciation-effect area of the investment in railway system that gives goodwill. This area is called the special assessment district. The goodwill area refers to the geographical area that contains real estate that has increased in value to the area. Valuation gains are

transferred to real estate holders located in the goodwill area by using various methods.

In general, local governments from the state governments in the United States have provided funding for transportation financing with this method. According to the 2002 figures, the revenues of local governments consist of 0.44% dividend honours.

The most important resource provision method is a real estate development partnership. A comprehensive method of real estate development partnership means that the public is funded by the private sector through the involvement of the private sector in potential real estate development projects resulting from investments in a zone-based system with an official agreement or arrangement between the public and private sectors. This method, which is widely used in the world, is different from country to country. This is an umbrella concept, and different sources of funding are known as real estate development partnerships. Real estate development is a multi-faceted business area and it involves various actions regarding building construction, marketing operation and management without developing the land. The methods were successfully applied in Hong Kong, Taiwan, Tokyo, Thailand, Washington, D.C., New York, Portland, Miami, Philadelphia.

A similar method is known as air rights. It aims to develop real estate on land allocated to public highways, railway system lines and stations with the air right method. The financial resources provided from the real estate projects developed on these landmarks are used in the construction and operation of highways, railways.

1.2.4. Practices of Joint Development Method in the World

Hong Kong Examples: Hong Kong is an autonomous region with a surface area of 10,104 km² bound to the People's Republic of China, which is located on the southern coast of the People's Republic of China.

The Hong Kong Metropolitan Transit Railway Corporation (MTRC) uses the rail plus property model, shortly called as the R + P model, which he calls the real estate development partnership method, for construction and operation financing of rail systems income.

At the first stage of this model, the company buys the right to develop for the real estate around the station from the Hong Kong administration at pre-rail prices. It then establishes partnerships with real estate development companies, taking into account the high price of the after rail system.

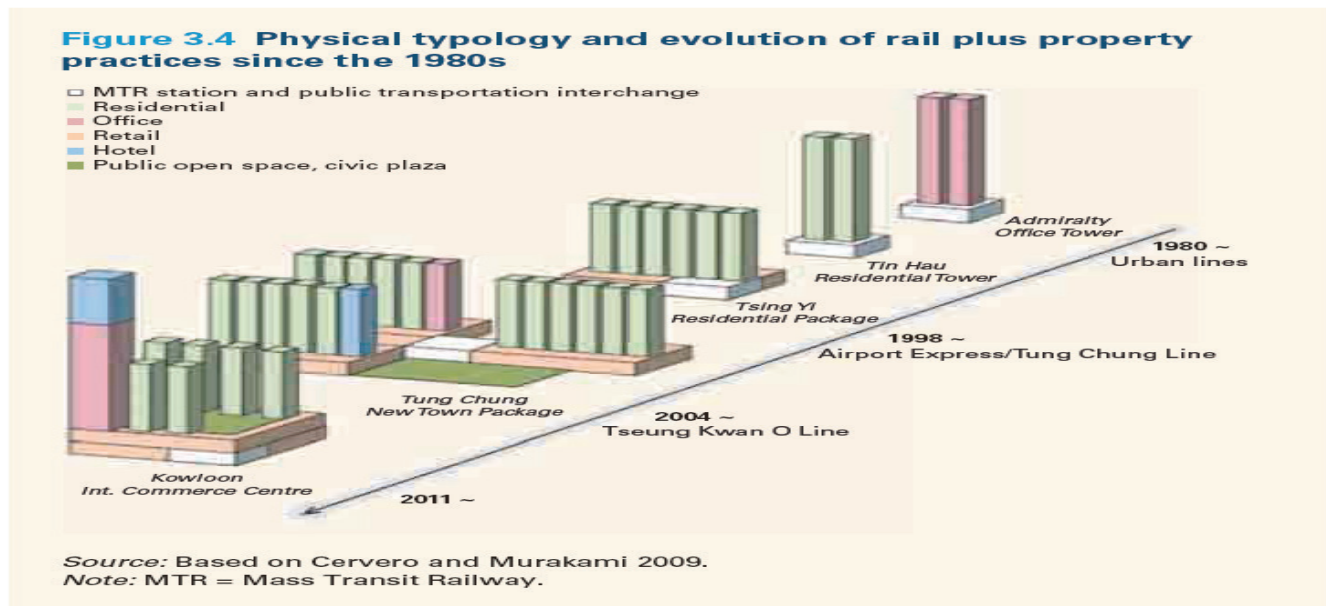


Figure 1. Under-Rail Property Model Applications in Hong Kong

In short, the company shares revenue in private-sector and real estate development projects using the rail plus property model and the right to develop it. The revenue sharing can be in different forms. For example, the company may ask the private sector for a portion of its revenue with up-front payments. In another application, the company can make a profit partnership with the private sector for the project and earn revenues from the post-project sales. Finally, the company may be entitled to the same payments after the project and may generate revenue from the sale or lease of these assets [7].

In the rail plus property model, the company undertakes the legal actions related to the project as well as the land use and design plans of the real estate development project (MTRC). In addition, the private sector, which is common to the project, undertakes the entire construction cost and risk of the project. Land usage may differ from project to project. *Figure 1* shows real estate development projects in a station area along a line. For example, the first project made in 1980, the Admiralty Office Tower was constructed, while the mixed-use was made in the 2011 Kowloon International Center project [8].

1.3. Public-Private Partnership (PPP)

It is defined as the joint execution of public infrastructure projects by the private sector and the government. This type of projects are obtained by state and private firms which

include investment, risk and financing based on responsibility and profit. The aim of the partnership between the public and private sectors is to be able to use the advantages of both sides in a common project. In different projects, the roles that parties can assume may be different [7]. In some partnerships, private sector firms play a dominant role in providing services, and sometimes they can stand out only in the construction and financing. Through such partnerships, efficiency gains in the provision of public infrastructure which is mainly used in investments and public services, design, financing, construction, operation and maintenance activities. Commonly used financing models for transportation projects in the World are listed below [8];

- (i) Build-Operate-Transfer (BOT),
- (ii) Build-Operate (BO),
- (iii) Design-Build-Finance-Operate (DBFO),
- (iv) Build-Own-Operate-Transfer (BOOT),
- (v) Build-Own-Operate (BOO),
- (vi) Build-Lease-Operate-Transfer (BLOT),
- (vii) Securitization.

The advantages and disadvantages of these methods and their detailed explanations are also discussed.

1.3.1. Build-Operate-Transfer (BOT)

This model consists of the following steps.

- (i) The financing of a public infrastructure investment or service which requires advanced technology and / or large resources is realized by a private company,
- (ii) Operated for a period determined by the public,
- (iii) To sell the goods or services produced within the agreed time period to the public institutions in accordance with the tariffs mutually determined by the parties,
- (iv) Deducting the facilities which are operated at the end of the period to the relevant public institutions which are maintained, complete and operational.

Build-Operate-Transfer model of practice in Turkey includes energy, free zones, air and sea ports. Examples of Energy Sector; Birecik Dam, Marmara Ereğlisi Natural Gas projects, including the BOT model is installed and is still operating 23 facilities.

World examples include the Severn Bridge between England and Wales (\$ 510 million), the Shajao power plant in China (\$ 530 million) and the TransAlaska pipeline in the United States.

1.3.2. Build-Operate (BO)

There is no permanent ownership of the private sector in the BOT model. A state monopoly is a contract carried out by a private company under a contractual framework and under its own control. For this reason, the facilities to be constructed are transferred to the state establishment at the end of the projected operating period. The build-operate (BO) model has been put forward as a result of criticism (phase of privatization, competition and economic life), which is the final stage in the build-operate-transfer (BOT) model. Accordingly, the BO model differs from the BOT model in that the facilities to be built in the framework of the agreement remain indefinitely owned by the private sector.

The fact that the entity will be transferred at the end of its economic life in the BOT model will prevent the operating company from postponing the restructuring investments in recent years and efficiently operate the entity without investing in significant amounts of renewal and technology. For this reason, the fact that such asset is constantly in the possession of the operating company necessitates investments in renewal and maintenance that will ensure efficient operation of the asset. The BO model, like the BOT model, is not competitive because both models create privileged companies. The contracts that are made give the buyers and/or the price guarantees to the companies. To eliminate all of these conditions and to enable companies to run their businesses in a competitive environment, it is necessary to decide in the upper-level sector to be created.

1.3.3. Design-Build-Finance-Operate (DBFO)

A private sector firm undertakes the design, financing and construction phases of a new project in the face of a long-term contract, but never takes ownership. The facility is transferred to the public after it is operated by the company during the contract period. The operating period is usually 25-30 years. Some of the prices can be subsidized by the public like the discovery fee. In general, however, it is the private joint responsibility for financing. The general advantage of this model is that it saves money from the financing of the project. The disadvantage is the rather complicated procedures encountered. The main difference from the BOT model is the development of a project design that is thought to be efficient by the private sector. In the BOT model, the work to be done is certain, the company only projects how to finance it.

Examples from the world are the Jose Petrochemical irrigation system in Venezuela, water treatment plants in Ohio.

1.3.4. Build-Own-Operate-Transfer (BOOT)

It is a frequently used model for high-budget infrastructure work (roads, bridges, dams), especially in Australia and developing countries. In this model, the private sector provides the necessary financing for the construction, builds the plant and owns and operates it for a certain period. This period is usually 15-30 years. The facility is then transferred to the public by the company. This model is also supported by the World Bank, the Asian Development Bank and the European Development Bank.

Examples of the world include the Mangawhai Port wastewater plant in New Zealand, the Sydney Harbor Tunnel and Melbourne CityLink projects in Australia and the Tha Ngone Bridge in Laos.

1.3.5. Build-Own-Operate (BOO)

It is the same as the build-own-operate-transfer model in terms of designing, financing and constructing the project. The difference between the BOO model is that the facility is not transferred to the public by the private sector at the end of a certain period of operation (right of indefinite operation). Instead, the government may make some arrangements for the operation of the plant. For example, the government may have a say in pricing.

An example is the \$ 400 million power plant planned to be built in Lithuania with American Calenergy, Duke energy and German Siemens partnership.

1.3.6. Build-Lease-Operate-Transfer (BLOT)

It rents a project that builds the private sector and transfers ownership to the public, and sometimes other units related to the project for a certain period. This structure is used in cases where the project creates discomfort that the private sector owns. For example, it is desirable that motorways, bridges and tunnels are always in the public domain.

1.3.7. Securitization

This model consists of the following steps.

- (i) Consolidation of revenue-generating assets,
- (ii) The sale of these merger-based securities,
- (iii) Making repayments of the securities sold with collected income.

In general, all assets whose future cash flows can be estimated at a certain level of confidence can be securitized. The way of financing through securitization is usually preferred if no resources can be reached due to the inability to reach the desired qualifying funds (maturity, interest, foreign currency) or due to the project risk.

1.4. Advantages and Obligations of PPP Projects

The most common types and evaluations of the Public Sector Partnership in practice are as follows;

1.4.1. Operate-Maintenance

A public entity is maintained and operated with a partner from the private sector. The proceeds are shared between the two partners.

Table 1. Advantages-Obligations for Operate-Maintenance

<i>Advantages:</i>	<i>Obligations:</i>
(i) Potential of increase in service quality and efficiency,	(i) The terms of the partnership may not allow the execution of external contracts,
(ii) The savings to be provided in the costs of providing services,	(ii) In case the private partner can not fulfill the obligations, it is the cost of finding a new partner.
(iii) Flexibility in determining contract conditions,	
(iv) If the asset is in public ownership,	
(v) They may respond late to changing market demands.	

1.4.2. Design-Build

A public enterprise with a partner from the private sector is designed and built. Then, the public undertakes the operation, the share of the other common profit.

Table 2. Advantages-Obligations for Design-Build

<i>Advantages:</i>	<i>Obligations:</i>
(i) To benefit from the experience of the private partner,	(i) Decrease in public control,
(ii) To save on construction costs,	(ii) Difficulties in making amendments to the contract,
(iii) To gain flexibility in adapting innovations,	(iii) Complex awarding procedures,
(iv) To put more risk on the private sector,	(iv) The low cost of capital provided is offsetting the high operating and maintenance costs that may arise due to the fact that the product-life cycle does not participate in the account.
(v) Less problems in construction phases,	
(vi) The main role of the work is to be able to control the results in one place.	

1.4.3. Turnkey Operation

It provides public financing and private sector design and construction. The asset is operated by the private sector partner for a certain period of time. The public sets performance criteria and monitor its implementation. The entity concerned is in possession of the public. This path is used more often when the publicity is very important to ownership, and if the private sector is willing to take advantage of building and operating experience.

Table 3. Advantages-Obligations for Turnkey Operation

<i>Advantages:</i>	<i>Obligations:</i>
(i) <i>The risk of building is in special partnership,</i>	(i) Decrease in control of the business,
(ii) <i>The specification, design and operation principles can be determined,</i>	(ii) Due to the complex award procedure,
(iii) <i>The fact that the operator has a special partnership for a certain period,</i>	(iii) Difficulties in making changes to the contract,
(iv) <i>The public benefit derived from the efficiency of the private partner in construction,</i>	(iv) Depending on the project, financial risk can be assumed by the public.
(v) <i>The construction should be completed in a short time.</i>	

1.4.4. Wrap Around Addition

The private sector makes an addition to itself by providing its own financing of the existing asset. The amount of investment and a predetermined reasonable return run to the winner.

Table 4. Advantages-Obligations for Wrap Around Addition

Advantages:	Obligations:
(i) The public does not have to use funds for improvement,	(i) Future improvements should not be pinched and the difficulties involved later,
(ii) The risk of financing is in special partnership,	(ii) Re-arrangement of existing contracts according to new partner,
(iii) The benefit of the public from the construction experience of the special partner,	(iii) The loss of control by the master.
(iv) Construction to be completed quickly,	

1.4.5. Lease-Buy

The private sector partner makes design, financing and construction. Then the public is renting for a certain period. At the end of the tenancy agreement, the public is transferred. This road is used more often when the public wants to set up a facility or provide a service but can not provide financing. Buildings, transportation fuels, and computer-equipment are often used to provide a way.

Table 5. Advantages-Obligations for Lease-Buy

Advantages:	Obligations:
(i) Rent payments may be less than debt interest payments,	(i) Decreased control over assets and operations.
(ii) The business risk is in the special partnership,	
(iii) Better service can be offered cheaper,	
(iv) Ensuring efficiency in construction,	
(v) It is possible to make a paid lease contract according to the performance.	

1.4.6. Lease-Develop-Operate /or/ Buy-Develop – Operate

The private partner rents or buys an asset from the public. Then develop, modernize and operate. The private sector continues to run its investment to the partner and until a pre-determined income is won.

Table 6. Advantages-Obligations for Lease-Develop-Operate /or/ Buy-Develop – Operate

Advantages:	Obligations:
(i) If you purchase a private common entity, a significant cash entry is provided to the public,	(i) Loss of control over assets,
(ii) The public does not use funds for improvement,	(ii) Difficulties in determining the value of assets to be placed or leased,
(iii) The risk of financing becomes the exclusive partner,	(iii) Difficulties in selling or acquiring donated assets,
(iv) Revenue-generating opportunities are available for both partners,	(iv) In case the private partner fails, it may have to re-commission to provide public service,
(v) Improving facilities and services, providing better quality service to users,	(v) If the future improvements need not be done, it is very difficult to add them later.
(vi) The public benefit is obtained from the construction efficiency of the private partner,	
(vii) Construction is completed quickly,	
(viii) The project is to be applied in a short time.	

1.4.7. Temporary Privatization

A public asset is transferred to private sector development. The asset is owned, developed and operated by the private sector. When the private sector earns an investment that you have made and a predetermined reasonable return, the asset is returned to the public.

Table 7. Advantages-Obligations for Temporary Privatization

Advantages:	Obligations:
(i) If the contract is well prepared, standards and performance control can be done,	(i) Loss of control over assets,
(ii) The transfer of assets reduces the management costs of the public,	(ii) The contract should be prepared considering the anticipated problems in the future,
(iii) Private partnership provides efficiency increase in construction and operation,	(iii) The private partner can set the charge for the usage fee to a high value determined by the public,
(iv) Private sector funds are reached for construction and operation,	(iv) The difficulties of replacing a private partner or replacing it with another partner,
(v) The business is on the exclusive partner of the risk.	(v) The private partner is a potential competitor who can provide the same service in the future,
	(vi) Public employees should be dismissed or transferred to a private partner.

1.4.8. Build-Transfer-Operate

The public finds a partner for financing and construction. Once the asset is completed, it is transferred to the public. On the other hand, the asset is given to the private sector until the investment is made to its partner and a pre-determined reasonable income is earned.

Table 8. Advantages-Obligations for Build-Transfer-Operate

Advantages:	Obligations:
(i) Benefit from the construction experience of the special partner,	(i) In case the private partner does not fit or perform, the contract is difficult to finish.
(ii) Thanks to the operating experience of the private partner, costs are saved,	
(iii) Asset is in public ownership,	
(iv) The public controls the fees to be paid and the services to be provided,	
(v) Operational performance and service standards are controlled by the public,	
(vi) It can be replaced by a new private partner who can not provide performance standards.	

IV. METHODOLOGY

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a general theory of measurement. It is used to derive

ratio scales from both discrete and continuous paired comparisons. These comparisons may be

taken from actual measurements or from a fundamental scale which reflects the relative strength of preferences and feelings. The AHP has a special concern with departure from consistency, its measurement and on dependence within and between the groups of elements of its structure. It has found its widest applications in multi-criteria decision-making, planning and resource allocation in conflict resolution. In using the AHP for modelling a problem one needs a hierarchic or a network structure to represent that problem and pairwise comparisons to establish relations within the structure [9].

Within the scope of this study, The Value Capture Strategies (VCS) and Public Private Partnership (PPP) varieties were evaluated using Analytic Hierarchy Process (AHP) with expert opinion for rail system projects to be carried out in Istanbul.

The objective of this study is *“Selection of Suitable Alternative Financing for Railway Types in Istanbul”*. Four commonly used methods of value capture strategies were identified through literature review. *Figure 2* shows the hierarchical view between the commonly used VCS and PPP methods prepared in the study.

The Value Capture Strategies have been compared to each other with expert opinions in Istanbul. The resulting weighting is presented in *Figure 3*.



Figure 2. Value Capture Strategies Hierarchy View

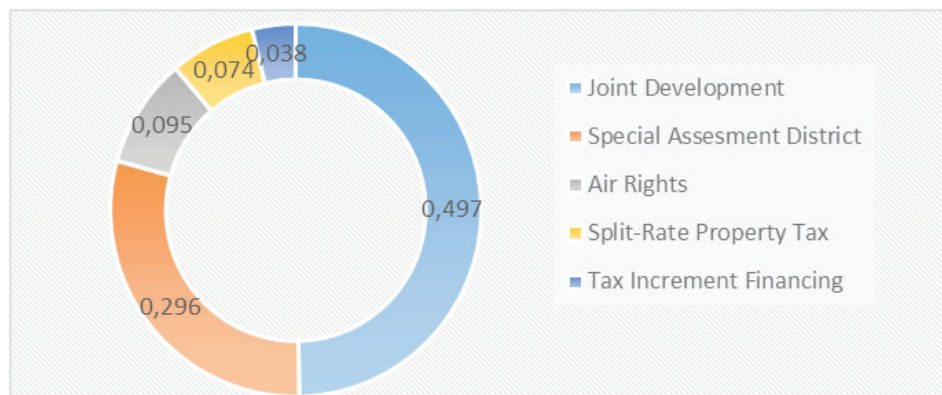


Figure 3. Value Capture Strategies Prioritization and Comparison Table.

Comparisons have been made to find appropriate PPP Methods for VCS to be selected. Example A comparison of the partnership method for the Joint Development Strategies is presented in *Figure 4*.

COMPARE THE RELATIVE IMPORTANCE WITH RESPECT TO JOINT DEVELOPMENT

	(BOT)	(BO)	(DBFO)	(BOOT)	(BOO)	(BLOT)	Securitization
Build-Operate-Transfer (BOT)	1.00	5.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
Build-Operate (BO)		1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	7.00
Design-Build-Finance-Operate (DBFO)			1.00	5.00	3.00	3.00	7.00
Build-Own-Operate-Transfer (BOOT)				1.00	5.00	3.00	5.00
Build-Own-Operate (BOO)					1.00	3.00	5.00
Build-Lease-Operate-Transfer (BLOT)						1.00	5.00
Securitization							1.00

Figure 4. Partnership Method Comparison for Joint Development Strategy

When the results of the AHP evaluation are examined using the Expert Choice program shown in *Figure 5*, it is

understood that cooperation with all processes in the projects to be developed with the private sector is required. In terms of the private sector; design, construction, financing and participating in all of the business processes, minimizes the total cost of the projected systems and increasing the profitability. In terms of the public sector, this approach will not be a problem if passenger demand is met effectively.

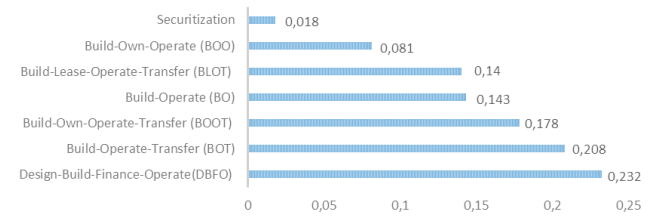


Figure 5. PPP proposal for railway system construction for Istanbul

The sensitivity analysis shows that the selected BOT partnership model for Istanbul will change when the determined strategy turns to higher weighted Joint Development. When such a choice is made, the choice of Design Build-Finance-Operate (DBFO) will be a more appropriate partnership method. *Figure 6*. summarizes this situation.

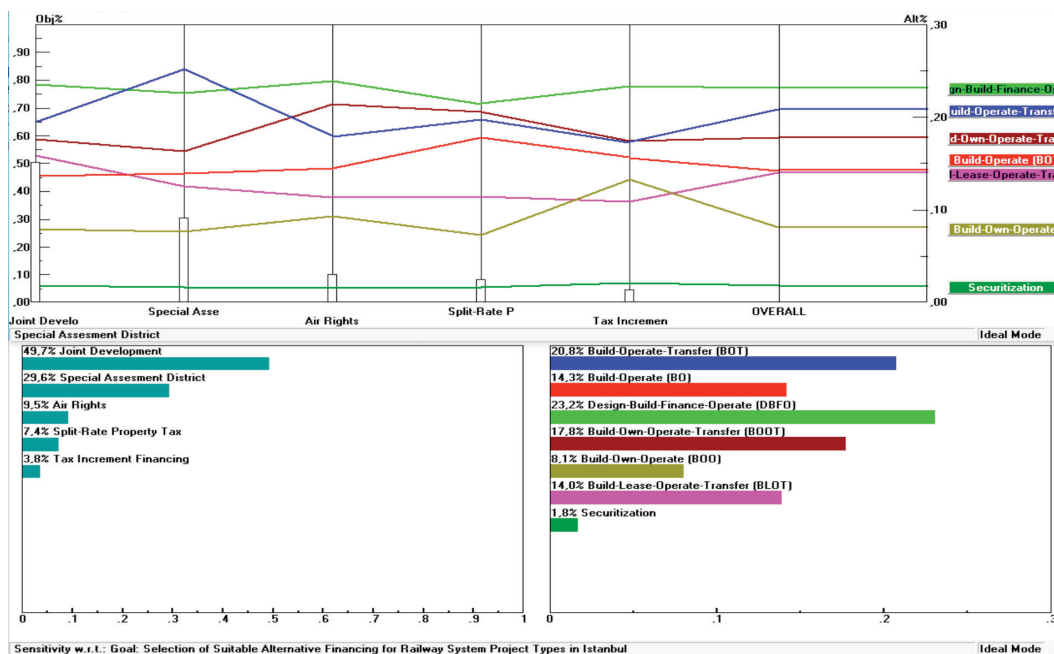


Figure 6. Sensitivity Analysis

V.FINDINGS and DISCUSSION

Partnership models like PPP will make a significant contribution to Istanbul's achieving the 1.000 km guided system. With PPP it is possible to start service/ finalize investments quickly. However, it is not possible to finance only large-scale projects with travel and advertising revenues.

For PPP, feasibility studies with only traditional income items may not be enough. It will be useful to implement Value Capture Strategies for PPP jobs. Istanbul is a very attractive city especially in terms of real estate investment. It is seen that Joint Development is the most appropriate strategy for Istanbul when it is assessed with expert opinions for Istanbul as its value capture strategies. In such a case, the appropriate methods for PPP will be BOT and / or DBFO.

According to Fortune magazine, real estate prices in Istanbul have risen by 142% over the past 5 years. In new city-wide real estate projects, proximity to railed system lines is used as a marketing strategy. It will be useful to develop this opportunity as Value Capture Strategies.

However, worldwide PPP financing models for public transport within the city have been implemented in very few cases. In the implementation of such projects, it is generally preferred to use low-cost rail systems (cable cars, light subways, aerials, street trams). Diversification of income items, especially with respect to real estate prices, will enable them to be used as financing in high-cost urban railway system projects.

About Istanbul For Value Capture Strategies, the evaluation notes of experts in face to face interviews are presented below. (Experts who made face to face interviews were not disclosed. In general, the public and private sector in the senior task, finance, subway management, public administrators and project managers of construction companies.)

- 1- It is possible to design such models with different varieties within themselves. In this context, each country needs to take advantage of its experience in BOT / PPP metro investments around the world, considering its own particular circumstances. (e.g. Milan Metro Line 4-5, Melbourne Metro, Hyderabad Metro, Salvador Metro, Beijing, Hong Kong etc.)
- 2- Upper use right; it is obvious that it will make a very important contribution to the funded system. The cost of the overuse is transferred to a special budget for use in railing system financing. In the BOT / PPP contract, the operation / rental period can be shortened. For the application;
 - a. Legal arrangements are required as discussed in the meeting.
 - b. The feasibility of the project should be designed to maximize the use of the upper use, and the development plans should be provided.
 - c. The relevant area must be purchased by our municipality in the course of study.
- 3- It is possible to contribute to the financing and the guided system budget obtained by privatizing high-income lines for a certain period of time (e.g. 30 years).
- 4- Taxes should be levied under the name of systematic share from the sectors of urban transport in Istanbul (gasoline, bridges, all transportation service tickets, private vehicle consumption, etc.) as TRT share.
- 5- To increase the income of the existing lines, buses / minibuses etc., which are working on the same route. Some of the routes should be removed, but the routes that feed the lines should be added. Railway system integration should be put into effect for efficient use of the lines.
- 6- The names of the stations are given to the sponsor companies. Transfer of income from this to the budget of the rail system. (Such as Turk Telekom Uskudar Station)
- 7- BOT / PPP is generally not considered suitable by investors and / or creditors because the return times are long due to the high cost of the Metro investment. In order to make BOT / PPP metro investments attractive;
 - a. Warranty passenger and ticket price application,
 - b. Upper use right,
 - c. Advertisement income right,
 - d. Sponsor station name right,
 - e. Right to construct and operate a parking lot,
 - f. The right of construction and operation of the bazaar,
 - g. 50% of the operating energy cost paid by the Contracting Entity (reducing the financial burden on the Contractor)
 - h. Financing of a part of the work by the Administration. (For example, the cost of the electromechanical work will be paid by the Contracting Entity as a reward to reduce the financial burden on the Contractor).
- 8- More optimal solutions (low construction and operation cost, high customer satisfaction, fast construction methods) will be produced if the PPP metro investments are designed to be designed-build-operate-transfer-and thus make PPP / BOT possible / attractive.

9- Renting of tunnels and stations for fiber-optic lines can increase the revenue of the rail system.

10- If PPP / BOT is not feasible in subway projects, PPP / BOT should be surveyed in projects with low investment cost, such as low-altitude, light subway, cable car, funicular, street tram.

Planning, financing, construction, operation, real estate appraisal, expropriation of rail system lines together with our above evaluations; in order to be managed more effectively from a single rule, the Rails Systems should be managed by an independent organization structure under the Metropolitan Municipality. Thus, it may be possible to provide more flexible and effective financing with the legal remedies.

VI.CONCLUSION

Strategies for Value Capture, the applicability of the method in Turkey are summarized in the following table.

Table 9. Value Capture Strategies for Applicability Turkey

Value Capture Strategies (VCS)	Definition of Method	Applicability of Method.
Split-rate property tax,	Real estate value tax includes both land tax and all taxes applied to the annexes such as the building on the land.	Applicability requires legal regulation.
Tax Increment Financing	Basically, this method predicts the allocation of the shares for the led systems from the tax collected from the place where the value increase in the transfer of the resulting value increases to the public is realized.	Applicability requires legal regulation.
Special assessment district	The end result of investing in honorable system is the price paid by the owners of the growing real estate.	Applicability requires legal regulation.
Joint Development	Real estate development is a multi-faceted business area and it involves various actions regarding building construction, marketing operation and management without developing land.	Applicable. Legal basis: Metropolitan Municipality Law No. 5216 Municipality Law No. 5393
Air Rights	The concept of the right of air expresses the means by which central or local governments allocate land for their transportation investments by providing income by opening these land to various uses in order to meet some or all of the transportation investment costs.	Applicable. Legal basis: Metropolitan Municipality Law No. 5216

In determining the Financing of a Rail System project and the Value Increasing Strategy, it is necessary to follow

various steps. Firstly, priority projects should be determined in accordance with the strategic transportation plan. A comprehensive feasibility study should be carried out for the selected projects. It should be decided which of the financing models is more appropriate for the projects whose feasibility is completed. There is no single financing model that can be applied to all different projects. A financing model suitable for the nature of the project (cost, life, income, risks) should be selected. More than one value capture strategy can be used in a project.

Under the proposed financing model principles, different and flexible financing models can be produced for any project considered. It is not possible to define a single standard financing model and apply it to all different quality projects (such as motorways and high-speed train projects).

The current legislation of Turkey, allows the implementation of only BOT and BO financing models. Therefore, the current trends seen all over the world shows that it is necessary to establish new laws and the Regulations allowing the PPP model for Turkey.

Value-added strategies for Istanbul were handled with public administrations, construction contractors and real estate appraisers. It has been proposed in this study that the selection of appropriate public-private cooperation models and which alternative financing methods can be used. Future research should explore how much of the investment cost can be met in a few years by using value capture strategies on a tracked system grid.

REFERENCES

- [1] Yescombe, E.R., Principles of Project Finance, 2002.
- [2] Dr.Azadeh Kopp-Moini, XS-Axis Consulting GmbH, Unpublished Presentation, Railway PPPs “Trends, PPP Relevant Issues”, Hamburg, Germany,2013. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/ceci/documents/2014/PPP_Materclass/Day3_Azadeh_Kopp_Railway_PPP.pdf
- [3] Julien Dehornoy, PPPs in the rail sector – A review of 27 projects, SNCF French National Railways, April 2012. https://mpr.ub.uni-muenchen.de/38415/1/MPRA_paper_38415.pdf
- [4] Istanbul Metropolitan Municipality 2016 Year Investment and Service Program, 2016,
- [5] Lari, Adil and Levinson, David and Zhao, Zhirong and Iacono, Value Capture of Transportation Finance, Tecnical Research Report, Minneapolis,2009.
- [6] Ismail Eraslan et al., Istanbul Property Value Map Study, IMM, Istanbul, 2017.

- [7] Z. Zhao, Levinson D., Introduction to The Special Issue on Value Capture for Transportation Finance, The Journal Transport of Land Use, University of Minnesota, 2012.
- [8] Suzuki, H. J. Murakami, Y. Hong, and B. Tamayose, Financing Transit-Oriented Development with Land Values: Adapting Land Value in Developing Countries, Washington D.C., Urban Development Series, World Bank Group, 2015.
- [9] R. W. Saaty, The Analytic Hierarchy Process-What It is And How It is Used, Math Modeling, 1987.
- [10] Finnerty, J.D. *Project Financing: Asset-Based Financial Engineering*. John D. Wiley & Sons, 1996.
- [11] Khan, MFK and Parra R.J. *Financing Large Project Using Project Finance Techniques and Practices*, 2003.
- [12] Istanbul Metropolitan Municipality, Transportation Master Plan, Alternative Financing Swot Analysis, 2002, Istanbul, Turkey.
- [13] Istanbul Electricity, Tramway and Tunnel General Management, Public Transport, Tunnel, Istanbul, 2018. <http://www.iETT.istanbul/en/main/pages/tunnel/154>

Transferability of Barley Retrotransposons (*Sukkula* and *Nikita*) to Investigate Genetic Structure of *Pimpinella anisum* L.

Arpa Retrotranspozonlarının (*Sukkula* ve *Nikita*) *Pimpinella Anisum* L.'nin Genetik Yapısını İncelemeye Aktarılabilirliği

Sevgi MARAKLI¹ 

¹Amasya University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, 05100, Amasya, Turkey

Abstract

Transferability of barley retrotransposons (*Nikita* and *Sukkula*) were examined in *Pimpinella anisum* L. seeds by using a retrotransposon-based molecular marker: IRAP (inter-retrotransposon amplified polymorphism). Furthermore, transposons' sequences identified in medically important plants were obtained from NCBI, and multiple alignment analyses were performed to investigate the evolutionary relationships. These two retrotransposons were identified in *Pimpinella anisum* L., showing homomorphic band profiles. In addition, limited similar sequences were detected as a result of clustal analyses. Till date, no study about retrotransposons evaluation using IRAP as molecular marker has been published in aniseed. Our results are expected to contribute a new perspective for genome architect of medically important plants in addition to aniseed.

Keywords: Aniseed, IRAP, Medical Plants, Mobile Genetic Elements

Öz

Arpa retrotranspozonlarının (*Nikita* ve *Sukkula*) aktarılabilirliği, retrotranspozon temelli bir moleküler markır olan IRAP (retrotranspozon-arası çoğaltılmış polimorfizm) yöntemi kullanılarak *Pimpinella anisum* L. tohumlarında incelendi. Ayrıca, tıbbi olarak önemli bitkilerde tanımlanan transpozonların dizileri, NCBI'dan elde edildi ve evrimsel ilişkileri araştırmak için çoklu hizalama analizleri yapıldı. *Pimpinella anisum* L. bitkisinde tanımlanan bu iki retrotranspozon homomorfik bant profili gösterdi. Bununla birlikte, çoklu hizalama analizleri sonucunda sınırlı sayıda benzer diziler tespit edildi. Bugüne kadar, anasonda IRAP gibi bir moleküler markır kullanılarak retrotranspozon değerlendirmesi yapan bir çalışma yayımlanmamıştır. Sonuçlarımızın, anason ile birlikte tıbbi açıdan önemli bitkilerin genom yapısının anlaşılması için yeni bir bakış açısına katkıda bulunması bekleniyor.

Anahtar Kelimeler: Anason, IRAP, Tıbbi Bitkiler, Hareketli Genetik Elementler

I. INTRODUCTION

Pimpinella anisum L. (aniseed) belonging to Apiaceae family is an annual herb with white flowers and small green/yellow seeds, cultivating Europe, Asian countries and Latin America in addition to many other warm regions of the world [1, 2]. The seeds have been commonly used for folk medicine, pharmacy, food industry and even as a spice [3]. There are many reports about antibacterial [4], anti-oxidative [5], antitoxicity [6] and also anticancer [7] effects of essential oils in aniseed. On the other hand, there is still some concern related to the safety and efficiency. DNA technology/molecular markers are used to prevent these problems. For this purpose, there are many studies related to DNA markers for identification of herbal medicinal species and their adulterants, investigation of genetic changes as a result of biotic/abiotic stress DNA fingerprinting among species and different tissues of the same plant, and evolutionary relationships [8]. One class of these markers is developed on the basis of retrotransposon sequences. Retrotransposons are mobile genetic elements, moving via an

RNA intermediate in genome. Retrotransposon-based molecular markers are codominant, ubiquitous, highly abundant and randomly distributed with high copy numbers in plant genomes [9-12]. Inter-retrotransposon amplified polymorphism (IRAP) is one of the retrotransposon-based molecular markers, amplifying genomic distance between two long terminal repeats (LTRs) found in both two ends of the retrotransposon. In this method, polymorphisms can be calculated by the presence or absence of the PCR product [13]. Sequences of identical LTR retrotransposons indicate the relatedness among species [14]. Therefore, LTR primers designed according to a species can be used to amplify DNA of others. As a result, IRAP gives very valuable information related to the genomes of different species [15, 16].

The major objective of this study was to detect *Nikita* and *Sukkula* retrotransposons, identified in barley [17], in aniseed genome by using IRAP technique. Moreover, different transposons described in medically important plant families were also investigated to evaluate evolutionary relationships.

II. MATERIALS AND METHODS

2.1 Genomic DNA Isolation and IRAP-PCR

Genomic DNAs were isolated from seven *Pimpinella anisum* L. seeds according to Kidwell and Osborn [18] with minor modifications. The quality and the quantity of gDNA was controlled on 1% agarose gel and a spectrophotometer, respectively. IRAP-PCR was performed with *Nikita* and *Sukkula* specific primers (5'ACCCCTCTAG-GCGACATCC3' for *Nikita* and 3'GGAACGTCGGCAT-CGGGCTG5' for *Sukkula*) [19]. Amplification reactions were carried out in 20 µl reaction mixtures, including 9.8 µl of nuclease-free dH₂O, 2 µl of reaction buffer (K1071, Fermentas), 2 µl of MgCl₂ (2.5 mM), 0.6 µl dNTP mixture (0.3 mM), 2 µl of primer (1 µM/µL), 3 µl of 20 ng/µl template genomic DNA (3 ng/µl) and 0.6 µl of enzyme (0.15 U/µl). The values given in parenthesis indicated the final concentrations of PCR components. The amplification conditions were set up as an initial denaturation step at 94°C for 3 min followed by 30 cycles of 94°C for 30 s, annealing for 30 s (50°C for *Nikita* and 56°C for *Sukkula*) and 72°C for 3 min. The reaction was completed by a final extension step at 72°C for 10 min. All the experiments were performed with independent biological replicates (seven seeds). PCR products were resolved on 1% agarose gel in 1X Tris-Borate-EDTA at 120 V for 120 min and photographed on a UV transilluminator. Molecular weight marker (GeneRuler™ 1 kb DNA Ladder, SM0312, Fermentas) was also

used to determine the size of amplicons. After agarose gel electrophoresis, gels were photographed on a UV transilluminator. Band profiles among samples for *Nikita* and *Sukkula* were examined.

2.2 Multiple Alignment Analyses

Different transposons sequences belonging to the seven medically important plant families were obtained from NCBI (The National Center for Biotechnology Information – www.ncbi.nlm.nih.gov) (Table 1). Then, multiple alignment analyses were performed with Clustal Omega (http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo) and limited similar sequences were obtained. Therefore, it was not enough to construct a phylogenetic tree.

Table 1. Analysed plants and transposons' sequences

Accession number	Family Name	Plant name	Transposon
AY585677.3	<i>Alliaceae</i>	<i>Allium cepa</i>	<i>PINK</i>
KM434203.1		<i>Allium cepa</i>	<i>AcCACTA1</i>
KM434202.1		<i>Allium cepa</i>	<i>AcCOPIA1</i>
EF192476.2		<i>Allium cepa</i>	<i>hAT1</i>
DQ250807.1	<i>Apiceae</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>PIF-like DcMaster-1</i>
DQ250806.1		<i>Daucus carota</i>	<i>PIF-like DcMaster-a</i>
AB071213.1		<i>Daucus carota</i>	<i>Tdc B2-2</i>
AB001569.1		<i>Daucus carota</i>	<i>Tdc1</i>
DQ229838.1	<i>Asteraceae</i>	<i>Helianthus annuus</i> cultivar R112	Gypsy-like retrotransposon
D37795.1	<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea nil</i>	<i>Tpn1</i>
AB073921.1		<i>Ipomoea nil</i>	<i>Tpn8</i>
EU009625.1	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Citrullus lanatus</i> var. <i>lanatus</i>	<i>Cila-1</i>
AM040263.2	<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus sinensis</i>	<i>CIRE1.1</i>
AF279585.2	<i>Solanaceae</i>	<i>Lycopersicon chilense</i>	<i>TLC1.1</i>
AF228701.1		<i>Lycopersicon peruvianum</i>	<i>Retrolyc1-1</i>
X13777.1		<i>Nicotiana tabacum</i>	<i>Tnt 1-94</i>
U91987.1		<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Potten1</i>

III. RESULTS

3.1 *Nikita* and *Sukkula* were Identified in Aniseed

Nikita IRAP-PCR analyses of seven *Pimpinella anisum* L. seeds were demonstrated homomorphic band profiles,

ranging from 250 bp to 6000 bp. There was no polymorphic band among samples (Figure 1).

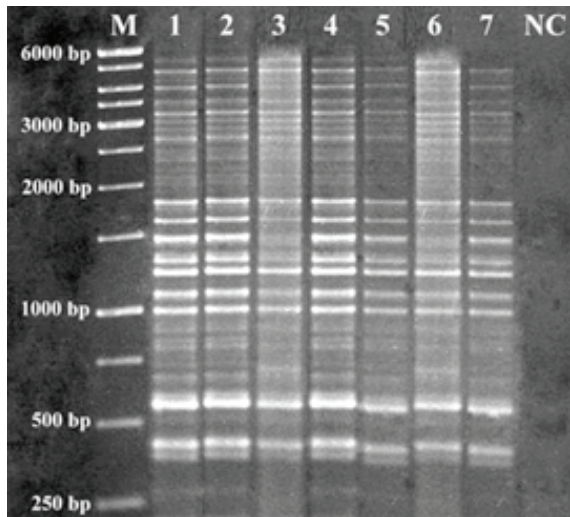


Figure 1. IRAP-PCR results of *Nikita*. M, marker; NC, negative control. Numbers shows seven different seeds of *Pimpinella anisum* L.

In addition to *Nikita*, another retrotransposon, *Sukkula* also showed only homomorphic bands among samples (Figure 2).

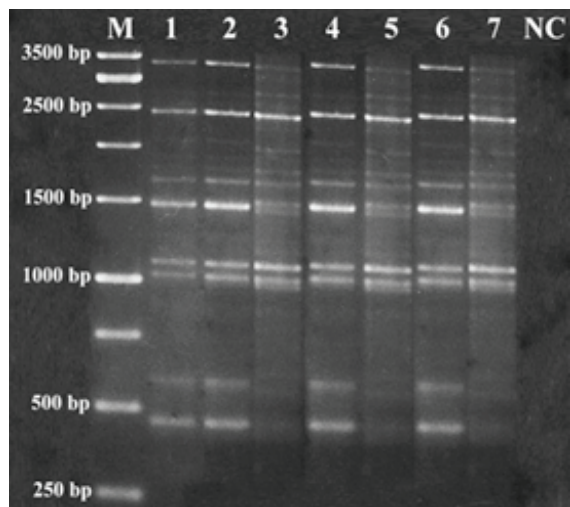


Figure 2. IRAP-PCR results of *Sukkula*. M, marker; NC, negative control. Numbers shows seven different seeds of *Pimpinella anisum* L.

Sukkula band profiles were different when compared to *Nikita*, indicating fewer bands with the length between 500 and 3500 bp. Furthermore, some bands with the same base pairs were observed in both *Nikita* and *Sukkula* (Figure 3).

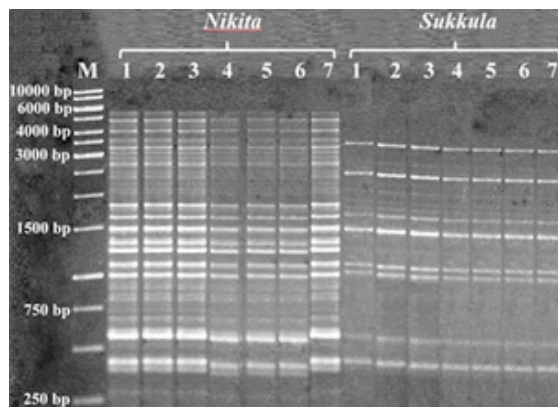


Figure 3. IRAP-PCR results of *Nikita* and *Sukkula*. M, marker; NC, negative control. Numbers shows seven different seeds of *Pimpinella anisum* L.

3.2 Clustal Analyses Indicated Very Few Similar Sequences

We observed limited similarity (a) similar transposon sequences belonging to the same plant species (such as *PIF-like DcMaster-1* and *PIF-like DcMaster-a* in *Daucus carota*), (b) different transposon sequences found in same plant species (such as *Alliaceae* family), in addition to different transposons's sequences in different families (Figure. 4).



Figure 4. Alignment of the deduced sequences obtained from seven families. Every four nucleotides indicated in different colours

IV. DISCUSSION

There are many reports related to the essential oils of aniseed characterised by antispasmodic, antioxidant, antimicrobial, insecticidal, and antifungal effects [20]. On the other hand, there is no study to investigate retrotransposon movements in aniseed. In this study, barley-specific retrotransposons (*Nikita* and *Sukkula*) were detected in aniseed genome for the first time, founding homomorphic band profiles.

IRAP markers were used for analysing polymorphism in different populations. One of them was performed by Boronnikova and Kalendar [21], observing 125 polymorphic IRAP markers in *Adonis vernalis* populations. Moreover, Soorni et al. [22] investigated the same retrotransposons' movements in another medicinal plant, *Leonurus cardiaca* L., reporting $\geq 80\%$ polymorphism among samples. *Nikita* retrotransposon movements in *Avena species* also analysed by Tomás et al. [23]. Different obtaining results could be depended on plant species, different transposons and environmental conditions. Furthermore, a specific retrotransposon could be found in different plant species even humans with different polymorphism ratios [15, 16].

In addition to retrotransposons, many DNA barcodes such as *rbcL*, *matK*, *trnH-psbA* and ITS has been widely studied to evaluate biodiversity and conservation. Furthermore, they are also a reliable tool for species identification in addition to safety and quality control [24]. Especially, ITS2 DNA barcode is commonly used for identification of medicinal plants [25, 26]. In addition, nuclear ribosomal DNA (nrDNA) ITS region is also a popular marker, comprising the database for Apiaceae subfamily Apioideae [27]. Wang et al. [28] studied with nrDNA ITS and cpDNA intron sequence data to understand evolutionary relations between *Pimpinella* and related genera (Apiaceae). Furthermore, ITS sequences of *Pimpinella pruatjan* were investigated to identify the relationships among other *Pimpinella* species [29].

Other molecular marker techniques have been also performed to assess genetic diversity. Wang et al. [30] investigate the genetic diversity of *Rheum officinale* by using ISSR. They concluded that diversity was high at the species level, whereas low at the population level. The genetic diversity of *Trigonella foenum-graecum* was also investigated using RAPD and ISSR markers in addition to nrDNA and ITS barcodes [31, 32]. Moreover, similar to our study, Kumar et al. [33] investigated *Daucus carota* microsatellite markers in another species, *Cuminum cyminum*.

Analysing of suitable DNA barcodes for every species play an important role in diversity analyses [8]. Transposable elements are source of genetic and epigenetic variabilities and so important drivers of evolution [34]. LTR

retrotransposon transferability among species could be as a result of analogous to virus capsid [35]. Sun et al. [36] studied with the transferability of pear IRAP to apples and other Rosaceae species. Different from our results, they reported that polymorphism was very high, ranging from 87.5 to 100%. The transferability of DNA markers depends on genome similarity, showing genome collinearity and evolutionary relationships species [37]. Therefore, molecular markers have been commonly used for genetic reports because of interspecific and intergeneric transferability [38]. To our knowledge, this is the first report about retrotransposon-based marker, IRAP, for identifying *Nikita* and *Sukkula* in aniseed genome. The study revealed that both two retrotransposons were found in aniseed, indicating homomorphic band profiles. Retrotransposons' markers investigations have commonly used for knowledge of diversity. Therefore, our findings might contribute valuable information related to genomes of medicinal plants.

REFERENCES

- [1] Gülçın, İ., Oktay, M., Kireççi, E., & Küfrevioğlu, Ö.İ., (2003). Screening of Antioxidant and Antimicrobial Activities of Anise (*Pimpinella anisum* L.) Seed Extracts. *Food Chemistry*, 83(3), 371-382.
- [2] Rodrigues, V.M., Rosa, P.T., Marques, M.O., Petenate, A.J., & Meireles, M.A.A., (2003). Supercritical Extraction of Essential Oil From Aniseed (*Pimpinella anisum* L) Using CO₂: Solubility, Kinetics, and Composition Data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1518-1523.
- [3] Samojlik, I., Mijatović, V., Petković, S., Škrbić, B., & Božin, B., (2012). The Influence of Essential Oil of Aniseed (*Pimpinella anisum*, L.) on Drug Effects on the Central Nervous System. *Fitoterapia*, 83(8), 1466-1473.
- [4] Ibrahim, M.K., Mattar, Z.A., Abdel-Khalek, H.H., & Azzam, Y.M., (2017). Evaluation of Antibacterial Efficacy of Anise Wastes Against Some Multidrug Resistant Bacterial Isolates. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(1), 34-43.
- [5] Koriem, K.M., Arbid, M.S., & El-Gendy, N.F., (2016). The Protective Role of Anise Oil in Oxidative Stress and Genotoxicity Produced In Favism. *Journal of Dietary Supplements*, 13(5), 505-521.
- [6] Jamshidzadeh, A., Heidari, R., Razmjou, M., Karimi, F., Moein, M.R., Farshad, O., Akbarizadeh, A.R. & Shayesteh, M. R. H., (2015). An *in vivo* and *in vitro* Investigation on Hepatoprotective Effects of *Pimpinella anisum* Seed Essential Oil and Extracts Against Carbon Tetrachloride-Induced Toxicity. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 18(2), 205-211.
- [7] Asadi, M.H., & Rahamooz-Haghighi, S., (2016). Anti-Proliferative Effect of the Extracts and Essential Oil of *Pimpinella*

- anisum* on Gastric Cancer Cells. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 5(4), 157-161.
- [8] Li, L., Josef, B.A., Liu, B., Zheng, S., Huang, L., & Chen, S., (2017). Three-Dimensional Evaluation on Ecotypic Diversity of Traditional Chinese Medicine: A Case Study of *Artemisia annua* L. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1225.
- [9] Wicker, T., Sabot, F., Hua-Van, A., Bennetzen, J.L., Capy, P., Chalhoub, B., Flavell, A., Leroy, P., Morgante, M., Panaud, O., Paux, E., SanMiguel, P., & Paux, E., (2007). A Unified Classification System for Eukaryotic Transposable Elements. *Nature Reviews Genetics*, 8(12), 973-982.
- [10] Schulman, A.H., Flavell, A.J., Paux, E., Ellis, T.H.N., (2012). The application of LTR retrotransposons as molecular markers in plants. In: Bigot, Y. (ed.), *Mobile Genetic Elements: Protocols and Genomic Applications*. Humana Press, 115-153.
- [11] Gozukirmizi, N., Temel, A., Marakli, S., Yilmaz, S., (2016). Transposon Activity in Plant Genomes. In: Hakeem, H.R., Tombuloglu, H., Tombuloglu, G. (eds.), *Plant Omics: Trends and Applications*. Springer-Verlag, Springer International Publishing Switzerland, 83-108.
- [12] Gozukirmizi, N., Yilmaz, S., Marakli, S., Temel, A., (2015). Retrotransposon-Based Molecular Markers; Tools for Variation Analyses in plants. In: Taski-Adjukovic, K. (ed.), *Applications of Molecular Markers in Plant Genome Analysis and Breeding*. Research Signpost, Kerala, 19-45.
- [13] Kalendar, R., (2011). The Use of Retrotransposon-Based Molecular Markers to Analyze Genetic Diversity. *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 48, 261-274.
- [14] Kalendar, R., Tanskanen, J., Chang, W., Antonius, K., Sela, H., Peleg, O., & Schulman, A.H., (2008). Cassandra Retrotransposons Carry Independently Transcribed 5S RNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(15), 5833-5838.
- [15] Cakmak, B., Marakli, S., & Gozukirmizi, N., (2015). *SIRE1* Retrotransposons in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Russian Journal of Genetics*, 51(7), 661-672.
- [16] Cakmak, B., Marakli, S., & Gozukirmizi, N., (2017). *Sukkula* Retrotransposon Movements in the Human Genome. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(4), 756-760.
- [17] Shirasu, K., Schulman, A.H., Lahaye, T., & Schulze-Lefert, P., (2000). A Contiguous 66-kb Barley DNA Sequence Provides Evidence for Reversible Genome Expansion. *Genome Research*, 10(7), 908-915.
- [18] Kidwell, K.K., Osborn, T.C., (1992). Simple Plant DNA Isolation Procedures, In: Beckmann, J.S., Osborn, T.C. (eds.) *Plant Genomes: Methods for Genetic and Physical Mapping*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1-13.
- [19] Leigh, F., Kalendar, R., Lea, V., Lee, D., Donini, P., & Schulman, A. H., (2003). Comparison of the Utility of Barley Retrotransposon Families for Genetic Analysis by Molecular Marker Techniques. *Molecular Genetics and Genomics*, 269(4), 464-474.
- [20] Shojaii, A., & Abdollahi Fard, M., (2012). Review of Pharmacological Properties and Chemical Constituents of *Pimpinella anisum*. *ISRN pharmaceuticals*,
- [21] Boronnikova, S.V., & Kalendar, R. N., (2010). Using IRAP Markers for Analysis of Genetic Variability in Populations of Resource and Rare Species of Plants. *Russian Journal of Genetics*, 46(1), 36-42.
- [22] Soorni, A., Nazeri, V., Fattahi, R., & Khadivi-Khub, A., (2013). DNA Fingerprinting of *Leonurus cardiaca* L. Germplasm in Iran Using Amplified Fragment Length Polymorphism and Inter-Retrotransposon Amplified Polymorphism. *Biochemical Systematics and Ecology*, 50, 438-447.
- [23] Tomás, D., Rodrigues, J., Varela, A., Veloso, M.M., Viegas, W., & Silva, M., (2016). Use of Repetitive Sequences for Molecular and Cytogenetic Characterization of *Avena* species From Portugal. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(2), 203.
- [24] Li, M., Cao, H., But, P.P.H., & Shaw, P.C., (2011). Identification of Herbal Medicinal Materials Using DNA Barcodes. *Journal of Systematics and Evolution*, 49(3), 271-283.
- [25] Chen, S., Yao, H., Han, J., Liu, C., Song, J., Shi, L., Zhu, Y., Ma, X., Gao, T., Pang, X., Luo, K., Li, Y., Li, X., Jia, X., Leon, C., (2010). Validation of the ITS2 Region as a Novel DNA Barcode for Identifying Medicinal Plant Species. *PLoS One*, 5(1), e8613.
- [26] Gao, T., Yao, H., Song, J., Liu, C., Zhu, Y., Ma, X., Pang X., Xu, H., & Chen, S., (2010). Identification of Medicinal Plants in the Family Fabaceae Using a Potential DNA Barcode ITS2. *Journal of Ethnopharmacology*, 130(1), 116-121.
- [27] Downie, S.R., Spalik, K., Katz-Downie, D.S., & Reduron, J.P., (2010). Major Clades within Apiaceae Subfamily Apioideae as Inferred by Phylogenetic Analysis of nrDNA ITS Sequences. *Plant Diversity and Evolution*, 128(1-2), 111-136.
- [28] Wang, Z.X., Downie, S.R., Tan, J.B., Liao, C.Y., Yu, Y., & He, X.J., (2014). Molecular Phylogenetics of *Pimpinella* and Allied Genera (Apiaceae), with Emphasis on Chinese Native Species, Inferred From nrDNA ITS and cpDNA Intron Sequence Data. *Nordic Journal of Botany*, 32(5), 642-657.
- [29] Nurcahyanti, A.D., Nasser, I.J., Sporer, F., Graf, J., Bermawie, N., Reichling, J., & Wink, M., (2016). Chemical Composition of the Essential Oil From Aerial Parts of Javanian *Pimpinella pruatjan* Molk. and Its Molecular Phylogeny. *Diversity*, 8(3), 15.
- [30] Wang, X.M., Hou, X.Q., Zhang, Y.Q., Yang, R., Feng, S. F., Li, Y., & Ren, Y., (2012). Genetic Diversity of the Endemic and Medicinally Important Plant *Rheum officinale* as Revealed by Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) Markers. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3900-3915.
- [31] Kakani, R.K., Singh, S.K., Pancholy, A., Meena, R.S., Pathak, R., & Raturi, A., (2011). Assessment of Genetic Diversity in *Trigonella foenum-graecum* Based On Nuclear Ribosomal

- DNA, Internal Transcribed Spacer and RAPD Analysis. *Plant Molecular Biology Reporter*, 29(2), 315-323.
- [32] Sindhu, A., Tehlan, S.K., & Chaudhury, A., (2017). Analysis of Genetic Diversity Among Medicinal Therapist *Trigonella foenum-graecum* L. Genotypes Through RAPD and SSR Markers. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(4), 100.
- [33] Kumar, S., Mahendi, H.A., Fougat, R.S., Sakure, A.A., & Mistry, J.G., (2014). Transferability of Carrot (*Daucus carota*) Microsatellite Markers to Cumin (*Cuminum cyminum*). *International Journal Seed Spices*, 4(1), 88-90.
- [34] Zhang, Y., Fan, C., Li, S., Chen, Y., Wang, R.R.C., Zhang, X., Han, F., & Hu, Z., (2017). The diversity of Sequence and Chromosomal Distribution of New Transposable Element-Related Segments in the Rye Genome Revealed by FISH and Lineage Annotation. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1706.
- [35] Wallau, G.L., Ortiz, M.F., & Loreto, E.L.S., (2012). Horizontal Transposon Transfer in Eukarya: Detection, Bias, and Perspectives. *Genome Biology and Evolution*, 4(8), 801-811.
- [36] Sun, J., Yin, H., Li, L., Song, Y., Fan, L., Zhang, S., & Wu, J., (2015). Evaluation of New IRAP Markers of Pear and Their Potential Application in Differentiating Bud Sports and Other Rosaceae Species. *Tree Genetics & Genomes*, 11, 25.
- [37] Zhang, M., Fan, L., Liu, Q., Song, Y., Wei, S., Zhang, S., & Wu, J., (2013). A Novel Set of EST-Derived SSR Markers for Pear and Cross-Species Transferability in Rosaceae. *Plant Molecular Biology Reporter*, 32, 290-302.
- [38] Liang, Y., Lenz, R.R., & Dai, W., (2016). Development of Retrotransposon-Based Molecular Markers and Their Application in Genetic Mapping in Chokecherry (*Prunus virginiana* L.). *Molecular Breeding*, 36, 109.

AHP Yöntemi Kullanarak ERP Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Uygun Sistemin Belirlenmesi

Comparison of ERP and Defining the Optimum ERP System Using AHP Method

Semih ÖZEL¹, Anıl TÜRKEL²

¹ Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

İşletmelerde kaynak planlaması (ERP) kullanılması hem işletmenin sürdürülebilirliği hem de ürün hizmet başarısı açısından önemli bir süreçtir. Kaynakların en verimli şekilde kullanılması özellikle ikinci sanayi devriminden sonra işletmelerdeki en önemli konulardan biri olmuş, bu amaçla üretim kaynak planlaması ve iş zekası çözümleri geliştirilmiştir. Günümüzde endüstri 4.0 olarak anılan 4. sanayi devrimi ile özellikle bilgi işlem teknolojilerindeki ilerlemeler, kaynak planlaması çözümlerinin daha etkin ve yaygın olarak kullanılmasını sağlamış ve işletmelerin rekabetçi güçlerini büyük oranda artırmıştır. Özellikle kurumsallaşmayı önemsemiş işletmeler bilgi işlem altyapılarını ERP sistemleri ile tümleşik hale getirerek daha sağlıklı bir ürün hizmet verimliliği elde edebilmektedirler. Ürün ve hizmet üretiminde ERP sistemlerinin kullanılması kadar işletmenin özelliklerine uygun bir ERP programının seçilmesi de önemlidir. Yanlış ERP seçimi, iş akışlarının durmasından dolayı maliyet kayıplarına sebep olmakla birlikte ciddi vakit kaybına da yol açabilmektedir.

Bu çalışmada işletme ölçütleri temel alınarak en uygun ERP programının seçilebilmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yaklaşımı kullanılmıştır. Literatür taraması ve alan uzmanlarının önerileri ile temel ölçütler belirlenmiş ve AHP yöntemi kullanılarak ölçütlerin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Uygulamada karar matrisleri tasarlanırken gerçek ERP konusunda uzman görüşleri göz önünde bulundurulmuştur. Firmalar için ERP seçiminde hangi ölçütlerin daha önemli olacağı ve karar sürecinde ne şekilde bir yöntem izlenmesi gerektiği çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İşletmelerde Kaynak Planlaması (ERP), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Karar verme

Abstract

The use of resource planning (ERP) in enterprises is an important process for both the sustainability of the enterprise and the product service performance. The most efficient use of resources has been one of the most important issues in the enterprises, especially after the second industrial revolution. For this purpose, production resource planning and business intelligence solutions have been developed. With the 4th industrial revolution, today called industry 4.0, advances in computing technology in particular have made resource planning solutions more efficient and widespread and have increased the competitive power of enterprises to a large extent. In addition, discussion was held with consultants of related ERP companies. As a result of all these efforts, the most effective ERP software was tried to be chosen. Deciding the right ERP software is one of the critical factors that will affect success of enterprises. Wrong decision can lead to unnecessary costs and loss of time. Even worse, it can cause unpredictable stops of workflow within the company. In the course of the work done, it was tried to assist the managers in their decisions in the direction of the needs and expectations of the company using AHP method.

In this study, the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach was used to select the most appropriate ERP program based on business criteria. Basic criteria were determined by literature review and field experts' recommendations and weighting of criteria was achieved by using the AHP method. Expert opinions on real ERP have been taken into account when designing decision matrices in practice. It was presented in the study which criteria will be more important for ERP selection for companies and how the decision process should be followed.

Keywords: Enterprise Resource Planning (ERP), Analytic Hierarchy Process (AHP), Decision Making

I. GİRİŞ

Günümüzde rekabetçi ekonomi ile birlikte karmaşık iş zekası ve kaynak planlama sistemleri (ERP) işletmelerde stratejik anahtar bir konuma gelmiş ve yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Firmalarda yürütülen her türlü projenin başarılı olmasını etkileyen en büyük etkenin ERP sistemlerinin yaygın kullanılması olduğu düşünülmektedir. Son zamanlarda ERP uygulamalarının kullanımı ile firmalar finansal şeffaflık, etkin tedarik zinciri süreçleri ve minimum insan kaynağı kullanımı gibi önemli gelişmeler ve değişimleri gerçekleştirebilmektedirler. Günümüz rekabetçi iş dünyasında, iş zekası ve kaynak planlaması çözümleri ile yöneticiler işletmelerinin sektördeki durumunu çok daha iyi analiz ederek daha uygun stratejiler geliştirebilmektedirler [4].

ERP kurumların tüm tedarik süreçlerini bütünlükte tek bir sistem üzerinden yönetilmesini sağlayan ve bünyesinde üretim, satın alma, tedarik zinciri, insan kaynakları gibi çeşitli modüller barındıran bir iş zekası yazılımıdır [10]. ERP amaçlarının en temelinde tüm süreçlerin ortak bir platform üzerinden yönetilmesi ve bütünlüğün sağlanması vardır. İşletme ile ilgili her türlü bilginin farklı kaynaklardan toplanarak analiz edilmesi ve raporlanması temel fonksiyonlarından biridir. Firmalar günümüzdeki yoğun rekabetçi ortamda olabildiğince iş süreçlerini daha verimli yönetmek, doğru raporlamalar, analizler almak zorundadırlar. En küçük işletmeden en büyük işletmeye kadar bu durum geçerliliğini korumaktadır.

İş süreçlerini verimli yönetmenin ve doğru raporlamalar almanın firmalara azımsanmayacak katkıları olduğu açıktır. Bu katkılar genel olarak en az maliyetle aynı ürünün veya hizmetin tedarik edilmesi, iyi planlama ile üretimin dengelenmesi, stokların ve maliyetlerin anlık ve doğru şekilde görülebilmesi, mevcut ve doğru stoklarla MRP planlaması yapılabilmesi, sevkiyatın iyi planlanarak son gönderim tarihlerine uyulması, tedarik zincirinin daha verimli yönetilmesi, nakit akışının etkin bir şekilde yönetilmesi, gelir gider analizleri ile bütçenin planlanması, satış öncesi ve satış sonrası hizmetlerin takibi, tüm belgelerin dijital ortamlarda saklanması, iş süreç ve onaylarının dijital ortamlarda yönetilmesi şeklinde sayılabilir. ERP yazılımı kullanmayan firmalarda raporlar ve analizlerin her birim için ayrı ayrı şekilde tutularak hazırlanması, gereksiz yinelemelere ve dolayısı ile hem enerji hem de gereksiz zaman kaybına neden olabilmektedir. ERP yazılımı kullanmayan firmalar veri girişi gerektiren işlemleri manuel yapmak durumundadırlar ve her seferinde bu durum tekrarlanmaktadır. ERP bu veri girişlerini otomatikleştirerek zaman kaybını engeller ve çalışanların daha önemli süreçler için vakit harcayabilmelerini sağlar [13].

ERP sistemleri firmanın tüm üretim, satın alma, satış gibi temel tedarik süreçlerinin kolaylıkla takip edilebilmesini ve raporlanabilmesini sağlamak açısından da önemlidir. Ayrıca ERP bünyesindeki modüller ile firmanın tüm departmanları arasındaki bilgi akışını entegre ederek tek bir bilgi kaynağı haline getirmekte ve süreçlerin hızlanmasını sağlamaktadır[14]. Günümüzde bu durum işletmelerin büyüklüğüne göre büyük veri olarak tanımlanmış ve endüstri 4.0 çalışmalarında yönetilmesi ve yeni çözümlerin geliştirilmesini gerekli hale getirmektedir. ERP sistemleri belli çaptaki büyük verinin daha kolay şekilde yönetilmesini sağlayabilmektedir.

Ayrıca firmalar CRM SRM modülleri ile hem müşterileri hem satıcıları ile entegre bir şekilde çalışabilmektedir. Bu da işletmeler arası bilgi akışının doğruluğunu ve hızını önemli bir şekilde etkiler. ERP firma içinde yapılan neredeyse tüm işlemlerin çok detaylı bir şekilde raporlanabilmesine olanak sağlar. Üretim, satın alma, satış gibi tüm tedarik adımları raporlanabilir ve çeşitli analizler üretilebilir. Yapılan raporlamalar geriye dönük olduğu gibi iş zekası gibi modüller sayesinde geleceğe dönük raporlar da alınabilmektedir. ERP yazılımı doğru bir şekilde entegre edilmesi firmanın müşterilerine çok daha kısa sürede dönüş yapması, hem yurtiçi hem yurtdışı müşteriler ile hızlıca etkileşime geçerek, problem veya talebin ERP sistemi ile hızlıca çözüm üreterek müşteri ilişkilerinin güçlenmesini sağlamaktadır[15].

Veri güvenliği açısından ERP sistemleri kendi bünyesinde barındırdığı yetkilendirme mekanizmaları ile firmaların veri güvenliği problemlerinin önüne geçebilmektedir. ERP sistemleri çalışma prensibi olarak tek bir sunucu kullanmaktadır. Bu da firmanın verilerin tutarlılığını ve güvenliğini arttırmaya yardımcı olur. Çünkü alınan yedeklemeler sayesinde olası bir güvenlik tehdidinin önüne geçilir [16].

ERP sisteminin bütünlükte yapısını kullanmak IT harcamalarının önemli ölçüde önüne geçmesi için önemli bir faktördür. Tek bir sistem kullanmak eğitim harcamalarını da düşürerek çok sayıda sistemin öğrenilmesinden oluşacak zaman kaybını da önlemektedir. Bununla birlikte tek bir sistemin kullanılması raporlama ve analiz tarafında birçok kolaylık sağlamaktadır. Kişiyeye özel raporların yaratılması çok daha basite indirgenir. Bu da IT harcaması olmadan raporların oluşturulabileceği anlamına gelecektir.

Genel olarak bakıldığında ERP sistemleri, günümüz bilişim teknolojileri alanındaki önemli gelişmelerden biri olmuştur. ERP sistemleri malzeme yönetiminden muhasebeye, üretimden satın almaya, dağıtımdan finans ve insan kaynaklarına kadar olan tüm süreçlerin uyumlu bir işbirliğinin sağlanması ve işletme faaliyetlerinin en iyi şekilde yürütülmesi açısından kritik öneme sahiptir [6].

Kurumsal kaynak planlamanın işletmelere birçok avantajı olmakla birlikte uygulama aşamasında başarısızlık oranları yüksektir. Bunun birinci sebebi işletmeye uygun ERP sistemlerinin geliştirilmemesi ve dolayısı ile birçok noktada sıkıntıların oluşmasıdır. Hazır sistemlerin kullanılması yerine işletmenin yapısına uygun sistemlerin tasarlanması gerekmektedir. Böylece uygulama aşamasında ortaya çıkacak problemleri en aza indirgeyerek zamanla yeni güncellemeler ile sistemin mükemmelleştirilmesi sağlanabilmektedir. Dolayısı ile uygun ERP sisteminin seçilmesi başarı için en önemli etkenlerden biridir. İkinci önemli dezavantajlı durum ise işletmedeki kullanıcıların ERP kullanımı konusunda yeterli hassasiyeti göstermemeleri konusunda oluşmaktadır. Bu durumun sistemi kullanacak çalışanlara uygun eğitimlerin verilmesi ve yetkililerin bu konudaki ısrarlı takipleri ile düzeltilebileceği görülmüştür. Uygun sistemin seçilmesi bu konuda teknik destek noktasında güvenilir firmalar ile çalışılması önemli hale gelmektedir. Dolayısı ile ERP sisteminin uygunluğu ve teknik destek önemli kriterler olarak öne çıkmaktadır [17], [3].

Kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının ve firmaları için karar verme süreci hem alternatiflerin fazla olması hem de uzun süreli bir proje olması ve bunların yanında maliyetin gözetilmesinin gerekliliği karmaşık ve hassas bir süreçtir. Bu alanda onlarca yazılım firması ve ERP sisteminin olduğu düşünülürse, bir işletme için en uygun ERP sisteminin seçilmesi kritik ve önemlidir. [12], [5]. ERP sistemlerinin hem tasarlanması hem de uygulanması açısından zaman alıcı ve maliyetli süreçlerdir. Kurulum zorluğu, üretim kaybı ve kaynakların kullanımı açısından bakıldığında geri dönüşü olmayan bir yatırım olarak değerlendirilmektedir [18], [3].

Günümüzdeki rekabetçi koşullarda ERP geçiş kararı ve ERP sisteminin kullanımı önemli bir karardır. Türkiye ve dünya pazarı incelendiğinde birçok ERP sistemi arasından en etkili yazılımı seçmek ise daha da önemli bir karardır. Bu noktada AHP yönteminden faydalanarak ERP seçiminde en doğru kararın verilmesinin sağlanabileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada öncelikle ERP sistemlerinin önemi anlatılmış ve işletmelere faydaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bununla birlikte işletmelerin ERP sistemi seçimlerinin en önemli kararlardan biri olduğu vurgulanmış ve bu amaçla AHP yönteminin kullanılabilirliği belirtilmiştir. AHP ile seçim yapılması için gerekli kriterlerin literatür incelemeleri ve bu alandaki uzman kişilerden faydalanılarak belirlenmesi sağlanmış ve AHP tekniği kullanılarak kriterlerin önceliklendirilmesi hesaplanmıştır. Son olarak piyasada yaygın kullanılan dört ERP sisteminin karşılaştırılması yapılarak işletmeler için ERP seçiminde nasıl bir yol izlenebileceği sunulmuştur.

II. LİTERATÜR İNCELEME

İşletmelerde süreçler karmaşıklaştıkça ERP türü yazılımların kullanılması artmış ve daha çok ihtiyaca yönelik ürünler ön plana çıkmıştır. Bu tür sistemlere olan ihtiyacı karşılamak üzere birçok firma bu alanda faaliyet göstermeye başlamış ve günümüz bilişim teknolojileri kullanılarak yeni sistemler geliştirilmiştir. Bunun sonucunda aralarından işletme için en verimli sistemin seçilmesi önemli bir değerlendirme ve karar süreci haline gelmiştir. [1]. İşletmenin geleceği için önemli sonuçları olabilecek bu kararın gelişigüzel şekilde ya da tavsiye ile alınamayacağı açıktır. Kurumsal kaynak planlama sistemine karar verme sürecini etkileyen belli başlı faktörler mevcuttur. Aşağıda sıralanan faktörler göz önüne alınarak değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir [12].

- Piyasada ERP yazılım ürünlerinin azlığı,
- Sürekli gelişen bilişim teknolojileri,
- Donanım ve yazılım sistemleri arasında oluşan uyumsuzluklar,
- Yazılımları oluşturan fonksiyonların karmaşıklığı,
- Kullanıcı bilgi deneyim eksikliği [7].

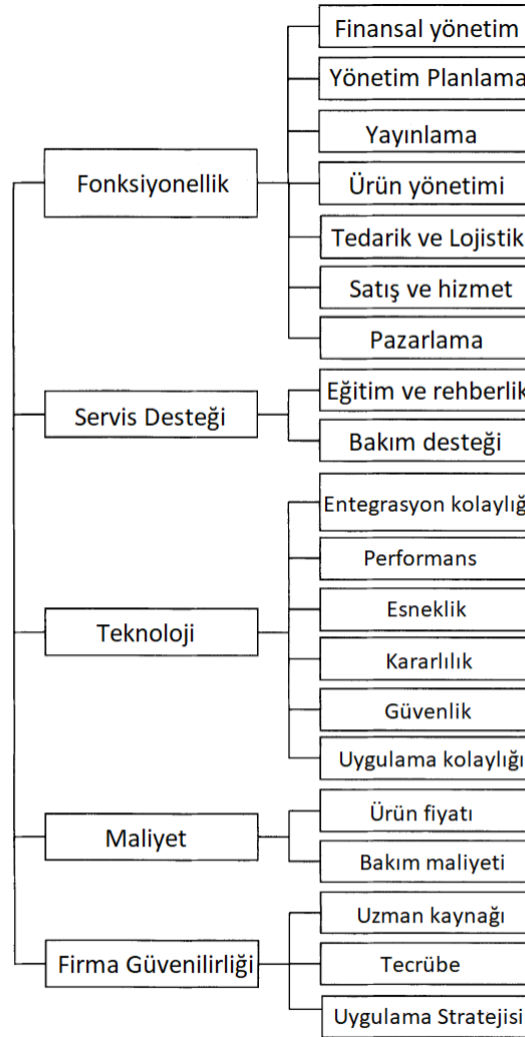
Bu açıdan değerlendirme kriterlerinin tanımlanması öncelikle önemlidir. Bu aşamada literatürde daha önce yapılmış çalışmaların incelenmesi bilimsel altyapının kurulması açısından önemlidir. Bu alanda yapılan çalışmalar arasından seçilenler aşağıda görüleceği şekilde özetlenmiştir.

Wei ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada ERP programı seçiminde 6 temel ve 14 alt faktör belirlemiştirler. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerin ERP yazılımı ve satıcı firma ile ilgili faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Yazılım faktörleri olarak sırası ile maliyet, uygulama için gerekli zaman, fonksiyonellik, kullanım kolaylığı, esneklik ve güvenilirlik olarak belirtilmiştir. Yazılım firmasına ait faktörler ise marka tanınırlığı, teknik destek yeteneği ve hizmet sürdürülebilirliği olarak ifade edilmiştir [12].

Teltumbde (2000) çalışmasında, ERP yazılımı seçmek için kavramsal bir çerçeve oluşturmuş ve bu süreçte kullanılabilir 10 önemli kriter belirlemiştir. Bu kriterler sırasıyla teknoloji, stratejik kararlar, değişim yönetimi, risk yönetimi, uygulanabilirlik, işlevsellik, firma kimliği, esneklik, maliyet ve fayda oranı olarak belirlenmiştir [9].

Bueno ve Salmeron (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, bulanık (Fuzzy) AHP yöntemini kullanarak ERP yazılımı karar verilmesinde kullanılabilecek 17 kriter belirlemiştir. Bu kriterler sırası ile endüstride uygulama imkanı, sistem güvenliği, uyum kolaylığı, güvenilirlik, modülerlik, ihtiyaç belirleme, bilgi sağlama yeteneği, sezgisellik, maliyet, danışmanlık ücreti, bakım masrafları, genel gereksinimler, uzman ekip ihtiyacı, ortalama uygulama süresi, karmaşık parametre durumu, planlama, nesnel kavramların tanımlanması olarak değerlendirilmiştir [3].

Benzer bir çalışmada, Ahn ve Cho (2008), bir tekstil firması için ERP sistemi karar verilmesine yönelik etkili faktörler tanımlamıştır. Çalışmalarında bu faktörleri 5 stratejik, 20 alt faktör olarak ayırmış ve Şekil 1 de görüleceği gibi işlevsellik, servis desteği, teknoloji, maliyet ve firmaya güven önemli stratejik faktörler olarak dikkate alınmıştır [1]. Diğer alt faktörler ilgili 5 stratejik faktör altında toplanmıştır.



Şekil 1. ERP sistemi için değerlendirme kriterleri [1]

Şekil 1 de görülen kriterler benzetim tabanlı AHP yöntemi kullanılarak gruplandırma yapılmış ve gruplar karşılaştırılarak tüm kriterlerin ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Karsak ve Özoğlu (2009), çalışmalarında benzer olarak ERP sistemi için karar verme kriterlerini Delphi ve Shannon Entropi yaklaşımı kullanarak belirlemiştir. Bu yaklaşım ile 3 temel kriterle birlikte her temel kriterin altında toplamda 15 kriter belirlenmiştir. Belirlenen temel kriterler maliyet, ürün kalitesi ve ERP geliştirici firma olarak sunulmuştur [5].

Ünal ve Güner (2009) yaptıkları çalışmada, AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini kullanarak tekstil sektöründe yer alan bir işletme için alternatifler arasından en uygun ERP sistemi geliştiren firma için karar verme faktörlerinin belirlenmesi yapılmıştır. Faktörlerin belirlenmesinde yine sektör uzmanlarından, firma

yöneticilerinden ve bu sistemleri kullanan çalışanların görüşlerinden faydalanmışlardır. Çalışmalarında kaynak planlama sisteminin belirlenmesinde kullanılabilecek 9 kritik faktör önermişlerdir. Önerilen bu faktörler sırası ile işlevsellik, uygulama kolaylığı, teknik destek, maliyet, güvenilirlik, tecrübe, esneklik, müşteri güveni ve geleceğe yönelik stratejiler olarak ifade edilmiştir [11].

Benzer olarak Perçin (2008) yaptığı çalışmada Analitik Network Süreci (ANP) yöntemi ile alternatifler arasından ERP yazılım sistemine karar verilmesinde 2 temel ve 12 alt faktör olmak üzere toplam 14 kriter belirlemiştir. Belirlenen bu 14 kriterden iki temel faktör olarak yazılım niteliği ve firma özellikleri ön planda tutulmuş, yazılım niteliği altında işlevsellik, strateji, esneklik, kullanım kolaylığı, uygulama süresi, maliyet ve güvenilirlik alt faktör olarak sıralanmıştır. Firma özellikleri açısından güvenilirlik, tecrübe, bilinirlik, destek yeteneği ve uzman personel alt faktör olarak belirtilmiştir [8].

Son olarak Kumar ve Hillsgrersberg (2000) çalışmalarında tedarikçi ve ERP sistem yazılımı için karar faktörleri olarak fonksiyonellik, güvenilirlik, işletmenin diğer sistemleri ile uyum, entegrasyon kolaylığı, marka, teknik destek, modülerlik, versiyon güncelleme, düşük maliyet ve iş süreçleri ile uyum şeklinde 10 temel faktör kullanılarak değerlendirilmiştir [6].

ERP sistemi seçim ve değerlendirme konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında hemen hemen hepsinde maliyetin ana kriter olarak göz önüne alındığı görülmektedir. Maliyeti belirleyen temel unsurların dünyada tanınırlık durumu ve yaygın kullanımı olduğu görülmüştür. Dolayısı ile maliyetten sonra marka bilinirliği ve yaygın kullanım özelliği yine önemli bir faktör olarak belirlenmiştir. Bu iki faktörle birlikte sistemin kolay kullanılabilir olması, kolay entegrasyon ve eğitim teknik destek gibi faktörlerin ön plana çıktığı görülmektedir.

Tablo 1. Literatür ERP seçim kriterleri

	Teltumbe (2000)	Kumar ve Hillsgrersberg (2000)	Wei ve diğerleri (2005)	Baki ve Çakar (2005)	Ahn ve Choi (2008)	Ünal ve Güner (2008)	Bueno ve Salmeron (2008)	Perçin (2008)	Karsak ve Özogul (2009)
Fonksiyonellik	√	√	√		√	√		√	√
Maliyet	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Teknoloji	√		√	√		√		√	√
Marka İtibarı		√	√	√	√	√	√	√	
Destek ve Eğitim			√	√			√	√	
Entegrasyon		√		√	√			√	
İşlem Kolaylığı			√		√			√	√
Modülerlik							√		
Danışmanlık Hizmeti			√	√			√		
Servis Desteği		√	√	√	√	√		√	√
Satıcı Ünvanı	√		√		√				√
Stratejik Uyum	√				√	√		√	
Satıcı		√		√	√	√			
Referans Risk	√								

III.ERP SEÇİMİNDE KARAR VERME

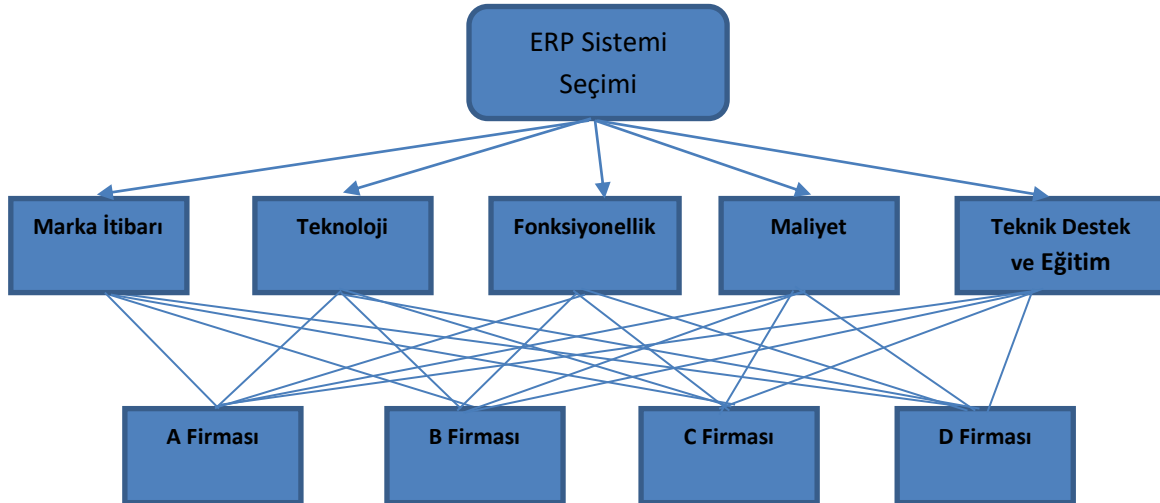
Genel olarak firmaların başarılarını etkileyen en önemli nedenlerden biri rekabetçi iş koşullarında alınan doğru ve güvenilir kararlar olmaktadır. Karar verme aşamasında hem alternatiflerin hem de seçim kriterlerinin çok sayıda olması karar sürecini çoğu zaman içinden çıkılamayacak bir duruma getirebilmektedir. Karar verme konusunda sezgisel yaklaşımlar yerine bilimsel yöntemlerin kullanılması başarılı bir değerlendirme için en önemli konulardan biridir. Bir tarafta çok sayıda alternatifler bulunurken diğer tarafta hem yazılımların özellikleri hem de işletmenin kendi şartları arasında ancak en uygun yöntem ya da yöntemler kullanılarak doğru bir sonuç elde edilmesi mümkündür.

Karar verme süreci karar verici, alternatifler, ölçütler, çevresel şartlar, öncelikler ve kararın sonuçları gibi öğeler içermektedir. Süreç sonunda karar mekanizması mevcut seçenekler arasından seçim yaparak seçimlerin sıralanması ya da sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Bu süreçte mekanizmanın işletilebilmesi için doğru kararların alınması için çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Belirli kriterlerin genelde ikili karşılaştırmalar esas alınarak belirli karar verme yöntemleri ile sayısal veriler kullanarak en doğru kararın verilmesi sağlanmaktadır [19]. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden en çok kullanılanların AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), Fuzzy AHP, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve ELECTRE olduğu görülmektedir [20], [21], [22], [23].

Bu çalışmada da ERP seçimi için karşılaştırma yapabilmek ve en etkin ERP yazılımın seçilmesinde esnasında firma yöneticilerine destek olabilmek adına AHP yöntemi kullanılmıştır.

1970'lerde geliştirilen AHP yöntemi birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemi olarak ele alınmıştır. AHP, karar vericilerin problemleri, hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren ve bu kriterlerin önceliklendirmesi üzerine bir hiyerarşik yapıda modellenmesine olanak sağlamaktadır. AHP'nin en önemli özelliği karar vericinin hem öznel hem de nesnel düşüncelerini sürece dahil edebilmesi olmaktadır. Diğer ifade ile AHP, bilginin, tecrübenin, bireyin kendi düşüncelerinin ve önsözlerin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntem olarak kullanılmasıdır. AHP geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pazarlama, finans, eğitim, kamu politikaları, ekonomi gibi birçok alanda karar probleminde etkin olarak kullanılmıştır [24], [25], [26], [27].

Bu çalışmada inşaat sektöründe faaliyet gösteren 500 ün üzerinde çalışanı bulunan ve Türkiye'nin birçok bölgesindeki otoyol yapım projelerinde yer alan bir firma için ERP sistemi seçiminde gerekli olan kriterlerin belirlenmesi ve kriterlerin önceliklendirilmesi AHP yöntemi kullanılarak yapılmıştır. ERP seçiminde firmanın karar verme yetkinliğine sahip uzman çalışanlarına AHP yöntemi aracılığıyla doğru ERP sisteminin seçilmesi için ihtiyaç duyulan altyapı sunulmuş ve en uygun ERP sistemi önerilmiştir. Firmanın üretim, muhasebe ve finans departmanlarının yöneticileriyle yapılan görüşmelerde ERP yazılımlarının seçimine ilişkin literatür çalışmalarının sonuçları hakkında bilgi verilmiş ve bu doğrultuda işletmenin öncelikleri ve özellikleri dikkate alınarak karar verme için gerekli seçim kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterlerin literatür ve işletmedeki önem durumuna göre sırasıyla Marka İtibarı, Teknoloji, Fonksiyonellik, Maliyet ve Teknik Destek ve Eğitim ana başlıkları ile karar kriterleri olarak kararlaştırılmıştır. Firma yöneticilerinin ERP yazılım seçimini etkileyen bu kriterleri göz önünde bulundurarak gerçek hayatta en çok tercih edilen 4 ERP firması alternatifleri arasından birini seçerek işletmeye kurulması sağlanacaktır. Alternatifler gerçek markalar olmasından dolayı çalışmada A firması, B firması, C firması ve D firması olarak gösterilmiştir. Gerçek firma isimleri ise seçimi yapacak işletme ile paylaşılmıştır. Problemin hiyerarşik yapısı aşağıda görülen Şekil 1 deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2. ERP Sistemi Seçim için AHP yapısı

3.1 Kriterlerin AHP ile Ağırlıklandırılması

Çalışmanın bir önceki kısımlarında hedefe uygun kriterler belirlenmiş ve alternatifler ile birlikte hiyerarşik yapı kurulmuştur. Bu kısımda seçim kriterlerinin ağırlıkları AHP yöntemi kurallarına göre belirlenecektir. Öncelikli olarak hiyerarşik yapı oluşturularak her kriterin göreceli önem derecesinin hesaplanması sağlanır. Kriterlerin göreceli önem dereceleri, ancak ikili karşılaştırmalar yapılarak yani iki kriterin birbirleriyle karşılaştırılması ile

mümkün olmaktadır [3]. Daha önce belirlenmiş olan kriterlerin karşılaştırmaları alanında bilgi sahibi belli sayıda uzman tarafından yapılmaktadır. Kriterler için ikili karşılaştırmalar matris tablosu aşağıda tablo 2 de gösterilmiştir. Karşılaştırma matrisi $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri aynı kriterlerin birbiriyle karşılaştırması yapılamayacağından 1 değerini alır.

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrisi

	1. Kriter	2. Kriter	3. Kriter	n. Kriter
1. Kriter	w_1 / w_1	w_1 / w_2	...	w_1 / w_j
2. Kriter	w_2 / w_1	w_2 / w_2	...	w_2 / w_j
3. Kriter
n. Kriter	w_i / w_1	w_i / w_2	...	w_i / w_j

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Karar verici Tablo 3 te görülen 1- 9 likert skalasını kullanarak kriterler arasındaki önem derecesini belirlemektedir. Bu skalada karşılaştırılan kriterlerin birbirleriyle arasındaki önem durumuna göre 1 ile 9 arasında bir puan alacaktır. 1 kriterler arasında eşit önemi gösteriyorken 9 en önemli düzeyi olarak skalada yer almaktadır. [24].

Tablo 3. 1-9 Likert Skalası (Saaty, 1980)

Dereceler	Tanım
1	Eşit önemli
3	Biraz önemli
5	Önemli
7	Çok önemli
9	Son derece önemli
2-4-6-8	Ara/Ortalama Değerler

Karşılaştırma matrisi oluşturularak kriterlere sayısal değerler atanır ve sonrasında kriterler arasında göreceli önem dereceleri hesaplanır ve karşılaştırma matrisi elde edilmiş olunur. Karşılaştırma matrisinden sonraki adım normalizasyon matrisini oluşturmaktır. Normalizasyon genel olarak çok büyük ya da çok küçük değerlerin sorun oluşturmasını engellemek için tüm değerleri aynı formda ve birbirine yakın bir değere indirmek için kullanılır. Böylece hesaplamalarda kolaylık sağlanmış ve değerler arasında ki karşılaştırma daha anlaşılabilir hale getirilmiş olunabilmektedir. Aşağıdaki formül 1 kullanılarak karşılaştırma matrisinde yer alan her hücre değerinin sütun toplamına bölünmesiyle normalize edilmiş yeni bir matris elde edilir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde göreceli önem derecesinin hesaplanmasında Saaty'nin (1994) belirlediği özvektör yöntemi kullanılmaktadır. Öz vektör ya da öncelik vektörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Öz vektörün hesaplanmasında normalizasyon matrisinde yer alan her bir satırın ortalaması alınmıştır [28].

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Öz vektörün hesaplanması ile birlikte her kritere ait önem dereceleri belirlenir ve daha sonra karşılaştırma matrisinin tutarlılığı (CR) hesaplanır. CR değerinin hesaplanmasında amaç, karar vericilerin kriterler arasında

karşılaştırma yaparken tutarlı davranılıp davranılmadığının tespit edilmesidir. CR değeri hesaplamalarda 0.10'dan büyük olduğu takdirde karar vericinin tutarsız olduğu anlaşılır ve yeni bir karar verici seçilerek matris daha önce girilen değerler tekrar gözden geçirilir. CR sıfıra ne kadar yakın olursa karar matrisinin tutarlılığının o oranda yüksek olduğu anlaşılacaktır [27]. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [24].

$$CR = \frac{CI \text{ (Tutarlılık Göstergesi)}}{RI \text{ (Rassallık Göstergeleri)}} \quad (3)$$

Yukarıda 3 nolu formülde CI ile simgelenen tutarlılık göstergesi yine aşağıda gösterilen 4 nolu formül ile hesaplanmaktadır. CI hesaplarken formülde yer alan maksimum özdeğer (λ_{max}) ise yine 5 nolu diğer bir formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Oluşturulan karşılaştırma matrisinin her sütunu ile öncelik değerleri çarpılarak birlikte toplanır ve ağırlıklı toplam vektörünün oluşturulması sağlanır. Ağırlıklı toplam vektörünün her elemanı buna karşılık gelen öncelik değerine bölündükten sonra sonuç değerinin aritmetik ortalaması λ_{max} elde edilir. Rassallık göstergesi (RI) oranlarının, matris ölçüsüne göre değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [29]. Rassallık göstergesi değeri ilk olarak 1980 yılında Saaty tarafından AHP yöntemi geliştirme çalışmasında kullanılmıştır. Kriter sayısına göre daha önce belirlenmiş RI değerleri kullanılarak tutarlılık testinin yapılabilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışma için RI değeri kriter sayısı 5 olduğu için 1,12 olarak alınmıştır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (5)$$

Tablo

4. Rassallık göstergesi (RI) oranlarının, matris ölçüsüne göre değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

3.2. Problemin AHP Yöntemi ile Çözümü

AHP yönteminde kriterleri belirledikten sonraki ilk aşama olan öncelik matrisinin belirlenmesinde ERP sistemi satın almak isteyen firmanın Üretim, Muhasebe, Finans ve IT gibi önemli departmanlarının yöneticilerinden oluşan 4 kişilik bir karar verici grubu oluşturulmuştur. Karar vericilerin matris oluşturması üzerine genelde üç tür uygulama mevcuttur. Tek bir karar verici olması halinde öncelik matrisi kriterler karşılaştırılarak likert skalasına göre puanlanır ve tutarlılığı kontrol edilir, tutarlılık yüksek çıkarsa tekrar gözden geçirilmek üzere uzmana gönderilir. Uzman sayısının birden fazla olduğu durumlarda üç yol izlenir. Birincisi uzmanlar bir araya gelerek kriterler üzerinde tartışır ve birlikte tek bir öncelik matrisi oluşturulur, ikinci yöntem ise her uzman tek tek kendi öncelik matrisini oluşturur ve tutarlılık oranı (CR) test edilir, tutarlılık %10 altında ise ağırlıklar belirlenir ve ağırlık değerlerinin aritmetik ortalaması alınır. Üçüncü yöntem ise her uzmanın oluşturduğu öncelik matrisi değerleri geometrik ortalaması alınarak tek bir kare matris oluşturulur ve ağırlıklandırma yapılır. Böylece tek bir öncelik matrisi gibi ağırlıklar elde edilir [24],[25],[26].

Bu çalışmada işletmenin dört departmanından seçilen yönetici pozisyonundaki uzmanlar bir araya gelerek uzlaşma yöntemi ile literatür incelemeleri sonucunda karar verilen beş kriter üzerinde tartışarak karar almış ve tek bir öncelik matrisi oluşturulmuştur. Bu yöntemin kullanılma sebebi her bir uzmanın uzmanlık alanı farklı olduğundan bilgi birikimi ve tecrübelerin paylaşılarak en doğru değerlendirmenin yapılmasını sağlamaktır. Kriter sayısının azlığı da bu yöntemin seçilmesinde etkili olmuştur. Öncelik matrisi değerleri hesaplamaları Excel de yapılmış öncelik matrisi "Göreceli Önem Dereceleri" belirlenmiştir. Bu dereceler satırdaki kriterin önem derecesinin sütundaki kriterin önem derecesine göre oranlanmasıyla oluşturulmuştur. Örneğin Marka İtibari kriterinin Teknoloji kriterine göre Göreceli Önem Derecesi Tablo 3'te belirtilen likert skalasına göre 2'dir. Teknoloji kriterinin Marka İtibari kriterine göre Göreceli Önem Derecesi ise 1/2'dir. Yani uzmanlara göre marka

itibari teknolojiye göre daha önemli görülmüştür. Ayrıca sütun bazında Göreceli Önem Dereceleri toplanarak bir alt toplam elde edilmiştir. Bu alt toplam öz vektör hesaplamalarında kullanılacaktır. Öncelik matrisi Tablo 5 te gösterilmiştir.

Tablo 5. Öncelik Matrisi

Öncelik Matrisi	Marka İtibarı	Teknoloji	Fonksiyonellik	Maliyet	Destek ve Eğitim
Marka İtibarı	1	2	3	7	2
Teknoloji	0,5	1	2	2	5
Fonksiyonellik	0,3333	0,5	1	2	2
Maliyet	0,1429	0,5	0,5	1	2
Destek ve Eğitim	0,5	0,2	0,5	0,5	1
	2,4762	4,2	7	12,5	12

Öncelik matrisi oluşturulduktan sonra değerlerin normalize edilmesi gerektiği bir önceki bölümde anlatılmıştır. Dolayısıyla aşağıda Tablo 6 da normalizasyon işlemi yapılmış ve her bir göreceli önem derecesinin alt toplama bölünmesi ile kriter bazında normalize edilmiş değerler elde edilmiştir. Örneğin 0,4038 değeri Tablo 5 te görülen birinci satır ve birinci sütunun kesiştiği değer ile marka itibarı sütunundaki değerlerin toplamına bölünmesi yani $1 / 2,4762$ şeklinde hesaplanarak 0,4038 olarak elde edilmiştir.

Her bir kriterin elde ettiği ağırlık katsayısının aritmetik ortalaması ilgili kriterin ağırlık katsayısı olarak Tablo 7 de ayrıca gösterilmiştir. Hesaplanan ağırlık katsayıları ERP firmalarının toplam puanının hesaplamasında kullanılacaktır. Örneğin 0,407 final ağırlık katsayısı $(0,4038+0,4762+0,4286+0,56+0,1667)/5$ şeklinde aritmetik ortalama alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Göreceli Önem Derecelerinin Alt Toplam Oranları

Önem Derecelerinin Alt Toplam Oranları	Marka İtibarı	Teknoloji	Fonksiyonellik	Maliyet	Destek ve Eğitim	Öncelik vektörü/ Ağırlık
Marka İtibarı	0,4038	0,4762	0,4286	0,56	0,1667	0,4071
Teknoloji	0,2019	0,2381	0,2857	0,16	0,4167	0,2605
Fonksiyonellik	0,1346	0,119	0,1429	0,16	0,1667	0,1446
Maliyet	0,0577	0,119	0,0714	0,08	0,1667	0,0990
Destek ve Eğitim	0,2019	0,0476	0,0714	0,04	0,0833	0,0889
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

Tablo 7. Her bir kriter için hesaplanmış katsayılar

Kriterler	Ağırlık Katsayıları
Marka İtibarı	0,4071
Teknoloji	0,2605
Fonksiyonellik	0,1446
Maliyet	0,0990
Destek ve Eğitim	0,0889

Kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra daha önceki kısımda da anlatıldığı gibi tutarlılığın test edilmesi gerekmektedir. Tutarlılık analizi için $CR = CI / RI$ formülü kullanarak önce CI hesaplanmış ve daha sonra beş kriter için belirlenmiş olan RI katsayısına bölünerek tutarlılık değeri elde edilmiştir. Yukarıda hesaplanan katsayılar ve öncelik matrisi değerleri kullanılarak CI değeri için öncelikle Lambda max (λ_{max}) Excel de hesaplanmış ve 5,391 olarak bulunmuştur. Böylece CI değeri 0,098 olarak elde edilmiştir. Tutarlılık formülünde CI ve RI değerleri kullanılarak tutarlılık **CR** değeri bu çalışma için **0,09** olarak tespit edilmiştir. Görüleceği gibi tutarlılık değeri 0,1den küçük olduğu için uzmanların değerlendirmelerinin oldukça tutarlı olduğu söylenebilmektedir.

Kriterlerin ağırlıklandırılması sağlandıktan sonra artık alternatifler ile karşılaştırılması yapılarak belirlenen kriter ağırlıklarına göre hangi alternatifin daha önemli olduğu tespit edilebilecektir. Bu aşamada yapılacak işlemler tamamen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan yöntem ile aynı olup aynı hesaplamalar yolu ile bu sefer alternatiflerin ağırlık yani göreceli önem dereceleri tespit edilecektir. Firmalar arası karşılaştırmayı ERP sistemleri konusunda uzman bir kişi tarafından piyasada en çok tanınan dört ERP yazılım sağlayıcı firması göz önüne alınarak yapılmıştır.

Tablo 8 de Marka İtibarı kriteri için alternatif ERP firmaları arasında karşılaştırma yapılmış ve aynı hesaplamalar kullanılarak öncelik matrisi oluşturulmuştur. Diğer dört kriter için de (Teknoloji, Fonksiyonellik, Maliyet, Destek ve Eğitim) dört alternatif ERP firmalarının karşılaştırmaları tek tek yapılmış ve alternatifler arasında ki ağırlıklar belirlenmiştir. Çalışmada sadece marka itibarı kriteri için alternatif ERP firmalarının öncelik matrisi hesaplaması Tablo 8 de gösterilmiştir. Aynı şekilde Tablo 9 da göreceli önem dereceleri ve Tablo 10 da final katsayıları görülmektedir. Benzer olarak diğer dört kriter de alternatiflerle karşılaştırılmış ve hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 8. Marka itibarı için alternatif firmaların öncelik matrisi

Marka İtibarı	A Firması	B Firması	C Firması	D Firması
A Firması	1	3	5	2
B Firması	0,3333	1	0,3333	2
C Firması	0,2	3	1	2
D Firması	0,5	0,5	0,5	1
	2,0333	7,5	6,8333	7

Tablo 9. Alternatif ERP firmalarının göreceli önem dereceleri

Önem Derecelerinin Alt Toplam Oranları	A Firması	B Firması	C Firması	D Firması
A Firması	0,4918	0,4	0,7317	0,2857
B Firması	0,1639	0,1333	0,0488	0,2857
C Firması	0,0984	0,4	0,1463	0,2857
D Firması	0,2459	0,0667	0,0732	0,1429
	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 10. Alternatiflerin final katsayıları

Marka İtibarı	Puanların Aritmetik Ortalaması
A Firması	0,477
B Firması	0,158
C Firması	0,233
D Firması	0,132
	1,000

Değerlendirme kriterlerinin final ağırlık katsayıları ve her bir alternatif ERP firmasının bu kriterler için elde ettikleri puanların aritmetik ortalaması hesaplanarak final puanları elde edilmiştir. Final puanları her kriterin ağırlık katsayısının ERP firmalarının elde ettiği puanın aritmetik ortalaması ile çarpılması ve tüm kriterler için toplanması ile elde edilmiştir. Örneğin A firmasının ağırlık puanı, $(0,407*0,477)+(0,260*0,463)+(0,145*0,581)+(0,099*0,541)+(0,089*0,564)$ formülüyle **0,503** olarak

hesaplanmıştır. Final puanlar elde edildikten sonra ERP firmalarının aldıkları puanlar karşılaştırılarak alternatiflerin arasından işletmeye en uygun ERP programının satın alınması kararlaştırılmıştır. Alternatif ERP firmaları ile kriterler arasındaki hesaplama sonuçları Tablo 11 de gösterilmiştir. Tabloda görüleceği gibi final puanlarına bakıldığında A firmasının puanının diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Böylece A firmasının ERP programı işletme tarafından sonuçlara göre uygun bulunmuş ve sistemin kurulmasına karar verilmiştir.

Tablo 11. Alternatif ERP Sistemleri ağırlıklandırma tablosu

	Marka İtibarı		Teknoloji		Fonksiyonellik		Maliyet		Destek ve Eğitim		Final Puanı
	Ağırlık	Puan	Ağırlık	Puan	Ağırlık	Puan	Ağırlık	Puan	Ağırlık	Puan	
A Firması	0,407	0,477	0,260	0,463	0,145	0,581	0,099	0,541	0,089	0,564	0,503
B Firması	0,407	0,158	0,260	0,273	0,145	0,250	0,099	0,260	0,089	0,255	0,220
C Firması	0,407	0,233	0,260	0,169	0,145	0,125	0,099	0,140	0,089	0,131	0,182
D Firması	0,407	0,132	0,260	0,096	0,145	0,043	0,099	0,059	0,089	0,050	0,095

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada, en çok kullanılan karar verme metodlarından biri olan AHP tekniği kullanılmış ve bir işletmenin alternatif ERP sistemleri arasından literatür ve uzmanların desteği ile belirlenmiş kriterler göz önüne alınarak en uygun alternatifin belirlenmesi sağlanmıştır. Karar verme günlük hayatta birçok konuda karşımıza çıkan ve genelde rutin problemleri kolayca çözebildiğimiz bir işlemdir. Fakat alternatif sayısı ve ele alınan kriterlerin sayısı arttığında problem karmaşıklaşmakta ve çözüm zorlaşmaktadır. Bu durumda bu tür problemlerin çözümü bilimsel olarak daha önce birçok kez kullanılmış ve sonuçları itibari ile kendini kanıtlamış yöntemlerden biri ile mümkün hale gelmektedir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlarından biri olan AHP tekniği birçok karar verme probleminin çözümünü sağlamıştır. Bu çalışmada alternatif sayısı işlemlerin karmaşıklaşmasını önlemek adına sınırlı tutulmuştur. Fakat gerekirse daha başka alternatif ERP firmaları ile ve farklı kriterler hatta alt kriterler kullanarak yeniden çözüm aranabilir. Her yöntemde olduğu gibi AHP ile karar vermenin de kendine özgü kısıtlamaları olabilmektedir. Bunlardan ilki hesapların karmaşıklığı olarak öne çıkmaktadır. Alternatif ve kriter sayısı belirli sayıda tutulduğu sürece hızlı çözümler üretebilmektedir. Ayrıca kriter belirleme ve uzmanlar tarafından önceliklendirme hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Hedeflenen amaca ve karar verilecek alternatiflerin özelliklerine göre doğru kriterlerin belirlenmesi çok önemlidir. Ayrıca kriterlerin alanında uzman kişilerce önceliklendirilmesi de sonucu doğrudan etkileyen bir faktördür.

Çalışmada A firması belirlenmiş olan kriterlere göre 0,503 puan alarak en uygun alternatif olarak değerlendirilmiştir. Diğer dört alternatif ERP sisteminin ise buna göre çok daha az puanlar aldığı görülmüş ve değerlendirme dışı tutulmuştur. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde kriter sayısı, niteliği ve alternatiflerin farklılıklarına göre bu oranların birbirleriyle daha yakın ya da çok daha farklılaştığı görülmüştür [1],[13],[4],[28].

Çalışmanın hem literatüre katkısı hem de bu amaçla değerlendirme yapmak isteyen işletmeler açısından önemli faydası olacağı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmanın ileriye dönük olarak genişletilmesi mümkündür. Kriter seti ve alternatifler artırılarak farklı sonuçların alınması sağlanabilir. Karar verici uzmanların sayıları ve nitelikleri artırılarak karar verme sürecinin daha ayrıntılı ve hassas şekilde yapılması için daha ileri çalışmaların yapılabilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Ahn, B.S, ve Choi S. H. (2008), “Erp System Selection Using A Simulation-Based Ahp Approach: A Case Of Korean Homeshopping Company”, Journal Of The Operational Research Society, Sayı: 59, S.322–330
- [2] Bueno, S. ve Salmeron L. J., (2008), Fuzzy Modeling Enterprise Resource Planning Tool Selection, Computer Standards & Interfaces, Sayı: 30, S.137–147
- [3] Chou, D. C., Bindu Tripuramallu, H., ve Chou, A. Y. (2005). BI and ERP integration. Information Management & Computer Security, 13(5), 340-349.
- [4] Karsak, E. E.Ve Özoğul, C. O.,(2009) An Integrated Decision Making Approach For Erp System Selection, Expert Systems With Applications, Sayı: 36, S.660–667
- [5] Kumar, K. ve Hillsgersberg V.J., (2000), “Erp Experiences And Evolution”, Communication Of The Acm, Sayı: L:43, (4/23), S. 22-26.
- [6] Lin, H. Y.; Hsu, P. Y. Ve Sheen, J. G., (2007), A Fuzzy-Based Decision-Making Procedure For Data Warehouse System Selection, Expert Systems With Applications, Sayı: 32, S.939–953
- [7] Perçin, S., (2008), Using The Anp Approach In Selecting And Benchmarking Erp Systems, Benchmarking: An International Journal, Sayı: 15 (5) 630-649
- [8] Teltumbde, A., (2000), A framework for evaluating ERP projects, International Journal of Production Research, Sayı: 38(17), s.4507–4520
- [9] Umble, E. J., Haft, R. R., & Umble, M. M. (2003). Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. European journal of operational research, 146(2), 241-257.
- [10] Ünal, C. Ve Guner, G. M., (2009), Selection Of Erp Suppliers Using Ahp Tools In The Clothing Industry, International Journal Of Clothing Science And Technology, Sayı: 21(4), S.239-251
- [11] Wei, C.C., Chien, F. C. ve Wang, J. M. J., (2005), “An Ahp-Based Approach To Erp System Selection, International Journal Production Economics, Sayı: 96, S.47–62
- [12] Postacı, T., Belgin, Ö., & Erkan, T. E. (2012). KOBİ’lerde Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Uygulamaları. Verimlilik Genel Müdürlüğü, Yayın, (723), 1-60.
- [13] Bayraktar, E., & Mehmet, E. F. E. (2006). Kurumsal Kaynak Planlamasi (Erp) ve Yazılım Seçim Süreci. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (15), 689-709.
- [14] Dulkadir, B. (2012). Tekstil İşletmelerinde Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Kullanımındaki Memnuniyet Düzeyi ve Malatya İlinde Bir Araştırma. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 3(2).
- [15] Seyrek, İ. H. (2011). Bulut Bilişim: İşletmeler için fırsatlar ve zorluklar. Gaziantep University-Journal of Social Sciences, 10(2), 701-713.
- [16] Jang, W. Y., Lin, C. I., & Pan, M. J. (2009). Business strategies and the adoption of ERP: Evidence from Taiwan's communications industry. Journal of Manufacturing Technology Management, 20(8), 1084-1098.
- [17] Yang, J. B., Wu, C. T., & Tsai, C. H. (2007). Selection of an ERP system for a construction firm in Taiwan: A case study. Automation in construction, 16(6), 787-796.

- [18] Evren, R., Ülengin, F. (1992). Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [19] Feng, C.M., Wang R.T, (2000). "Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios", Journal of Air Transport Management, 6, 133-142.
- [20] Dağdeviren M., Akay D., Kurt M. (2004). "İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 19(2), 131-138.
- [21] Dinçer H., Görener A. (2011). "Performance Evaluation Using AHP - VIKOR And AHP - TOPSIS Approaches: The Case Of Service Sector", Journal Of Engineering And Natural Sciences Sigma, 29, 244-260.
- [22] Kaya Y. (2004). Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinden TOPSIS ve ELECTRE Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tez. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Saaty, Thomas L., (1980), The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International Book Company, New York.
- [24] Saaty L. T. (1994) "Highlights and critical points in the theory and application of the Analytical Hierarchy Process", European Journal of Operational Research, 74, 426-447.
- [25] Saaty, Thomas L., (2000), Fundamentals of Decision Making and Priority Theory, 2. Edition, RWS Publications, Pittsburgh.
- [26] Golden, L. B. ve Wang Q. (1989b) "An alternate measure of consistency" , Golden, B. L., Wasil, E. A. ve Harker P. T. (der.), The Analytic Hierarchy Process içinde, Springer Verlag, New York, 69-81.
- [27] Zadehi, F. (1997) " Reliability metric for information systems based on customer requirements ", International Journal of Quality and Reliability Management, 14 (8), 791-813.
- [28] Chin K.S. , Chiu, S. ve Tummala, V. M. R. (1999) " An evaluation of success factors using the AHP to implement ISO 14001-based EMS ", International Journal of Quality and Reliability Management, 16 (4), 341-361.
- [29] Ramadhan, R. H., Al-Abdul Wahhab, H. I., & Duffuaa, S. O. (1999). The use of an analytical hierarchy process in pavement maintenance priority ranking. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 5(1), 25-39.
- [30] Gungor, I., & Isler, D. B. (2005). Analitik hiyerarsi yaklasimi ile otomobil secime. ZKU Sosyal Bilimler Dergis, 1(2), 21-31.