

Laurus Nobilis, *Oregano* ve *Cinnamomum Zeylanicum* Uçucu Yağları İlaveli Antibakteriyel Selülozik Membranların Üretilmesi

Fabrication of *Laurus Nobilis*, *Oregano* and *Cinnamomum Zeylanicum* Essential Oils Supplemented Antibacterial Cellulosic Membranes

Yaşar Andelib AYDIN¹ 

¹ Marmara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, *Laurus nobilis*, *Oregano* ve *Cinnamomum zeylanicum* bitkilerinden hidrodistilasyon yoluyla elde edilen uçucu yağlar kullanılarak *Gluconacetobacter hansenii* P2A (KUEN 1606) tarafından sentezlenen bakteriyel selüloz (BC) membranlara antimikrobiyel özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Uçucu yağların analizi gaz kromatografisi kütle spektrometresi (GC-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda *L. nobilis*, *Oregano* ve *C. zeylanicum* uçucu yağlarının temel bileşenleri sırasıyla, 1,8-cineole (%63,7), carvacrol (%64,5) ve cinnamaldehyde (%80,9) olarak belirlenmiştir. BC membranlar, %1-12 (v/v) uçucu yağ içeren çözeltiler ile temas ettirilmiş ve daha sonra disk difüzyon tekniği ile *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923, Gram pozitif) ve *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853, Gram negatif) bakterilerine karşı etkinlikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, *L. nobilis* uçucu yağı yüklenmiş BC membranların *S. aureus*'a karşı etkin olmadığını, *P. aeruginosa*'ya karşı ise ancak %8'in üzerindeki derişimlerde zayıf etki göstererek yarıçapı 2 mm'ye varan inhibisyon bölgeleri oluşturabildiğini göstermiştir. Öte yandan, *Oregano* ve *C. zeylanicum* uçucu yağları ile yüklenmiş biyofilmler yarıçapı sırasıyla 13 mm ve 16 mm'ye varan inhibisyon bölgeleri oluşturarak her iki patojene karşı da yüksek etkinlik göstermişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel selüloz, antibakteriyel özellik, *Laurus nobilis*, *Oregano*, *Cinnamomum zeylanicum*.

Abstract

In this study, it was aimed to gain antimicrobial property in to bacterial cellulose (BC) membranes synthesized by *Gluconacetobacter hansenii* P2A (KUEN 1606) using essential oils derived from *Laurus nobilis*, *Oregano* and *Cinnamomum zeylanicum* plants via hydrodistillation. The analysis of essential oils was realized by Gas Chromatography and Mass Spectroscopy (GC-MS). Accordingly, major constituents of essential oils were identified as 1,8-cineole (63,7%), carvacrol (64,5%) and cinnamaldehyde (80,9%) for *L. nobilis*, *Oregano* and *C. zeylanicum*, respectively. BC membranes were contacted with solutions of 1-12% (v/v) oil content and then tested for antibacterial activity against *Staphylococcus auerus* (ATCC 25923, Gram positive) and *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853, Gram negative) by disc diffusion technique. Results showed that BCs treated with the essential oil from *L. nobilis* were inactive against *S. aureus* and slightly active against *P. aeruginosa* only over concentrations of 8% with maximum inhibition radius of 2 mm. On the contrary, biofilms loaded with essential oils of *Oregano* and *C. zeylanicum* were highly active against both pathogens with inhibition zone reaching as high as 13 and 16 mm, respectively.

Keywords: Bacterial cellulose, antibacterial property, *Laurus nobilis*, *Oregano*, *Cinnamomum zeylanicum*.

I. GİRİŞ

Bitkisel kaynaklı selüloz ile aynı kimyasal yapıyı paylaşan bakteriyel selüloz, başlıcaları *Acetobacteraceae* ailesine ait olmak üzere bazı bakteriler, mantarlar, algler ve bir deniz canlısı türü olan tulumlular tarafından sentezlenebilmektedir [1-2]. Bu yolla sentezlenen selüloz, bitkisel selüloza kıyasla üstün saflık, kristalinite, mekanik dayanıklılık, su tutma kapasitesi ve biyoyoumluluk özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, bakteriyel selüloz ve kompozitlerinin ilaç, sağlık ve malzeme bilimi

alanlarında kullanımı araştırılmaktadır [1]. Günümüze değin önerilen ticari uygulamalar arasında yapay kan damarı, doku ve cilt takviyesi, yara örtüsü, akustik diyafram ve elektronik kağıt yer almaktadır [3].

Çeşitli araştırmalar, bakteriyel selülozun yara örtüsü olarak kullanıldığında yüksek geçirgenliği ve nemli ortam sağlaması sayesinde iyileşmeyi hızlandırdığını kanıtlamıştır [1]. Ancak bu malzeme antimikrobiyel olmadığından, yara enfeksiyonunu engellemek için uygun stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Literatürde, gümüş nanoparçacıklarının emdirilmesi [4], gümüş veya kitosan ile kompozitlenmesi [5], benzalkonyum çözeltisi [6] veya antibiyotik çözeltileri [7] ile muamele edilmesi gibi işlemler sonucunda *S. aureus* (gram pozitif) ve *E. coli* (gram negatif) model bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite elde edilmiştir.

Çoğunlukla gıda endüstrisinde kullanım alanı bulan bitkisel ekstraktlar ve uçucu yağlar fenolik bileşiklerce zengin olup, antifungal, antimikrobiyel ve antioksidan aktivite gibi biyolojik etkinliklere sahiptirler [8,9]. Uçucu yağların temel kaynağı tıbbi ve aromatik bitkilerdir. Uçucu yağ eldesinde en sık değerlendirilen bitkiler arasında lavanta, fesleğen, karanfil, biberiye, defne ve tarçın yer almaktadır. *Laurus nobilis* (Akdeniz defnesi) güney Akdeniz sahasına özgü, yüksekliği 8-10 m'ye erişebilen, sürekli yeşil kalan ağaçsı bir çalı olup, yaprak ve meyveleri uçucu yağ eldesinde kullanılabilir [10-11]. Yapraklarındaki uçucu yağ içeriği %1-3 aralığındadır ve ana bileşeni 1,8-cineole'dur. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden derlenen *L. nobilis* uçucu yağlarının %50-69 arasında 1,8 cineole içerdiği bildirilmiştir [8,11-12]. *Cinnamomum zeylanicum* (Seylan tarçını) ise güneydoğu Asya'da yaygın olarak yetişen defnegiller familyasından bir bitkidir. *C. zeylanicum*'un kökleri, yaprakları ve kabukları uçucu yağ eldesinde kullanılabilir. Uçucu yağın ana bileşeni kaynağına bağlı olarak cinnamaldehyde (kabuk), eugenol (yaprak) veya camphor (kök) olabilir [13]. Çeşitli çalışmalarda, *C. zeylanicum*'un %1-1,5 aralığında uçucu yağ içerdiği ve cinnamaldehyde oranının %53-80 aralığında olduğu saptanmıştır [14-16]. *Oregano* (kekik) ise ballıbabagiller familyasına mensup bir bitki olup, Akdeniz ülkelerinde yaygındır ve Türkiye florasında, 15'i endemik olmak üzere, 23 türü bulunmaktadır [17-18]. Bu türlerin yağ içerikleri %2'nin üzerindedir ve uçucu yağlarının ana bileşenleri carvacrol/thymol, g-terpinene ve p-cymene olarak bilinmektedir [8,17]. Bitki uçucu yağlarının bileşimlerinin ve antimikrobiyel etkinliklerinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma bulunmasına rağmen [8,14-19], literatürde bakteriyel selüloz membranlara antibakteriyel özellik kazandırmaya yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, çürük erikten izole edilen ve *Gluconacetobacter hansenii* P2A (KUEN 1606) olarak adlandırılan suş kullanılarak sentezlenen bakteriyel selüloz membranlar, *L. nobilis*, *Oregano* ve *C. zeylanicum* bitkilerinden ekstrakte edilen uçucu yağlar ile muamele edilmiştir. Nihai malzemenin yara örtüsü olarak kullanımı hedeflendiğinden, yaralar üzerinde sıklıkla gelişebilen gram negatif (*P. aeruginosa*) ve gram pozitif (*S. aureus*) patojen bakteriler model olarak seçilmiş ve membranların antibakteriyel etkinlikleri araştırılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Mikroorganizmalar ve Kültür Koşulları

Selülozik membranların sentezinde çürük erikten izole edilen ve daha önce *Gluconacetobacter hansenii* P2A (KUEN 1606) olarak tanımlanan suş kullanılmıştır [2]. – 20°C'de gliserolde muhafaza edilen stok kültür Hestrin Schramm (HS) besiyerinde (%2 D-glukoz, %0,5 pepton, %0,5 maya özütü, %0,27 Na₂HPO₄, %0,115 sitrik asit, pH 5,0) [20], 28°C'de 3 gün inkübe edilerek canlandırılmış ve HS agar (%1,5 agar) içeren plakalarda muhafaza edilmiştir. Aşı kültürü, uygun morfolojideki bir koloninin 10 mL HS besiyerinde 30°C'de 48 saatlik inkübasyonu ile elde edilmiştir.

S. aureus (ATCC 25923) ve *P. aeruginosa* (ATCC 27853) İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalından liyofilize halde temin edilmiş, nutrient besiyerinde (Merck 1.05443) 37 °C'de 48 saatlik inkübasyon ile canlandırılmış ve nutrient agarda muhafaza edilmiştir.

2.2. Bakteriyel Selüloz Membranların Sentezi

Membran sentezinde Hestrin Schramm besiyeri kullanılmıştır. %10 aşı oranı kullanılarak, 28°C'de 5 gün sürdürülen statik inkübasyonun neticesinde besiyeri yüzeyinde sentezlenen biyofilm, distile su ile yıkanmış, 0,1N NaOH çözeltisi içerisinde kaynatılarak hücre ve besiyeri artıklarından arındırılmıştır. Nötralizasyon işlemi 0,1N CH₃COOH çözeltisinde 15 dk bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Son olarak, distile su ile yıkanan biyofilmlerden 1,5 cm çapında dairesel kesitler çıkarılmış ve dondurularak (-80°C) kurutulmuştur.

2.3. Şişme Testi

Kuru ağırlıkları tespit edilen 1,5 cm çapındaki selülozik membranlar, oda sıcaklığında 25 mL ultra saf su, fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS, Sigma Aldrich) veya farklı derişimlerdeki (%1-12 v/v) *Oregano*, *L. nobilis* ve *C. zeylanicum* uçucu yağ çözeltileri içerisinde bekletilmiştir. Süre sonunda sıvı ortamdan uzaklaştırılan biyofilmlerin üzerindeki fazla

su/çözelti uzaklaştırılmış ve ağırlıkları ölçülmüştür. Deneyler üç tekrar ile gerçekleştirilmiş; şişme oranı 1 no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme Oranı} = \frac{(W_s - W_i)}{W_i} \quad (1)$$

Burada W_i kuru membran ağırlığını, W_s ise su veya çözelti ile doyurulmuş membran ağırlığını ifade etmektedir.

2.4. Uçucu Yağ Eldesi

Deneylerde kullanılan bitkiler yerel aktarlardan kurutulmuş olarak temin edilmiştir. Çalışmada, *L. nobilis* bitkisinin yaprakları, *Oregano* bitkisinin yaprak ve dal kısımları, *C. zeylanicum*'un ise kabukları kullanılmıştır. *L. nobilis* ve *Oregano*'nun 10 mesh, *C. zeylanicum*'un ise 100 mesh inceliğinde öğütülmesi ardından gerçekleştirilen hidrodistilasyon işlemi, Clevenger cihazı ile yapılmış olup, 1/5 katı sıvı oranı ve 4 saatlik kaynatma koşullarında yürütülmüştür. Elde edilen ekstraktlar susuz Na_2SO_4 ile kurutulmuş ve kullanılabilecek kahverengi cam şişede 4°C 'de muhafaza edilmiştir [15,19]. Uçucu yağların niteliksel ve niceliksel analizi TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gıda Enstitüsünde Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi (GC-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uçucu yağ bileşimi pik alanının tüm pik alanına oranlanması ile hesaplanmıştır.

2.5. Antibakteriyel Etkinin Belirlenmesi

Uçucu yağların antibakteriyel etkisinin belirlenebilmesi için disk difüzyon yöntemi uygulanmıştır [4]. Buna göre, 1,5 cm çapındaki selülozik biyofilmler, uçucu yağların etanol içerisindeki %1-12 (v/v) aralığında değişen derişimde çözeltileri ile 10 mg biyofilm/1 ml çözelti oranına uygun olarak 1 saat süre ile temas ettirilmiştir. Biyofilmler, yüzeylerindeki fazla çözeltinin uzaklaştırılması amacıyla yaklaşık 10 s bekletildikten sonra deneylerde kullanılmıştır. Negatif kontrol olarak aynı işlem koşullarında sadece etanol emdirilmiş diskler kullanılmıştır.

S. aureus ve *P. aeruginosa* nutrient besiyerinde (NB) mililitre başına 10^5 koloni oluşturan birim (kob/ml) yoğunluğuna ulaşana değin geliştirildikten sonra, NB agar içeren petri kaplarına $100\ \mu\text{L}$ olarak yayılmıştır. Petri kabına, uçucu yağ çözeltileri ve etanol emdirilen diskler yerleştirildikten sonra, yaklaşık 30 dk oda sıcaklığında bekletilmiş ve ardından 37°C 'de 24h inkübe edilmiştir. Süre sonunda diskler etrafında inhibisyon bölgesi oluşumu gözlemlenmiş ve inhibisyon bölgesinin çapı ölçülmüştür. Tüm deneyler üç tekrar ile gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Uçucu Yağ Bileşimleri

Bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, tür, bölge, mevsim, ekstraksiyon ve analiz yöntemi gibi etkenlere bağlı olarak değişen bileşimde, çoğunluğu düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan birçok bileşik içerir [15]. Bu çalışmada değerlendirilen *L. nobilis*, *Oregano* ve *C. zeylanicum* bitkilerinden ekstrakte edilen uçucu yağların GC-MS ile belirlenen bileşimi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. *L. nobilis*, *Oregano* ve *C. zeylanicum* uçucu yağlarının bileşimi.

Uçucu Yağ	Ana Bileşenler (%)
<i>L. nobilis</i>	1,8-cineole (63.7), sabinene (14.03), α -terpinylacetate (7.15), α -pinene (7.14), terpinen-4-ol (2.15), linalool (1.54), α -terpineol (0.71), α -myrcene (0.64), L-linalool (0.66), α -thujene (0.47), camphene (0.35)
<i>Oregano</i>	Carvacrol (64.5), p-cymene (12.93), γ -terpinene (8.6), caryophyllene (3.45), borneol (2.29), β -myrcene (2.25), α -terpinene (1.8), α -pinene (1.12), linalool (0.74), α -thujene (0.63), caryophyllene oxide (0.62), camphene (0.4), α -bisabolene (0.26)
<i>C. zeylanicum</i>	Trans-cinnamaldehyde (80.9), cis-cinnamaldehyde (10.8), benzaldehyde (3.7), cinnamic acid (0.43)

L. nobilis uçucu yağının ana bileşeni 1,8-cineole olarak bilinmekte ve tipik olarak %45-60 aralığında bulunması beklenmektedir. Diğer bileşenler ise %12-15 diğer terpenler, %3-4 sesquiterpenler, %3 methyleugenol ve <%3 α ve β -pinene, phellandrene, linalool, geraniol ve terpineol olarak sıralanmaktadır [21]. Bu çalışmada elde edilen *L. nobilis* uçucu yağında tespit edilen 1,8-cineole miktarı belirtilen aralığın üzerinde olmakla beraber, Hatay [8,11] ve Antalya [19] yörelerinden derlenen *L. nobilis* uçucu yağlarının da benzer şekilde %60'ın üzerinde 1,8-cineole içerdikleri bildirilmiştir.

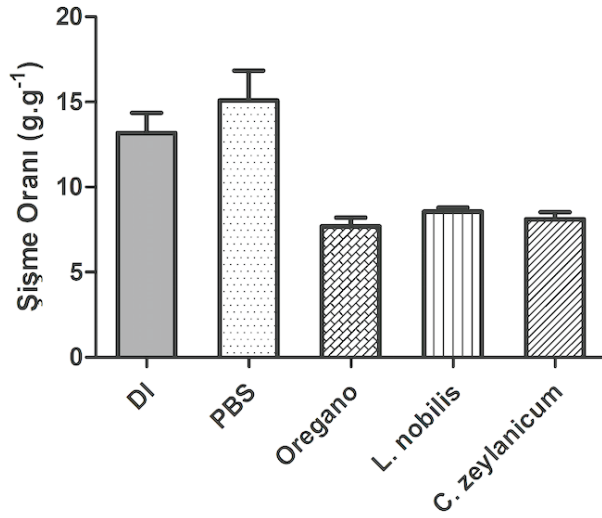
Çalışmada elde edilen *Oregano* uçucu yağının ana bileşeni thymol izomeri olan carvacrol olarak belirlenirken, monoterpen hidrokarbonlar p-cymene ve γ -terpinene'in de yüksek miktarlarda yer aldığı saptanmıştır. Sonuçlar, Dadaloğlu ve Evrendilek tarafından Isparta bölgesinden derlenen *O. minutiflorum* uçucu yağı ile yüksek benzerlik göstermektedir [8].

C. zeylanicum çubuklarından elde edilen uçucu yağın ana bileşenleri trans-cinnamaldehyde (%60-80) ve eugenol (%2) olarak bilinmektedir [22]. Cis-cinnamaldehyde içeriği ise çeşitli çalışmalarda, %0,2-2,3 aralığında bulunmuştur [15-16, 22]. Çalışmada elde edilen *C. zeylanicum* uçucu yağında

eugenol saptanmamışsa da, her iki izomer de dikkate alındığında oldukça yüksek cinnamaldehyde içerdiği belirlenmiştir.

3.2. Şişme Testi

Yara örtüsü olarak kullanılacak malzemelerin yüksek su tutma kapasitesine sahip olmaları yara iyileşmesini hızlandırması sebebiyle aranılan bir niteliklerdir [6]. Bakteriyel selüloz membranlar fibril çapı ve yoğunluğuna bağlı olarak ağırlığının 170 katına kadar su tutabilmektedirler [23]. Yüksek şişme kapasitesi sayesinde BC membranların uçucu yağ çözeltilerini de yüksek bir oranla absorplayabilecekleri öngörülmüştür. Bununla beraber, sentezlenen BC membranların şişme kapasitesinin bir ölçüsü olarak şişme oranları belirlenmiştir. Deiyonize su, PBS ve uçucu yağ çözeltilerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Bakteriyel selüloz membranların deiyonize su, fosfat tampon çözeltisi ve uçucu yağ çözeltileri içerisindeki şişme dereceleri.

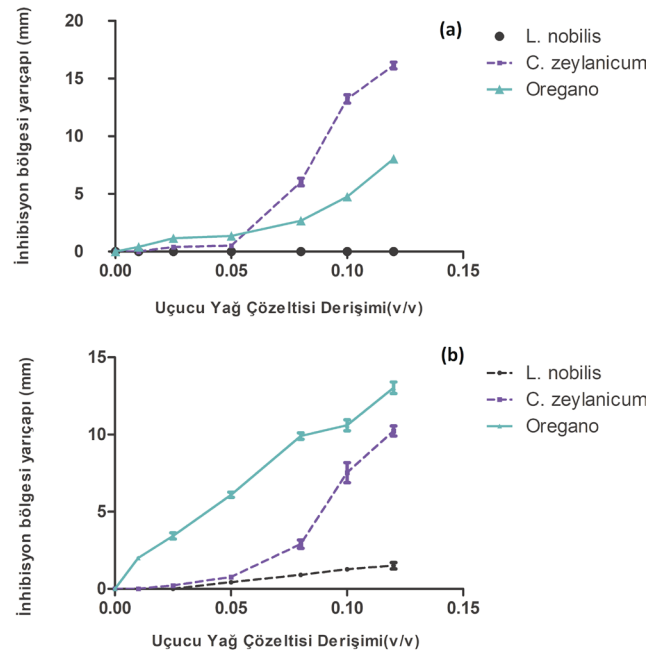
Değerlendirmeler sonucunda bakteriyel selüloz membranların şişme dereceleri deiyonize su ortamında $13,18 \pm 1,62$ g.g⁻¹, PBS ortamında ise $15,07 \pm 2,49$ g.g⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu durum, çalışma kapsamında elde edilen bakteriyel selüloz membranların kendi ağırlıklarının en az 13 katı oranında su absorplayabildiklerini göstermekte ve yara örtüsü olarak kullanılmalarının elverişli olduğuna işaret etmektedir. Öte yandan, uçucu yağ çözeltileri ile temas ettirilen membranlar daha düşük şişme dereceleri göstermişlerdir. Şişme dereceleri *Oregano*, *L. nobilis* ve *C. zeylanicum* uçucu yağ çözeltileri ortamında sırasıyla $7,70 \pm 0,52$ g.g⁻¹, $8,56 \pm 0,23$ g.g⁻¹ ve $8,1 \pm 0,43$ g.g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, uçucu yağ çözeltisi bileşimi ile şişme derecesi arasında anlamlı bir

ilişki bulunmadığını gösterdiğinden, düşük şişme derecesinin yağ derişiminden ziyade çözücü olan etanolden ileri geldiği anlaşılmıştır.

Bakteriyel selüloz membranların yüksek su tutma kapasitesi, hidrofilik karakterin yanı sıra, 3 boyutlu ağ yapısı sayesinde oluşan çok gözenekli yapının doğurduğu kapiler kuvvetler ile ilişkilendirilmektedir [24]. Bu nedenle sentezlenen BC membranların fibril yapısı, kristalinitesi ve kimyasal yapısı şişme derecesi üzerinde etkilidir. *G. hansenii* P2A (KUEN 1606) tarafından statik koşullar altında sentezlenen BC membranların yapısal özellikleri önceki çalışmalarda XRD, FTIR, TGA ve SEM analizleri ile ortaya konmuştur. Buna göre, BC membranlar 8–10 nm kalınlığında fibrillerden oluşan düzenli bir ağ yapısına sahiptir. Kristal ve kimyasal yapısı Selüloz I morfolojisine uyum gösteren BC membranların bağıl kristalinite endeksi %78,7 olarak hesaplanmış, maksimum bozunma sıcaklığı 313,3°C olarak belirlenmiştir [3].

3.3. Antibakteriyel Etki

Çalışmada sentezlenen selülozik biyofilmler uçucu yağların etanol içerisindeki %1, %2,5, %5, %8, %10 ve %12’lik (v/v) çözeltileri ile temas ettirilmiş ve disk difüzyon yöntemi ile antibakteriyel etkinlikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2a-d’de sunulmuştur.



Şekil 2. Uçucu yağ çözeltisi derişiminin selülozik biyofilmlerin antibakteriyel aktivitesine etkisi ve (a) *S. aureus*, (b) *P. aeruginosa*. *Oregano* uçucu yağı ile işlem gören BC membranların inhibisyon bölgeleri (c) *S. aureus*, (d) *P. aeruginosa*.

Şekil 2.c-d’de ortaya konulduğu gibi, uçucu yağlar ile işlem görmemiş selülozik biyofilmler etrafında inhibisyon bölgesi gözlemlenmemiştir. Bu nedenle, antibakteriyel etkinliğin uçucu yağlar ile sağlandığı açıktır. Uçucu yağlarda bulunan alkaloid, flavanoid, isoflavone, monoterpene, fenolik asit, carotenoid vb. fitokimyasallar antimikrobiyel etki gösterebilirler. Bunlar arasında en etkili olanları, çoğunluğu fenolik bileşikler olan, thymol, carvacrol, p-cymene, γ – terpinene, 1,8-cineole, linalool, limonene, α -bisabolol, eugenol ve cinnamaldehyde olarak sıralanabilir [21,25]. Esansiyel yağlarda bulununan bu etken maddelerin bakterilerin hücre zarlarındaki yağ dokusunu bozarak hücre geçirgenliğini artırdığı ve içerik kaybına yol açarak hücre ölümünü tetiklediği birçok çalışma ile ispatlanmıştır [21,26].

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, *L. nobilis* uçucu yağı içeren selülozik biyofilmlerin, yüksek oranda 1,8-cineole içeriğine rağmen, gram pozitif model bakteri üzerinde etkisiz olduğunu, gram negatif model bakteri için ise, düşük antibakteriyel aktivite sergilediğini göstermiştir. Literatür verileri, *L. nobilis* uçucu yağının her iki türe karşı da etkin olduğunu gösterdiğinden [21], biyofilmin yeterli düzeyde etken madde içermediği sonucuna varılmıştır.

Öte yandan, *C. zeylanicum* ve *Oregano* uçucu yağları ile muamele edilen bakteriyel selülozik biyofilmler gerek *S. aureus*, gerekse *P. aeruginosa* üzerinde yüksek aktivite göstererek yarıçapı 16 ve 13 mm’ye varan inhibisyon bölgeleri oluşturmuşlardır. *C. zeylanicum* uçucu yağı *S. aureus* üzerinde daha etkili olurken, *Oregano* uçucu yağı ise *P. aeruginosa*’ya karşı daha yüksek inhibisyon etkisi göstermiştir. *Oregano* uçucu yağı çözeltileri en düşük derişim olan %1 (v/v)’de dahi bakterisidal etkinliğe sahip iken, *C. zeylanicum* uçucu yağı çözeltileri için %2.5 (v/v) ve üzerindeki derişimlerde etkinlik gözlemlenebilmiştir. Bu değerler, BC membranların ortalama şişme dereceleri ve kuru ağırlıkları göz önüne alınarak ağırlık oranına dönüştürüldüğünde, *Oregano* uçucu yağı için %3,98, *C. zeylanicum* uçucu yağı için ise %10,51 olarak hesaplanmıştır. Lopez ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada polipropilen ve polietilen/etilen vinil alkol kopolimeri yapısındaki filmlere *C. zeylanicum* ve *Origanum vulgare* uçucu yağları katılarak antimikrobiyel etkinlikleri ölçülmüş ve Gram pozitif bakteriler için %8-10, Gram negatif bakteriler için ise daha yüksek derişimlerin gerekli olduğu bildirilmiştir [27]. Bu çalışmada elde edilen sonuçların daha üstün olması, BC membranın mikrofibrillerden oluşan gözenekli ağ yapısı ile ilişkilendirilebilir. Bu yapısı sayesinde etken maddelerin daha yüksek hızda difüzyonu sağlanması olasıdır. Tespit edilen inhibisyon yarıçapları literatürde bakteriyel selülozik biyofilmlere antimikrobiyel özellik kazandırılması için önerilen metodlar ile kıyaslanmış ve sonuçlar Tablo 2’de derlenmiştir.

Tablo 2. Bakteriyel selüloz membranlara antibakteriyel özellik kazandırılmasında uygulanan yöntemlerin kıyaslanması.

Yöntem	Bakteri	İnhibisyon Bölgesi Yarıçapı (mm)	Kaynak
Gümüş Emdirilmesi	<i>E.coli</i> * <i>S. aureus</i> *	2 3.5	[4]
Gümüş Emdirilmesi	<i>E.coli</i> (ATCC 25922) <i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	12.5 6.5	[5]
Gümüş Emdirilmesi	<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	20	[24]
Benzalkonyum Çözeltilisi ile İşlem	<i>E.coli</i> (CGMCC 1.1100) <i>S. aureus</i> (CGMCC 1.128) <i>B. subtilis</i> (CGMCC 1.1630)	5 8.5 14.5	[6]
Uçucu Yağlar ile İşlem	<i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853) <i>S.aureus</i> (ATCC 25923)	13 16	Bu çalışma

*Suş bildirilmemiştir.

Tablo 2’de yer alan veriler dikkate alındığında uçucu yağların alternatif yöntemlere kıyasla oldukça yüksek antibakteriyel etkinlik sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Gümüş emdirilmiş biyofilmlerde yara dokusu içerisine gümüş iyonlarının salınımı söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla, gümüş iyonlarının yüksek derişimde olması halinde canlı dokunun zarar görme olasılığı da bulunmaktadır [4]. Bu çalışmada önerilen yöntemin diğer bir avantajı, kullanılan antibakteriyel ajanların biyoyumlu olması ve dolayısıyla ciltte yan etki oluşma ihtimalini ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca, uçucu yağların hidrofobisiteyi arttırması sayesinde, yara bölgesine yapışma oranının da düşeceği öngörülebilir.

Bu nedenle, önerilen yöntemin uçucu yağların yüksek verim ve etkinlik ile elde edilmesini sağlayacak doğrultuda optimize edilmesi ve etki sürelerinin arttırılmasına yönelik olarak geliştirilmesi neticesinde, yara örtüsü olarak kullanıma uygun antibakteriyel özellikli bakteriyel selüloz membranların üretimi için en uygun yöntem olacağı düşünülmektedir.

IV. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada bakteriyel selülozik membranlara antibakteriyel özellik kazandırılması için en etkili yöntem olarak önerilen gümüş nanoparçacıkları ile yüklenmesi/kompozitlenmesine alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçla *L. nobilis*, *Oregano* ve *C. zeylanicum* bitkilerinden hidrodistilasyon işlemi ile elde edilen uçucu yağlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, *Oregano* ve *C. zeylanicum* uçucu yağları ile işlem gören selülozik biyofilmler, yara dokusunda sıklıkla gelişebilen *S. aureus* ve *P. aeruginosa* model bakterilerine karşı yüksek derecede antibakteriyel etkinlik göstermiş ancak, *L. nobilis* uçucu yağı ile işlem gören selülozik biyofilmler için yalnızca *P. aeruginosa*’ya karşı sırasıyla antibakteriyel etkinlik elde edilebilmiştir. Sonuçların

geliştirilmesi için, devam eden çalışmalarda temas süresinin uzatılması ya da çapraz bağlayıcı kullanılması gibi stratejilerin, antibakteriyel özelliğin elde edilmesi ve etki süresi üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Petersen, N., & Gatenholm, N., (2011). Bacterial Cellulose-Based Materials and Medical Devices: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(3), 1277-1286.
- [2] Vazquez, A., Foresti, M.L., Cerrutti, P., & Galvagno M., (2013). Bacterial Cellulose from Simple and Low Cost Production Media by *Gluconacetobacter xylinus*. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 545-554.
- [3] Aydın, Y.A., & Deveci Aksoy, N., (2014). Isolation and Characterization of an Efficient Bacterial Cellulose Producer Strain in Agitated Culture: *Gluconacetobacter hansenii* P2A. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(3), 1065-1075.
- [4] Maneerung, T., Tokura, S., & Rujiravanit, R., (2008). Impregnation of Silver Nanoparticles into Bacterial Cellulose for Antimicrobial Wound Dressing. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 43-51.
- [5] Li, S.M., Jia, N., Ma, M.G., Zhang, Z., Liu, Q.H., & Sun, R.C., (2011). Cellulose-silver Nanocomposites: Microwave-assisted Synthesis, Characterization, Their Thermal Stability, and Antimicrobial Property. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 441-447.
- [6] Wei, B., Yang, G., & Hong, F., (2011). Preparation and Evaluation of a Kind of Bacterial Cellulose Dry Films with Antibacterial Properties. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 533-538.
- [7] Gromovykh T.I., Sadykova, V.S., Lutchenko, S.V., Dmitrenok, A.S., Feldman, N.B., Danilchuk, T.N., & Kashirin, V.V., (2017). Bacterial Cellulose Synthesized by *Gluconacetobacter hansenii* for Medical Applications. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 53(1), 60-67.
- [8] Dadaloğlu, I., & Evrendilek, G.A., (2004). Chemical Compositions and Antibacterial Effects of Essential Oils of Turkish *Oregano* (*Origanum minutiflorum*), Bay Laurel (*Laurus nobilis*), Spanish Lavender (*Lavandula stoechas* L.), and Fennel (*Foeniculum vulgare*) on Common Foodborne Pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 8255-8260.
- [9] Sukhtezari, S., Almasi, H., Pirsä, S., Zandi, M., & Pirouzfard M.K., (2017). Development of Bacterial Cellulose Based Slow-release Active Films by Incorporation of *Scrophularia striata* Boiss. extract. *Carbohydrate Polymers*, 156, 340-350.
- [10] Kıvrak, Ş., Göktürk, T., & Kıvrak, İ., (2017). Assessment of Volatile Oil Composition, Phenolics and Antioxidant Activity of Bay (*Laurus nobilis*) Leaf and Usage in Cosmetic Applications. *International Journal of Secondary Metabolite*, 4(2), 148-161.
- [11] Özcan, M., & Chalchat, J.-C., (2005). Effect of Different Locations on the Chemical Composition of Essential Oils of Laurel (*L. nobilis* L.) Leaves Growing in Turkey. *Journal of Medicinal Food*. 8(3), 408-411.
- [12] Sangun, M.K., Aydın, E., Timur, M., Karadeniz, H., Caliskan, M., & Aydın, O., (2007). Comparison of Chemical Composition of the Essential Oil of *Laurus nobilis* L. Leaves and Fruits from Different Regions of Hatay, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 28(4) 731-733.
- [13] Kazemi, M., & Mokhtariniya, S., (2016). Essential Oil Composition of Bark of *Cinnamomum zeylanicum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(3), 786-789.
- [14] Unlu, M., Ergene, E., Unlu, G.V., Zeytinoglu H.S., & Vural, N., (2010). Composition, Antimicrobial Activity and in vitro Cytotoxicity of Essential Oil from *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Lauraceae). *Food and Chemical Toxicology*, 48(11), 3274-3280.
- [15] Li, Y.Q., Kong, D.X., & Wu, H. (2013). Analysis and Evaluation of Essential Oil Components of Cinnamon Barks using GC-MS and FTIR Spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 41, 269-278.
- [16] Jiang, Z., Jiang, H., & Xie, P. (2013). Antifungal Activities Against *Sclerotinia sclerotiorum* by *Cinnamomum cassia* Oil and Its Main Components. *Journal of Essential Oil Research*, 25(6), 444-451.
- [17] Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G., & Karadoğan, T., (2004). Antibacterial Activity and Composition of Essential Oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with Commercial Importance in Turkey. *Food Control*, 15(3), 169-172.
- [18] Kordali, S., Cakir, A., Ozer, H., Cakmakci, R., Esdek, M., & Mete, E., (2008). Antifungal, Phytotoxic and Insecticidal Properties of Essential Oil Isolated from Turkish *Origanum acutidens* and Its Three Components, Carvacrol, Thymol and p-Cymene. *Bioresource Technology*, 99(18), 8788-8795.
- [19] Müller-Riebau, F., Berger, B., & Yegen, O., (1995). Chemical Composition and Fungitoxic Properties to Phytopathogenic Fungi of Essential Oils of Selected Aromatic Plants Growing Wild in Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(8), 2262-2266.
- [20] Schramm, M., & Hestrin, S. (1954). Synthesis of Cellulose by *Acetobacter xylinum*. 1: Micromethod for the Determination of Celluloses. *Biochemical Journal*, 56(1), 163-166.
- [21] Seow, Y.X., Yeo, C.R., Chung, H.L., & Yuk, H.G., (2014). Plant Essential Oils as Active Antimicrobial Agents. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 625-644.
- [22] Shan, B., Cai, Y.Z., Brooks, J.D., & Corke, H. (2007). Antibacterial Properties and Major Bioactive Components of Cinnamon Stick (*Cinnamomum burmannii*): Activity Against Foodborne Pathogenic Bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(14), 5484-5490.
- [23] Khattak, W.A., Khan T., Ul-Islam M., Wahid F., & Park, J.K., (2015). Production, Characterization and Physico-Mechanical

- Properties of Bacterial Cellulose from Industrial Wastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 23(1), 45-53.
- [24] Barud, H.S., Regiani, T., Marques, R.F.C., Lustri, W.R., Mes-saddeq, Y., & Ribeiro, S.J.L., (2011). Antimicrobial Bacterial Cellulose-Silver Nanoparticles Composite Membranes. *Journal of Nanomaterials*, <https://doi.org/10.1155/2011/721631>.
- [25] Walentowska, J., & Foksowicz-Flaczyk, J., (2013). Thyme Es-sential Oil for Antimicrobial Protection of Natural Textiles. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 84, 407-411.
- [26] Peng, Y., & Li, Y., (2014). Combined Effects of Two Kinds of Essential Oils on Physical, Mechanical and Structural Pro-perties of Chitosan Films. *Food Hydrocolloids*, 36, 287-293.
- [27] López, P., Sánchez, C., Batlle, R., & Nerín C., (2007). De-velopment of Flexible Antimicrobial Films Using Essential Oils as Active Agents. *Journal of Agricultural and Food Che-mistry*, 55(21), 8814-8824.

Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi için İki Aşamalı Bir Çözüm Yöntemi Önerisi

A Two-Stage Solution Method for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery

Serap ERCAN CÖMERT¹ , Harun Reşit YAZGAN¹ , Nuran GÖRGÜLÜ¹ 

¹ Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54100, Sakarya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, araç rotalama problemlerinin türlerinden olan eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi ele alınmıştır. Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi (EZTDARP); müşterilerin taleplerine göre dağıtım yaparken aynı zamanda toplama işleminin de yapıldığı bir araç rotalama problemi çeşididir. Ele alınan problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada, kümeleme analizi yöntemleri (K-Means ve K-Medoids algoritmaları) kullanılarak müşteriler kümelenecek, ikinci aşamada ise aynı küme içinde olan müşterilere yapılacak toplama ve dağıtım işlemi için takip edilecek rota tam sayılı doğrusal programlama yardımıyla belirlenecektir. Sonrasında ANOVA testi yardımıyla kümeleme algoritmalarının etkinliği karşılaştırılacaktır.

Anahtar kelimeler: Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi, Kümeleme analizi, K-Means kümeleme algoritması, K-Medoids kümeleme algoritması

Abstract

In this study, vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery (VRPSPD) as a type of vehicle routing problem is discussed. VRPSPD means pick-up and delivery operations are held on a vehicle route at the same time in order to satisfy the customers' demand. A two-stage solution method is proposed to solve the VRPSPD. At the first stage, customers are clustered using clustering algorithms (i.e. K-Means and K-Medoids). Then, the route for the pick-up and delivery operations to the customers inside a cluster, is determined by integer linear programming. Finally, the efficiency of clustering algorithms is compared with the ANOVA test.

Keywords: Vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, Clustering analysis, K-Means clustering algorithm, K-Medoids clustering algorithm

1.GİRİŞ

Küreselleşmenin etkisiyle işletmeler tüm ürünlerini dünyaya sunarken, rakipleriyle rekabet edebilmek için farklılıklarını ortaya koyabilmeleri gerekmektedir. Müşteri memnuniyeti en üst düzeye çıkarılırken, var olan tüm kaynakların verimli kullanılması ve maliyetin azaltılması büyük bir role sahiptir. Maliyetlerin azaltılması için iyi bir dağıtım planı yapılması gerekmektedir. Bu durumda işletmeler araç rotalama problemleri ile karşı karşıya gelmektedirler. Lojistik alanında önemli bir yönetim problemi olan araç rotalama problemi (ARP) temel olarak bir dağıtım noktasından; coğrafi olarak dağılmış müşterilerin taleplerini karşılayacak en uygun rotaların belirlenmesi problemidir. ARP, kısıtlarına (zaman kısıtı, kapasite kısıtı, meşafe kısıtı vb.), yolların durumuna, oluşturulacak rotaların başlama ve bitiş düğümlerine, çevreye göre farklı türlere sahiptir. Bu çalışmada Topla Dağıt Araç Rotalama probleminin (TDARP) bir çeşidi olan Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTDARP) incelenmiştir. Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP) en çok tersine lojistik uygulamalarında kullanılmaktadır. Gün geçtikçe üretim kaynaklarının tüketimi hızla artarken geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik etkisi ve

çevresel sorumluluk bilinci önem kazanmaktadır. Tüketilen ürünlerin geri dönüştürülerek ekonomik değer katan ürünlere dönüştürülmesi, ürünlerin tüketilme ömürlerinin dolması, atıkların yeniden işlenmesi, satın alınan ürünlerin işletmelere geri gönderilmesi ve geri dönüşüm faaliyetlerinde tersine lojistiğin uygulanabilirliğinde araç rotalama problemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Kümeleme analizi, verilerin benzer nesnelere ayrılması işlemidir. Kümeleme analizi işlemlerinde amaç, kümenin içindeki elemanların birbirlerine benzerliği fazla, kümeler arası benzerliğin ise az olmasıdır. Bir kümeleme analizi yönteminin gösterdiği performans bu prensibi ne derece sağladığıyla doğrudan ilişkilidir [2].

Bu çalışmada, 78 şubeye sahip bir süpermarket zincirinin ana deposundan şubelerine yapacağı eş zamanlı topla dağıtım araç rotalama problemi ele alınmış ve ele alınan problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Yöntemin ilk aşamasında, kümeleme analizi yöntemlerinden K-Means ve K-Medoids algoritması kullanılarak müşteriler kümelenecek, ikinci aşamasında ise kümelenecek müşteriler kesin çözüm yöntemlerinden tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla rotalanmıştır. Makalenin geri kalan kısmı ise şöyledir; ikinci bölümünde, konu ile ilgili literatür araştırması yapılmış, üçüncü bölümde ARP detaylı bir şekilde incelenmiş ve dördüncü bölümde ise önerilen iki aşamalı çözüm yöntemi anlatılmıştır. Beşinci bölümde uygulama kısmına yer verilmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araç rotalama problemi, bir veya birkaç depoda yerleşmiş olarak bulunan araç filosu ile belirli müşterilere yapılan ürün dağıtım ve müşterilerden ürünlerin toplanması için gerekli olan rotaların belirlenmesi problemi olarak tanımlanmaktadır [3]. Araç rotalama probleminin ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında ortaya konmuştur. Dantzig ve Ramser çalışmalarında petrol istasyonlarına benzin dağıtım problemini ele almışlar ve bu problemin çözümü için matematiksel bir model geliştirmişlerdir [4].

ARP'nin özellikleri ve ele alınan kısıtlara göre farklı türleri geliştirilmiştir. Atıkların toplanıp geri dönüşüm tesislerinde kullanılması, müşterilerin aldıkları ürünlerden memnun kalmayıp iade etmesi problemleri topla dağıtım araç rotalama problemleri (TDARP) olarak tanımlanmaktadır. TDARP'de her rota ana depoda başlar, her müşteri bir araç tarafından ziyaret edilir, rotadaki müşterilerin toplam talebi araç kapasitesini aşamaz, her müşterinin toplama ve dağıtım olmak üzere iki talebi vardır. Dağıtım ve toplama işlemlerinin yapılma durumuna göre önce dağıtım sonra topla ARP,

karışık topla dağıtım ARP ve eş zamanlı topla dağıtım ARP olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Eş zamanlı topla dağıtım araç rotalama problemlerinde (EZTDARP) dağıtım ve toplama işlemleri eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Araç müşteriye geldiğinde müşterinin talebini teslim ederken depoya gönderilecek malzemeleri de teslim almaktadır [5].

EZTDARP ilk olarak Min [6] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Min [6], gerçek bir kütüphane sistemini inceleyerek kütüphanelerdeki kitapların taşınması üzerine çalışan bir algoritma geliştirmiştir. Bu problem, bir merkez kütüphane ve yirmi iki yerel kütüphane arasındaki kitap dağıtım ve toplama operasyonlarını içermektedir. Bu problem üzerine daha sonrasında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Literatürdeki bu çalışmalar kesin, klasik sezgisel ve metasezgisel yöntemler olarak sınıflandırılabilir.

Kesin çözüm yöntemi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ilk olarak Dell'Amico vd. [7] dal-sınır yaklaşımı temelli, dinamik programlama ve konum uzayı gevşetme prosedürünü geliştirmişler ve EZTDARP'ye çözüm aramışlardır. Önerdikleri yöntem 40 müşteriye kadar optimal çözümü bulabilmektedir. Subramanian vd. [8] çalışmasında EZTDARP için güzergahın ortasında kapasitelerin aşılmamasını sağlayan kısıtlamanın zayıf bir şekilde uygulandığı dal-kesme algoritması geliştirmişlerdir. Wang ve Chen [9] EZTDARP'ye zaman penceresi kısıtını ekleyerek çözümü için 0-1 tamsayı matematiksel model geliştirmişlerdir. Subramanian vd. [10] ise dal-sınır ve kesme temelli algoritma geliştirerek 100 müşteriye kadar EZTDARP için çözüm bulmuşlardır.

Klasik sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde Dethloff [11], EZTDARP için matematiksel modeli geliştirdiği ve ekleme temelli sezgisel bir algoritma önerdiği görülmektedir. Crispim ve Brando [12], karma ve EZTDARP'lerinin çözümü için tabu arama algoritması ve değişken komşuluk arama algoritmasını birlikte kullanarak melez bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen melez algoritmanın etkinliğini literatürdeki test problemleri üzerinde değerlendirmişlerdir. Nagy ve Salhi [13] çalışmalarında, EZTDARP'nin çözümü için sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Önerilen algoritmalar sadece tek depolu değil çok depolu eş zamanlı araç rotalama problemlerinin çözümü içinde kullanılmıştır. Chen [14], çalışmasında EZTDARP için benzetilmiş tavlama, tabu arama ve rota iyileştirme prosedürlerine dayalı bir melez sezgisel yöntem geliştirmiştir. Önerilen yöntemin performansı literatürdeki test problemleri üzerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar küçük ölçekli problemler için çok verimli bir şekilde en uygun çözümleri sağlayabildiğini ileri sürmektedir. Ropke ve Pisinger [15], EZTDARP'ye zaman penceresi kısıtını ilave ederek geniş komşuluk araması algoritmasını önermişlerdir.

Önerilen algoritma literatürdeki 338 problem üzerinde test edilmiş ve bu problemlerde 227'si için en iyi çözümü elde etmiştir. Erbao vd. [16] çalışmalarında, EZTDARP'ye zaman penceresi kısıtını ekleyerek genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritmasından oluşan bir melez algoritma ile çözüm aramışlardır. Önerilen melez algoritmanın performansı test problemleri üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği göstermektedir. Ai ve Kachitvichyanukul [17] çalışmalarında EZTDARP'nin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritma üzerinde literatürdeki test problemleri kullanılarak denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın diğer algoritmalar ile rekabetçi olduğunu göstermiştir. Gajpal ve Abad [18], EZTDARP ele almıştır. Ele aldığı problemin çözümü için karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Önerilen karınca kolonisi algoritması iki kurallı yerel arama yönteminin dışında yapıcı yöntemler içermektedir. Önerilen algoritmanın performansını ölçmek için literatürde yer alan test problemi örnekleri üzerinde kapsamlı bir çalışma yapılmış ve önerilen karınca kolonisi algoritmasının mevcut algoritmalara göre iyi sonuçlar verdiği ileri sürülmüştür. Zachariadis vd. [19], EZTDARP için Uyarlanabilir Bellek (AM) programlama metodolojisine dayalı bir metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Metasezgisel algoritmanın performansı 50 ila 400 müşterili test problemleri üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar geliştirilen algoritmanın yüksek kalitede sonuçlar ürettiğini ifade etmektedir. Catay [20], EZTDARP'nin çözümü için yeni bir tasarruf tabanlı görünürlük fonksiyonu ve feromon güncelleme prosedürü kullanan bir karınca koloni algoritması önermiştir. Literatürdeki test problemleri ile yapılan sayısal testler, önerilen yaklaşımın rekabetçi sonuçlar sağladığını ve en iyi bilinen birkaç çözümü geliştirdiğini ileri sürmektedir. Çetin ve Gencer [21], EZTDARP'ye kesin zaman penceresi kısıtını ilave ederek kesin zaman penceresi eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemini tanımlamış ve matematiksel modelini kurmuşlardır. Önerilen model Solomon'un test problemlerinden derlenen problemlerin çözümü için denenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, müşteri sayısı arttıkça problemin zorlaştığı ve optimum çözüm sayısının azaldığı hatta çözümsüz sonuçların elde edildiği ileri sürülmektedir. Mingyong ve Erbao [22], EZTDARP'ye zaman penceresi kısıtını ilave ederek ele almışlardır. Ele aldıkları problemin çözümü için karışık tam sayılı programlama modeli ve geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması önermişlerdir. Önerilen yöntemler test problemleri üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar büyük ölçekli problemlerde önerilen sezgisel algoritmanın matematiksel modele kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmektedir. Zachariadis vd.

[23] çalışmalarında EZTDARP için adaptif hafıza programlama metodolojisi geliştirmişlerdir. Geliştirilen adaptif hafıza programlama metodolojisi ile Tabu Arama algoritması birleştiğinde yeni geçici çözümler oluşmaktadır. Önerilen yöntemin performansı test problemleri üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin çok iyi performans sergilediğini ve yeni en iyi çözümler elde ettiğini ileri sürmektedir. Goksal vd. [24], EZTDARP için parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve değişken komşuluk arama algoritmasını kullanan melez bir çözüm önermişlerdir. Önerilen melez algoritmanın etkinliği literatürde mevcut olan test problemleri üzerinde yapılan bir deneyle araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın literatürdeki sezgisel yaklaşımlarla rekabet ettiğini ve en iyi bilinen birkaç çözümü geliştirdiğini ifade etmektedir. Li vd. [25], EZTDARP'ye birden çok depo kısıtını ekleyerek çok depolu eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemini ele almışlardır. Ele aldıkları problemin çözümü için yerel arama yöntemine dayalı uyarlanabilir komşuluk arama algoritmasını geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, önerilen yaklaşımın geniş komşuluk arama, parçacık sürüsü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyonu yaklaşımı ile elde edilen sonuçlardan daha iyi performansa sahip olduğunu ileri sürmektedir. Kaya [26], EZTDARP için Karınca Koloni Sistemi (KKS) ile Değişken Komşuluk Aramasına (DKA) dayanan melez bir meta-sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın performansı test problemleri üzerinde denenmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen bu yaklaşımın hem çözüm kalitesi hem de CPU süresinde güçlü ve etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Zhu ve Sheu [27], EZTDARP'de müşterilerin taleplerini stokastik olarak ele almıştır. Ele aldığı problemin çözümü için uyarlanabilir geniş komşuluk araması algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın etkinliği test problemleri üzerinde denenmiştir.

Literatürde ARP'nin çözümünde kümeleme analizi yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise Nallusamy vd. [28] çoklu gezgin satıcı problemini basit gezgin satıcı problemine dönüştürmek için kümeleme analizi yöntemlerinden K-Means algoritmasını kullandığı görülmektedir. Kümeleme işleminden sonra ise tabu arama ve benzetimli tavlama yöntemlerini kullanarak gezgin satıcı probleminin çözümünü yapmışlar ve elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışkan [29] çok depolu ARP'nin çözümünde karınca kolonisi ile kümeleme algoritmalarını birlikte kullanmış ve toplam maliyeti en aza indirmeyi hedeflemiştir. Şen [30] kapasite kısıtlı ARP'nin çözümü için kümeleme analizi yöntemlerini GA ile destekleyerek yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bozyer vd. [31] kapasite kısıtlı ARP'nin çözümü için gruplama aşamasında kümeleme analizi tekniklerinden C-means algoritmasının kullanıldığı,

önce kümele sonra rotala yöntemini önermişlerdir. Cömert vd. [32] sıkı zaman pencere ARPA'nın çözümü için kümeleme analizi tabanlı iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemin geçerliliği bir örnek olay üzerinde gösterilmiştir. Ünsal vd. [33], ARPA'nın bir alt dalı olan okul servisi rotalama probleminin optimizasyonu için yapay zekâ ve kümeleme analizi teknikleri kullanılarak bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem Ankara ilindeki bir okula taşımacılık hizmeti veren servis firmasından toplanan rota verileri üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçların mevcut değerlerden daha iyi olduğu iddia edilmiştir.

Literatür araştırmasında da görüldüğü gibi EZTDARPA'nın çözümünde kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar çok azdır. EZTDARPA'de klasik ARPA gibi NP-zor problem sınıfına girdiği için problemin kısıt ve değişken sayısı arttığında kesin çözüm yöntemleri kullanılarak çözülmesi zor hatta imkânsız hale gelmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada orta ve büyük boyutlu örnekleri çözmek için kullanılacak bir iki aşamalı çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen çözüm yöntemi müşterileri kümeleyerek problemin boyutunu küçültmekte ve kesin çözüm yöntemi kullanılarak çözülmesine olanak sağlamaktadır.

III. EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama en basit tanımıyla, bir veya birden fazla depodan talepleri belirli olan müşterilere ürünlerin dağıtılması ve müşterilerden ürünlerin toplanması için gerekli olan rotaların belirlenmesidir. Birden fazla aşamadan oluşan lojistik sistemine bakıldığında araç rotalama probleminde ürünleri depoya taşıyan firma, siparişlerin toplanarak müşterilere hizmet verildiği depo, ürünleri talep eden müşteri ve ürünlerin müşterilere dağıtımını sağlayan araç filosu bileşenleri yer almaktadır.

Lojistikte önemli bir yere sahip olan ARPA hayat koşullarının sunduğu kısıtlamalar sebebiyle farklı formlar alabilmektedir. ARPA, kısıtlarına (zaman kısıtı, kapasite kısıtı, mesafe kısıtı vb.), yolların durumuna, oluşturulacak rotaların başlama ve bitiş düğümlerine, çevreye göre birçok çeşide sahiptir. Bu çalışmada topla dağıt araç rotalama probleminin (TDARPA) bir çeşidi olan eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi (EZTDARPA) ele alınmıştır. Atıkların toplanıp geri dönüşüm tesislerinde kullanılması, müşterilerin aldıkları ürünlerden memnun kalmayıp iade etmesi problemleri TDARPA olarak tanımlanmaktadır. TDARPA'de her rota ana depoda başlar, her müşteri bir araç tarafından ziyaret edilir, rotadaki müşterilerin toplam talebi araç kapasitesini aşamaz, her müşterinin toplama ve dağıtım olmak üzere iki talebi vardır. EZTDARPA'de dağıtım merkezinden

veya depodan hareket eden araç, rotası üzerinde yer alan her müşteriye talep ettiği miktarda ürünü ulaştırdıktan sonra aynı araç ile eş zamanlı olarak müşteriden arz edilen miktarı toplayarak depoya geri döner. Depodan çıkan aracın izlediği rota boyunca ziyaret edeceği müşterilerin dağıtım taleplerinin karşılanacağı ve müşterilerden toplayacağı tüm ürünleri depoya taşıyabileceği şekilde kapasite kontrolü sağlayacağı bir rotalama yapılmalıdır. Her müşteri yalnızca bir kez hizmet görmektedir. Toplama ve dağıtımın ayrı ayrı planlandığı araç rotalama problemlerine göre aynı araç tarafından eş zamanlı olarak gerçekleştirilen dağıtım ve toplama faaliyetleriyle kaynakların daha verimli kullanılması ve maliyetlerin azaltılması sağlanmaktadır. Marketlere talep edilen miktarda içeceklerin dağıtımını yapıldıktan sonra aynı marketlerden boş şişelerin geri dönüşüm için toplanması, bu problem tipine örnek olarak verilebilir [5].

Bu çalışmada, Montane ve Galvao [34] ve Ai ve Kachitvichyanukul [17]'un önerdikleri matematiksel modeller esas alınmıştır. EZTDARPA'nın matematiksel modeli şu şekildedir:

Dizin Kümeleri ve Parametreler

N Müşteriler kümesi, $\{1,2,3 \dots, n\}$

N_0 Depo ve müşterilerden oluşan düğümler kümesi,
 $N_0 = NU\{0\}$

V Araçlar kümesi, $\{1,2,3 \dots, m\}$

Q_k Araç kapasitesi, $k \in V$

F_k Her aracın sabit maliyeti, $k \in V$

V_k Birim uzaklık başına değişken maliyet, $k \in V$

C_{ij} i ve j düğümleri arasındaki uzaklık, $i \in N_0, j \in N_0$

d_j j müşterisinin dağıtım talebi, $j \in N$

p_j j müşterisinin toplama talebi, $j \in N$

Karar değişkenleri

X_{ijk} k nolu araç i 'inci düğümden j 'inci düğüme gidiyorsa 1, gitmiyorsa 0

y_{ijk} k nolu araç i düğümünden j düğüme gittiğinde j düğüme gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarı

z_{ijk} k nolu araç i düğümünden j düğüme gittiğinde j düğüme gelene kadar araçta dağıtılacak yük miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Enk } Z = \sum_{k \in V} \sum_{j \in N} F_k X_{0jk} + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} V_k X_{ijk} C_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_0} X_{ipk} - \sum_{j \in N_0} X_{pjk} = 0 \quad \forall p \in N_0, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in V \quad (4)$$

$$y_{0ik} = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (5)$$

$$z_{0ik} = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{ijk} = p_j \quad \forall j \in N \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{ijk} = d_j \quad \forall j \in N \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} y_{0ik} = \sum_{i \in N} p_i \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} z_{0ik} = \sum_{i \in N} d_i \quad (10)$$

$$y_{ijk} + z_{ijk} \leq Q_k X_{ijk} \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (12)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (13)$$

$$z_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (14)$$

Modeldeki (1) numaralı amaç fonksiyonu araç kullanım maliyeti ve toplam seyahat maliyetinin toplamını en küçüklemeyi hedefler. (2) numaralı kısıt tüm düğümlerin sadece bir kez ziyaret edilmesini, (3) numaralı kısıt hizmet verilen düğümün aynı araç ile terk edilmesini sağlar. (4) numaralı kısıt her bir aracın sadece bir rotada yer almasını sağlar. (5) numaralı kısıt aracın topladığı yükü tur başında sıfıra

eşitlemektedir. (6) numaralı kısıt aracın dağıtım yükünü tur sonunda sıfıra eşitler. (7) numaralı kısıt araç tarafından toplanılan yükü araç rotası boyunca artarak izlemesini, (8) numaralı kısıt ise aracın dağıtım yükünün araçların rotası süresince azalarak izlemesini sağlar. (9) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasına dönüşte tur içinde topladığı yük miktar akışını; tur içinde yer alan düğümlerin toplam toplama taleplerine eşit olmasını sağlarken (10) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasından itibaren tur içinde dağıtılacak yük miktar akışını; tur içinde bulunan düğümlerin toplam dağıtım taleplerine eşit olmasını sağlar. (11) numaralı kısıt rota içindeki herhangi bir müşteride aracın kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. (12) numaralı kısıt karar değişkeninin 0-1 tamsayı değerini almasını sağlar. (13) ve (14) numaralı kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır.

IV. EZTDARP İÇİN ÖNERİLEN İKİ AŞAMALI ÇÖZÜM YÖNTEMİ

1980'lerde, ARP'lerin deterministik olmayan bir polinom-zaman (NP)-zor problemi olduğu kanıtlanmıştır [35]. Yani, optimal bir çözüm bulmak için, ARP'nin bir polinom denklem modeli doğrudan kullanılamaz. Bu nedenle, kesin bir algoritma ile bir çözüme ulaşmak, bazı durumlarda oldukça zor ve/veya imkansız olabilir. Ek olarak, bir ARP'nin çözüm süresi, kısıtlamaların sayısı arttığında katlanarak büyür. Bu nedenle, bu bölümde orta ve büyük boyutlu örnekleri çözmek için kullanılabilir bir iki aşamalı çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Aşama 1 (Kümeleme Analizi): Müşterilerin birbirlerine olan mesafeleri dikkate alınarak kümeleme analizi yöntemleri kullanılarak kümelenmesidir.

Aşama 2 (Rotalama): 1. Aşama sonucunda kümelenen müşteriler için en uygun dağıtım ve toplama rotalarının tam sayılı doğrusal programlama modeli ile oluşturulmasıdır.

Aşama 1: Kümeleme Analizi

Kümeleme, verinin benzer nesnelere oluşturulmuş gruplara bölünmesi işlemidir. Kümeleme işleminde küme içindeki elemanların benzerlik oranı yüksek, kümeler arası benzerlik oranı ise az olmalıdır. Bir kümeleme yönteminin gösterdiği performans bu prensibi ne derece sağladığıyla doğrudan ilişkilidir. Seçilecek kümeleme yöntemi veri tiplerine ve uygulamanın amacına göre farklılık gösterir [36].

Bu çalışmada kümeleme analizi yöntemleri olarak K-Means ve K-Medoids algoritmaları kullanılmıştır. Tablo 1'de en yaygın kullanılan kümeleme analizi yöntemleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Kümeleme analizi yöntemleri [37]

Kümeleme Analizi Yöntemleri				
Aşamalı	Model Bazlı	Yoğunluk Bazlı	Grid Bazlı	Bölümlemeli
1.Tek bağlantılı	1.Som	1.Dbscan	1.Sting	1.K-Ortalama
2.Tam bağlantılı	2.Conwep	2.,Denclue	2.Wave Cluster	2.K-Medoids
	3.Classfit	3.Clique	3.Optics	

4.1.1 K-Means kümeleme algoritması

1967 yılında J.B. MacQueen tarafından geliştirilen en eski kümeleme analizi çeşitlerinden biri K-Means algoritmasıdır. Algoritma daha çok büyük sayıdaki nesnelere küçük sayıda kümeler oluşturmak için kullanılmaktadır. Nesnelere her birinin rasgele biçimde kümelere atamaları yapılır. Sonrasında yapılan bu atamalar K-Means algoritması yardımı ile optimize edilir. K-Means algoritmasının sözde kodu Tablo 2’de verilmiştir [38]:

Tablo 2. K-Means algoritmasının sözde kodu

```

başla:
k küme sayısını belirle
Girilen k değeri kadar küme merkezi belirle
while (değişiklik varsa)
do
{
Küme merkezi dışında kalan verileri mesafelerine göre sınıflandır
Sınıflandırmaya göre yeni merkezler belirle
} end while

```

4.1.2 K-Medoids kümeleme algoritması

K-Medoids kümeleme algoritması K-Means kümeleme algoritmasının gürültülü ve aykırı değerlere karşı gösterilen aşırı duyarlılığını çözmek için 1990 yılında Kaufman ve Rousseeuw tarafından geliştirilmiştir. Algoritmada kümeyi temsil edecek noktayı bulmak için kümenin merkez noktasında yer alan eleman yeni küme merkezi olarak seçilir ve böylece bazı verilerin küme merkezini kaydırma olasılığı ortadan kalkmış olur. K-Medoids algoritmasının sözde kodu Tablo 3’te verilmiştir [39]:

Tablo 3. K-Medoids algoritmasının sözde kodu

```

başla:
k küme sayısını belirle
k adet kümenin başlangıç medoidlerini belirle
while (değişiklik varsa)
do
{
En yakın medoid x’e sahip kümeye, kalan nesnelere ata
Amaç fonksiyonunu hesapla
Tesadüfi olarak medoid olmayan y noktasını seç
Eğer x ile y’nin yer değiştirmesi amaç fonksiyonunu en aza indirecekse x ile y’nin yerini değiştir
} end while

```

4.2 Aşama 2: Rotalama

Bu aşamada amaç; 1. Aşamadan sonucunda elde edilen kümeler için en uygun dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulmasıdır. 1. Aşama sonucunda büyük boyuttaki müşteri kümesi küçük gruplara bölüneceğinden dolayı bölüm 3’te verilen EZTDARP için tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla optimal sonuçların bulunması mümkün olacaktır.

V. UYGULAMA

Ele alınan problem, merkez seçilen bir depodan müşterilerin taleplerine göre haftalık dağıtım hizmeti verirken eş zamanlı olarak toplama hizmetinin de gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Müşterilere yapılan dağıtım ve toplama operasyonu sadece hafta içi günlerde gerçekleştirilmektedir. Merkez olarak belirlenen depodan 78 müşteriye hizmet verilecektir. Şubelerin geçmiş üç aylık taleplerinin ortalamaları alınarak 21 haftalık dağıtım ve toplama talep verileri elde edilmiştir. Hizmet verirken kullanılacak araçların kapasitesi eşit olup 40 birimdir. Problemden sevkiyat yapılacak müşteriler dağıtım müşterisiyken aynı zamanda da toplama müşterisidir. Kat edilen rotalarda müşterilerin, dağıtım talepleri ile toplama taleplerinin tümü karşılanmalı ve ziyaret edilen her rotada müşterilerden toplanacak yük miktarı ve müşterilere dağıtılacak yük miktarının toplamı, aracın kapasitesini aşmamalıdır.

Ele alınan problemin 1. haftadaki talep miktarları dikkate alınarak detaylı çözümü aşağıda verilmiştir.

5.1 Aşama 1: Kümeleme Analizi

5.1.1 K-Means kümeleme algoritması ile kümeleme

K-Means algoritması, rastgele seçilen k adet merkez noktaya başlar. Kümelerin içindeki her veri kendisine en yakın kümeye atanır. Eğer kümelerin merkezlerinde değişiklik yoksa algoritmaya son verilir. Çalışmada k için çeşitli değerler verilerek birçok deneme yapılmıştır. Denemeler sonucunda k=11 değerinin verilmesiyle daha iyi sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir. 78 adet müşteri, küme içi benzerlikler maksimum, kümeler arası benzerlik minimum olacak şekilde 11 adet kümede sınıflanmıştır.

Tablo 4'te K-Means kümeleme algoritmasına göre kümeleme sonucu her kümenin sahip olduğu müşteriler ve müşterilerin dağıtılacak ve toplanacak toplam ürün talepleri yer almaktadır.

Tablo 4. K-Means kümeleme algoritmasına göre sınıflanmış müşterilerin dağıtım ve toplama talepleri

Küme	Müşteriler	Müşterilerin Toplam Dağıtım Talepleri	Müşterilerin Toplam Toplama Talepleri
1	20-21-22-23-25-28-31-33-36-38-39-41-42-44-45-46	148	124
2	17-18-32-34-35-37-40-43-47-48	92	92
3	66-67-68-69-70-71-73	65	68
4	49-50-51	36	36
5	1-2-4-5-6	54	52
6	30-52-53-54-55-56-57	66	64
7	72-74-75-76-77-78	51	54
8	7-8-9-10-11	66	66
9	58-59-61-62	40	40
10	60-63-64-65	40	42
11	3-13-14-15-16-19-24-26-27-29	88	86

5.1.2 K-Medoids kümeleme algoritması ile kümeleme

K-Medoids algoritmasında, K-Means algoritmasında olduğu gibi rastgele seçilen k adet sayıyı küme merkezi olarak alınır. Kümeyi temsil edecek olan noktayı bulmak için kümenin en merkez noktasında yer alan elemanı yeni küme

merkezi olarak alır. K sayısının değeri için yapılan çeşitli denemeler sonucunda k=11 değerinin diğer denemelerden daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tablo 5'te K-Medoids kümeleme algoritmasına göre kümeleme sonucu her kümenin sahip olduğu müşteriler ve müşterilerin dağıtılacak ve toplanacak toplam ürün talepleri yer almaktadır.

Tablo 5. K-Medoids kümeleme algoritmasına göre sınıflanmış müşterilerin dağıtım ve toplama talepleri

Küme	Müşteriler	Müşterilerin Toplam Dağıtım Talepleri	Müşterilerin Toplam Toplama Talepleri
1	17-18-20-22-23-25-36-38-41-42-44-45-46-55	112	110
2	16-19-21-26-27-28-31-33-39-40-43-47-48	112	112
3	66-67-68-69-70-71-73	65	68
4	30-50-51-52-53-54-56-57	86	84
5	1-2-3-4-5-6	68	66
6	74-76	18	20
7	72-75-77-78	33	34
8	7-8-9-10-11-12	66	66
9	49-58-59-61-62	48	48
10	60-63-64-65	40	42
11	13-14-15-24-29-32-34-35-37	76	74

5.2 Aşama 2: Rotalama

Bir önceki aşamada sırasıyla K-Means ve K-Medoids algoritmalarına göre kümelenen müşterilerin dağıtılacak ve toplanacak ürün miktar bilgileri ile birlikte, kurulan tam sayılı doğrusal programlama modeli ile araç rotaları oluşturulmuştur.

Tablo 6'da K-Means algoritmasına göre, Tablo 7'de K-Medoids algoritmasına sınıflanmış müşterilere ait rota ve maliyet bilgileri yer almaktadır.

Problemin 21 haftalık talep verileri dikkate alınarak K-Means ve K-Medoids algoritmaları ile çözümü sonucunda elde edilen toplam maliyetler ve algoritmaların CPU süreleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 6. K-Means kümeleme algoritmasına göre sınıflanan müşterilere hizmet eden araçların rota ve maliyet bilgileri

Küme	1.Araç Rota	2.Araç Rota	3.Araç Rota	4.Araç Rota	5.Araç Rota	6.Araç Rota	Maliyetler (TL)
1	79-20-79	79-39-21-25-33-79	79-42-22-79	79-28-23-79	79-36-46-44-38-41-79	79-45-31-79	26540
2	79-47-43-48-40-79	79-35-32-37-34-79	79-17-18-79	-	-	-	14380
3	79-70-66-68-79	79-71-67-73-69-79	-	-	-	-	8530
4	79-50-51-49-79	-	-	-	-	-	3885
5	79-2-6-5-79	79-1-4-79	-	-	-	-	7970
6	79-52-55-30-56-79	79-57-54-53-79	-	-	-	-	8340
7	79-78-72-77-75-79	79-76-74-79	-	-	-	-	9845
8	79-11-12-10-79	79-7-9-8-79	-	-	-	-	10500
9	79-58-61-59-62-79	-	-	-	-	-	3335
10	79-63-60-79	79-65-64-79	-	-	-	-	3905
11	79-26-29-19-3-79	79-15-27-16-79	79-13-24-14-79	-	-	-	14740

Tablo 7. K-Medoids kümeleme algoritmasına göre sınıflanan müşterilere hizmet eden araçların rota ve maliyet bilgileri

Küme	1.Araç Rota	2.Araç Rota	3.Araç Rota	Maliyetler (TL)
1	79-55-42-45-18-17-79	79-25-38-44-41-22-79	79-20-46-23-36-79	13410
2	79-28-19-33-27-40-79	79-26-16-21-39-79	79-47-43-48-31-79	14440
3	79-70-66-68-79	79-71-67-73-69-79	-	8530
4	79-56-30-57-52-79	79-53-54-51-79	79-50-79	12240
5	79-2-3-1-79	79-5-6-4-79	-	8255
6	79-76-74-79	-	-	4810
7	79-78-72-77-75-79	-	-	5035
8	79-11-12-10-79	79-7-9-8-79	-	10500
9	79-58-79	79-61-59-62-49-79	-	6390
10	79-63-60-79	79-65-64-79	-	3905
11	79-37-34-32-35-79	79-13-24-14-79	79-29-15-79	14635

Tablo 8. Kümeleme algoritmalarına göre toplam maliyet bilgileri ve CPU süreleri

Hafta	K-Means Algoritması Toplam Maliyet (TL)	CPU Süresi (dk)	K-Medoids Algoritması Toplam Maliyet (TL)	CPU Süresi (dk)
1	119970	14,2	102150	14,6
2	109886	15	103155	15,4
3	111795	15,1	111575	15,5
4	108800	14	116040	14,2
5	108190	16,4	111765	15
6	112775	13,5	120450	13,9
7	126134	14,1	111990	14,5
8	113870	14,6	117295	14
9	108695	14,2	138775	14,6
10	108070	15,9	107925	16,3
11	111105	13,8	114395	13
12	115760	13,5	118885	13,9
13	119395	13,7	102630	14,1
14	113330	15,6	116135	15,3
15	115324	14,5	106410	14,3
16	107645	13	107645	13,4
17	114620	13,4	116165	13,1
18	108210	15,8	114920	16,1
19	110215	15,6	115605	15
20	111845	14,1	114950	14,5
21	111935	14,2	112475	14,6

5.3 ANOVA Testi

ANOVA, iki veya daha fazla değişken ortalamalarının karşılaştırılmasında kullanılır. Tablo 8’de yer alan verilere varyans analizi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen çıktılar belirtilmiştir. Yapılan çalışmada;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ hipotezi K-Means ve K-Medoids algoritmalarına göre elde edilen maliyetlerin ortalaması aynı olduğu varsayımında bulunur.

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ hipotezi ise K-Means ve K-Medoids algoritmalarına göre elde edilen maliyetlerin ortalaması farklı olduğu varsayımında bulunur.

Varyans analizi uygulama sonucunda analiz edilecek ilk nokta varyansların homojenlik durumudur. Tablo 9’da bulunan Sig. değeri 0,374 > 0,05 olduğu için değişken varyanslarının homojen olduğu anlaşılmaktadır. Değişken varyansları homojen olması Tablo 10’da bulunan F testinin sonuçlarını doğrulayacaktır. Anova testi sonucunun bulunduğu tablodaki Sig. değeri 0,519 > 0,05 olmaktadır. Bu durumda H_0 hipotezi kabul edilmektedir. H_0 hipotezinin kabulü ile iki algoritmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında istatistiksel olarak bir fark olmadığı söylenebilmektedir. Tablo 11’de ise üzerinde çalışılan problem için kullanılan algoritmaların çözümünden elde edilen toplam maliyetlerin

ortalaması bulunmaktadır. 1 numara K-Means algoritmasını temsil ederken, 2 numara ise K-Medoids algoritmasını göstermektedir. Toplam maliyetlerin ortalaması, K-Means algoritmasına göre 112420,86 TL iken K-Medoids algoritması için 113717,43 TL elde edilmiştir. Ulaşılan bilgiler ışığında iki algoritmanın benzer performanslarda çalışarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 9. Varyans değerlerinin homojenlik test sonuçları

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,807	1	40	,374

Tablo 10. Anova testi sonuçları

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	17651523,429	1	17651523,429	,424	,519
Within Groups	166.402.0763,714	40	41600519,093		
Total	168.167.2287,143	41			

Tablo 11. Tanımlayıcı istatistikler

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	21	112420,86	5093,724	1111,542
2	21	113717,43	7566,704	1651,190
Total	42	113069,14	6404,405	988,221
Model				
Fixed Effects			6449,846	995,233
Random Effects				995,233a

VI. SONUÇ

Günümüzdeki işletmelerin en önemli hedefleri arasında, müşterilerin isteklerine uygun üretilen ürünlerin hizmeti sağlanırken memnuniyeti en üst düzeye çıkarılması aynı zamanda taşıma maliyetlerinin en az seviyeye indirilmesi yer almaktadır. Amaçların gerçekleştirilebilmesi için araç rotalama probleminin verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Araç rotalama problemleri talep edilen ürünlerin depolardan müşterilere taşınması için en uygun rotaların belirlenmesi problemidir. Gün geçtikçe üretim kaynaklarının hızla tükenmesi ile beraber geri dönüşüm faaliyetleri önem kazanmaya başlamıştır. EZTDARP, müşteri talepleri doğrultusunda merkez depodan temin edilen ürünlerle müşterilere hizmet verilirken, müşterilerin iade ettiği ürünler depoya gönderilmesini içermektedir. Dağıtım yapılacak ve toplanacak ürünlerin aynı araçlara yerleştirilerek kullanılan araç sayısını ve toplam kat edilen mesafeyi en aza indirecek araç rotalarının belirlendiği problem çeşididir.

Çalışmada, merkez seçilen bir depodan müşterilere taleplerine göre haftalık dağıtım hizmeti verirken eş zamanlı olarak toplama hizmetinin de gerçekleştirildiği rotalama

problemi ele alınmıştır. Ele alınan EZTDARP iki aşamalı olarak çözülmüştür. Problemin çözümünün ilk aşamasında müşteriler K-Means ve K-Medoids algoritmaları ile kümelendirilmiştir. İkinci aşamada ise 1. Aşama sonucunda kümelenen müşteriler için en uygun dağıtım ve toplama rotaları, toplam maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan bir tam sayılı doğrusal programlama modeli kurularak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır. Toplam maliyetlerin ortalaması, K-Means algoritmasına göre 112420,86 TL iken K-Medoids algoritması için 113717,43 TL elde edilmiştir. Ulaşılan bilgiler ışığında iki algoritmanın benzer performanslarda çalışarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bu çalışmada ileri sürülen çözüm yaklaşımının gerçek hayat problemlerinde etkin bir şekilde uygulanabileceği düşünülmektedir. Gerçek hayatın içinde, taleplerin sürekli değişimine karşılık, bu çalışmada önerilen yaklaşım ile, yeni kümeler (eğer gerekiyor ise) oluşturulmakta ve bu küme içindeki müşterilere ulaşmak içinde takip edilecek yeni rotalar yeniden düzenlenebilmektedir. Böylece firma için uygulanacak yeni dağıtım ve toplama politikaları makul derecede kısa sürede (ortalama 15 dakika) belirlenebilmektedir. Bu da bize önerilen yaklaşımın dinamik rotalama özelliğinin gerçek problemlerin çözümüne ne denli uygun olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Göksal, F.P., Karaoglan, İ., & Altıparmak, F. (2013). A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 39-53.
- [2] Çalış, A., & Baynal, K. (2016). Kümeleme analizi ile bankacılık sektöründe satış stratejilerinin belirlenmesi, *Beykent Üniversitesi. Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 13 – 41.
- [3] Laporte, G., & Semet, F. (2002). Classical heuristics for the capacitated VRP. In: *The vehicle routing problem*, P. Toth ve D. Vigo (ed.), SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM, Philadelphia, s. 109-128.
- [4] Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12, 568-581.
- [5] Zachariadis, E.E., Tarantilis, C.D. & Kiranoudis, C.T. (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service. *Expert System with Applications*, 36(2), 1070-1081.
- [6] Min, H. (1989). The Multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377-386.

- [7] Dell'Amico, M., Righini, G. & Salani, M. (2006). A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. *Transportation science*, 40(2), 235-247.
- [8] Subramanian, A., Uchoa, E., Pessoa, A.A. & Ochi, L.S. (2011). Branch-and-cut with lazy separation for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Operations Research Letters*, 39(5), 338-341.
- [9] Wang, H.F. & Chen, Y.Y. (2012). A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 84-95.
- [10] Subramanian, A., Uchoa, E., Pessoa, A. & Ochi, L. (2013). Branch-cut-and-price for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Optimization Letters*, 7(7), 1569-1581.
- [11] Dethloff, J. (2001). Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. *OR Spectrum*, 23, 79-96.
- [12] Crispim, J. & Brandao, J. (2005). Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 1296-1302.
- [13] Nagy, G. & Salhi, S. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162, 126-141.
- [14] Chen, J. (2006). Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pick-ups. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(2), 141-150.
- [15] Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 171, 750-775.
- [16] Erbao, C., Minygyong, L. & Kai, N. (2008). A differential evolution and genetic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and time Windows. *Proceedings of the 17th World Congress the International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, 6-11 Haziran.
- [17] Ai, J., & Kachitvichyanukul, V. (2009). A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Operations Research*, 36(5), 1693-1702.
- [18] Gajpal, Y., & Abad, P. (2009). An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. *Computers & Operations Research*, 36, 3215-3223.
- [19] Zachariadis, E.E., Tarantilis, C.D., & Kiranoudis, C.T. (2009). A Hybrid Metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service. *Expert System with Applications*, 36, 1070-1081.
- [20] Catay, B. (2010). A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37, 6809-6817.
- [21] Cetin, S., & Gencer, C. (2010). Kesin zaman pencereli eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 579-585.
- [22] Mingyong, L., & Erbao, C. (2010). An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries and time Windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 188-195.
- [23] Zachariadis, E., Tarantilis, C.D., & Kiranoudis, C.T. (2010). An adaptive memory methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 202, 401-411.
- [24] Goksal, F. P., Karaoglan, İ., & Altıparmak, F. (2013). A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Computer Industrial Engineering*, 65, 39-53.
- [25] Li, J., Pardalos, P.M., Sun, H., Pei, J., & Zhang, Y. (2015) Iterated local search embedded adaptive neighborhood selection approach for the multi-depot vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3551-3561.
- [26] Kaya, C. (2017). Eş Zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi için karınca koloni sistemi ile güçlendirilmiş değişken komşuluk arama algoritması. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.*
- [27] Zhua, L., & Sheub, J.B. (2018). Failure-specific cooperative recourse strategy for simultaneous pickup and delivery problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 271, 896-912.
- [28] Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., & Parthiban, P. (2010). Optimization of non-linear multiple traveling salesman problem using k-means clustering, shrink wrap algorithm and meta-heuristics. *International Journal of Nonlinear Science*, 9(2), 171-177.
- [29] Çalışkan, K. (2011). Karınca kolonisi optimizasyonu ile araç rotalama probleminin maliyetlerinin kümeleme tekniği ile iyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye.*
- [30] Şen, T. (2014). Kümeleme ve genetik algoritma destekli yaklaşımlarla kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü: perakende zincirinde uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye.*
- [31] Boyzer, Z., Alkan, A., & Fıçlalı, A. (2014). Cluster-first, then-route based heuristic algorithm for the solution of capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Informatics Technologies*, 7, 29-37.
- [32] Cömert, S.E., Yazgan, H.R., Sertvuran, İ., & Şengül, H. (2017). A new approach for solution of vehicle routing problem with hard time window: an application in a supermarket chain. *Sādhanā*, 42(12), 2067-2080.
- [33] Ünsal, Ö., & Yiğit, T. (2018). Yapay zeka ve kümeleme teknikleri kullanılarak geliştirilen yöntem ile okul servisi rotalama probleminin optimizasyonu. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 7-20.

- [34] Montane, F.A.T., & Galvao, R.D. (2006). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Computers & Operations Research*, 33, 595–619.
- [35] Lenstra, J.K., & Kan, A.H.G. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2), 221–227.
- [36] Sarıman, G. (2011). Veri madenciliğinde kümeleme teknikleri üzerine bir çalışma: k-means ve k-medoids kümeleme algoritmalarının karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 192-194.
- [37] Grabmeier, J., & Rudolph, A. (2002). Techniques of cluster algorithms in data mining. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(4), 303-360.
- [38] MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1, 281-297.
- [39] Kaufman, L., & Rousseeuw, P.J. (1990). *Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis* (1. Baskı). Wiley Series in Probability and Statistics.

Determination of Major Problems of Raw Hide and Soaking Process in Leather Industry

Deri Endüstrisinde Ham Deride ve İslatma İşleminde Karşılaşılan Başlıca Sorunlarının Belirlenmesi

Didem BERBER¹, Meral BİRBİR¹

¹Marmara University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Istanbul, Turkey

Abstract

Hide quality is adversely affected during salt-curing and soaking processes especially due to bacterial activities of microorganisms. These organisms may cause irreversible grain damage, pinpricks, disruption of collagen fibers, uneven dyeing that cannot be recovered by leather production process. To determine major problems on salted and soaked skins/hides, a questionnaire study was applied to leather technicians in Istanbul Organized Leather Industrial Zone, Turkey in both 2009 and 2018. While most tanneries were processing hides/skins imported from foreign countries in 2009, local cattle hides are processed in 2018. Conventional salt curing method has been applied in warehouses. The most striking point is that the salt was applied randomly during preservation. Although tanneries do not store rawhide more than one month, there is no information about how long they store in warehouses. The tanneries reported red spots, unpleasant odor, hair slip, loss of elasticity, holes in grain surface, bacterial and fungal growth on skin/hides. Leather-making processes are performed at ambient temperature of tanneries. No difference was observed in application of soaking process in both 2009 and 2018 surveys. This questionnaire study showed that most of problems were related with microbial damage and bloodstain, burns due to manure and flaying mistakes at slaughterhouses.

Keywords: skins, hides, leather, questionnaire.

Öz

Derinin kalitesi, özellikle mikroorganizmaların bakteriyel aktivitelerinden dolayı tuzla kütleme ve ıslatma işlemlerinde olumsuz etkilenmektedir. Bu organizmalar çoğunlukla sonraki deri işleni safhalarında düzeltilemeyen geri dönüşümsüz sırça hasarına, sırça yüzeyinde küçük deliklere, kollajen liflerinin bozulmasına, düzensiz boyamaya neden olabilmektedir. Tuzlanmış ve ıslatılmış küçükbaş ve büyükbaş derilerindeki önemli problemleri belirlemek için, hem 2009 hem de 2018'de İstanbul Organize Deri Sanayi Bölgesi'ndeki deri teknisyenlerine anket uygulanmıştır. Tabakhanelerin 2009 yılında yabancı ülkelerden ithal edilen derileri/postları işlediği, 2018'de ise yerli sığır derilerinin işlendiği saptanmıştır. Ham deri depolarında geleneksel tuzlama yöntemi uygulandığı belirlenmiştir. En dikkat çeken nokta ise, ham derilerin muhafazası sırasında tuzun rastgele uygulanmasıdır. Tabakhaneler ham deriyi bir aydan fazla depolamamasına rağmen, ham deri depolarında ne kadar süre depolandıkları hakkında bilgi yoktur. Tabakhaneler deride kırmızı leke, kötü koku, kıl gevşemesi, elastikiyet kaybı, sırça yüzeyindeki delik, bakteri ve mantar oluşumu bildirmiştir. Deri işleni basamakları, tabakhanelerin ortam sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Hem 2009 hem de 2018 yıllarında yapılan anketlerde ıslatma işleminin uygulanmasında bir fark gözlenmemiştir. Bu anket çalışması, dericilikte karşılaşılan problemlerin çoğunun mikrobiyal hasar, kan lekesi, gübre yanığı ve mezbahalarda yapılan hatalar ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: küçük baş hayvan derileri, büyük baş hayvan derileri, işlenmiş deri, anket

I. INTRODUCTION

Leather and leather goods are one of the most commodities that contribute to the global economy (1). Therefore, leather industry has a great economic importance in numerous developing countries due to many socio-economic aspects, such as

advanced employability, economic prosperity and rural development. Leather goods are commonly used products in ready-made garment (especially footwear and bags), book-binding, automotive industry and furniture covering (2,3). In Turkey, leather industry is an export-oriented sector that produces and exports high quality of products with high added value to the world market especially to Russia, Italy, Germany, Iraq, England, France, Spain, Romania, Bulgaria and Saudi Arabia. The tanneries that process hides or skins are located in organized leather industrial zones in Istanbul-Tuzla, Tekirdag-Çorlu, Bursa, Uşak, Manisa, Denizli, Balıkesir-Gönen and Bolu-Gerede (4,5). According to the report of Istanbul Textile and Apparel Exporters' Associations (ITKIB) on Leather and Leather Product Sector (2018), the total export value of Turkey in leather and leather product increased an average annual rate of 25.3 % from 2017 to 2018. Turkey's exports in the leather products were estimated to reach US\$ 145.2 billion (5).

Leather industry in Turkey aims to meet leather demand of the country, contribute to economy by exporting, and develop to produce best quality of leather at the maximum level by using modern technologies. While there has been a significant decline in the number of manufacturers of leather tanning and processing since 2005, large companies have been able to survive (6). In most of the tanneries (more than 90%), maximum 20 people have been reported to work. It is obvious that this export potential of Turkish leather industry may be developed by resolution of pre-and post-slaughterhouse problems and application of modern technologies in future. Therefore, the most important point in the development of leather industry is the production of high quality product. Nevertheless, several problems such as holes resulting from a knife or flaying process, poor appearance due to distortion during drying because of uneven tension, vein marks where the blood was not completely drained, post-slaughter defects originating from bacterial and enzymatic breakdown due to improper curing, machine damage, lack of skills, absence of suitable conditions in modern abattoirs and grain crack which are affecting quality of product adversely during leather making processes are reflected on finished products and lead to economic losses (7).

Hides (cattle, buffalo, camel and horse) or skins (sheep, goat and calf) are mainly by-products of the meat and dairy industries. Since hides or skins are effective barriers against harmful bacteria throughout lifespan of an animal, flaying leads to removal of this protection. Therefore, it is necessary to preserve hides/skins after flaying against possible bacterial activities in slaughterhouses up to tanning processes. It has been reported that between 15 and 24 hours due to

applied improper preservation, loosening of hides/skins and peeling on grain surfaces are inevitable (8-10).

Flaying is performed by a machine in slaughterhouses or by using a knife in local regions. Due to the flaying mistakes, economic losses have been reported up to 50% (11). Mwinyijah and Magero (2009) emphasized the significance of post-slaughter activities in leather quality and they reported at least 60% defects of hides and skins are related with post-slaughter processes due to handling and preservation mistakes (12). Blood, moisture, dirt and temperature etc. provide excellent milieu for microorganisms to grow which then lead to putrefaction of hides/skins. The raw hides/skins contain water more than half of their weight and this high water and protein content also trigger the growth of putrefactive bacteria (8, 13-17).

High-quality leather depends on the quality of raw hides/skins (7). After removal of animal pelt from carcass, it is preserved by dry salt or brine curing processes. Salt curing application is a cost-effective preservation method which is used traditionally in many countries including Turkey (10-18). It has been indicated that raw hides have to be salted with 40-50% salt (19). Although dry salt application controls development of resident or transient populations of microorganisms on hides/skins, this preservation method cannot prevent completely the growth of salt tolerant bacteria, slightly and halophilic bacteria and extremely halophilic archaea on the hides and skins. Salted hides/skins are a unique habitat for a wide variety of Gram positive and Gram negative bacteria and these opportunistic bacteria can attack easily to grain surface and flesh side of hides/skins via their extracellular enzymes (10, 18, 20-27). Especially proteolytic and lipolytic archaea have may cause red heat, unpleasant odour, pinpricks, disruption of collagen fibers, hair loosening, hair loss, hole formation, irreversible damage on grain surface of skins/hides, abraded appearance, uneven dyeing etc. This penetration cause to putrefaction and hair slips following digestion of proteins of hides or skins (9, 20, 28). Therefore, grain surface has a great importance for leather processing. Therefore, sufficient sterile salt and antimicrobial agent are required to completely saturate hides to stop microbial growth.

The soaking process, which is the first important stage in the tanning process, is applied to salted or brine-cured hides and skins. The dry salt cured hides are soaked in water for a long time varying between tanneries. This process allows rehydration of hides/skins and they become more soft and flexible. In previous studies, a considerable number of bacteria were found in soaked hides, and soak liquor samples,

probably due to preservation and soaking process mistakes (10, 20-31).

Therefore, it is necessary to determine encountered problems by tanners in detail and to produce economic solutions. For this purpose, we applied a questionnaire (28 questions) to leather technicians in Istanbul Organized Leather Industrial Zone, Turkey in both 2009 and 2018 to determine major problems and technical procedures on salted and soaked skins/hides.

II. MATERIAL AND METHODS

A questionnaire including 28 questions was prepared to determine the problems in preservation and soaking processes of skins/hides. The prepared questionnaire was applied face-to-face to leather technicians in twenty five tanneries in 2009 and ten tanneries 2018, in Istanbul Organized Leather Industrial Zone, Turkey. We could perform the questionnaire in only ten tanneries in 2018 due to decrease in the number of tanneries in Istanbul Organized Leather Industrial Zone. The collected data were compared according to the years (2009 and 2018). The applied questionnaire is given below.

A Questionnaire

Various problems arising during leather processing are reflected in the finished product and cause economic losses by affecting leather quality adversely. This questionnaire was carried out in order to determine the problems frequently encountered in the leather industry and to solve these problems scientifically. Our main objective in this survey is to solve the problems in the leather industry within the framework of University-Industry cooperation. The questionnaire containing following questions were used in this study.

1. How many years have you been working in the leather industry?
2. What kind of animal do you process?
 Cattle Lamb Sheep Other (.....)
3. Are you processing the imported hides/skins from foreign countries? If your reply yes please write the name of countries.
 Yes No
4. How long do you store hides/skins before processing?
 0-1 months 1-3 months 3-6 months
 6-12 months over 12 months.
5. What is the storage temperature?
 0-10 ° C 10-20 ° C 20-30 ° C I do not know
6. Do you utilize used salt in curing process of hides and

skins?

Yes No

7. Do you use brine solution more than once for brine-curing preservation of hides/skins?

Yes No

8. Do you use antimicrobials during salting of hides/skins? If you use, can you write the names and content of active ingredients?

Yes No

9. Are you applying salt curing method in your tannery or are you taking salted raw hides/skins?

Yes No

If your answer yes to question 9, answer the questions 10, 11 and 12 below. Otherwise, continue to answer Question 13 and following questions.

10. Where do you get hide and skin curing salt?

11. How much salt do you use for salt curing?
(In kg amount per a hide/skin)

12. Have you observed any color change in the salt used?
(eg pink or yellow color instead of white)

Yes No

13. Which preservation method was used for your raw materials?

Dry salt curing method Brine curing method

14. Do you do fleshing process (removing hypodermis (fat) from hides/skins)?

Yes No

15. What changes have you observed on the salted skins and hides?

Red heat Bad odor Hair loosening Stains

Degradation of flexibility Holes

Bacterial development Fungi development

16. How long do you apply soaking process?

0-6 hours 6-12 hours 12-18 hours 18-24 hours
 over 24 hours.

17. Does the temperature of the soaking liquor increase at the end of the process?

Yes 20–25 °C 25–30 °C No

18. How much is the volume of the soaking drum?

19. How much water and hide/skin do you use in the soaking drum?

20. What else do you add into the soaking drum?

21. Do you use antimicrobial agent in the soaking drum?

22. What type of antimicrobial agent (fungicide or

bactericide)do you use in the soaking process, what are names and ingredients of it?

23. How much antimicrobial agent do you add into the soaking drum?

24. Did you observe bad odor in the soaking drum?

Yes No

25. What is temperature of soaking liquor?

26. What is the pH of soaking liquor?

27. What are the problems detected in the finished product?

Hole formation Stain formation Dyeing problems

Other (.....)

28. What are the other issues you observed that are not included in this questionnaire?

III. RESULTS AND DISCUSSION

A number of problems encountered during the processing of raw hides/skins are reflected in the finished products and affect the quality of product adversely which lead to economically serious losses. For this reason, it is necessary to determine the problems encountered in the leather industry and to solve these problems. Hence, we applied two questionnaires in 2009 and 2018 to determine whether or not any change in problems of leather industry according to years. It was determined that majority of leather technicians that we interviewed (72% in 2009 and 90 % in 2018) worked in the leather industry for more than 10 years. This result indicates that highly qualified technicians are working in leather industry. While the most processed hides/skins in the tanneries were cattle, sheep, lamb and goat in 2009, most tanneries used cattle hides in 2018. This may be attributed to its usage in the world market, economic reasons, decreased preference of leather by people, increased interest in artificial leather production etc. People cannot afford buying leather and leather goods due to their high prices, especially in developing countries. In addition, fur production has lost its popularity due to protection of animal rights. It was observed that 92% of the tanneries prefer hides/skins from foreign countries and most preferred country is Greece (n=7), followed by the U.K. (n = 4) and America (n = 4). It has been determined that the majority of hides/skins (83%) comes from abroad in 2009. On the other hand, the tanneries reported that they generally process local cattle hides from Turkey but sometimes imported hides from Armenia, Turkmenistan, Kazakhstan, Kenya, Azerbaijan, Iraq, Serbia, America, and rarely from Russia in 2018. In 2009, 20% (1-3 months) and 4% (6-12 months) of tanneries were storing raw hides more than one month. In 2018, all tanneries reported that they do not store

raw hides more than one month. However, there is no information about how long they store in warehouses. The long storage period may cause problems on raw hides and skins due to bacterial growth. It has been reported that halophile and non-halophile microorganisms may cause serious damages on salted skins/hides (9, 28, 32). In previous studies, a considerable number of non-halophile and halophile bacteria and archaea were found in salted and soaked hides, and soak liquor samples, probably due to preservation and soaking processes mistakes. *Bacillus. licheniformis*, *B. pumilus*, *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas luteola*, *Aerococcus viridans*, *Bacillus mycoides* and *Staphylococcus cohnii* were reported to have both protease and lipase activities (10, 11, 21, 22, 26). Aslan et al. (2011, 2012) reported the growth of several Gram-positive bacterial species belonging to the genera of *Aerococcus*, *Aneurinibacillus*, *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Enterococcus*, *Geobacillus*, *Kocouira*, *Lactococcus*, *Paenibacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* and *Virgibacillus* and Gram-negative bacterial species belonging to the genera of *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Burkholderia*, *Citrobacter*, *Comamonas*, *Edwardsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Mannheimia*, *Pasteurella*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Serratia*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas*, *Vibrio* and *Yersinia* from salted hides indicating that salt curing process were not sufficient (10, 22). These damages are mostly irreversible and cannot be ameliorated in following stages of tanning. While salt-curing, brine-curing and both methods were being used in 2009, only salt-curing method is used in 2018. The reason for application of only salt-curing method in 2018 is that it is a traditional method for our country. According to our questionnaire results, we have determined that most tanneries do not prefer imported hides/skins in 2018. On the other hand, brine-curing method is generally preferred in other countries. We determined that salt and brine which have used for hide/skin preservation are not used more than once in both 2009 and 2018.

When the application of antimicrobial agent was asked to apply to skin technicians during the salt-hardening process, it was determined that the percentage of antimicrobial users was 36% and that of non-users was 64% in 2009. On the other hand, it was reported in 2018 that tanners did not use antimicrobial agents. This result emphasizes that salt-curing method must be applied properly in warehouses. The most striking point is that salt is applied non-homogeneously during hide preservation but sufficient salt should be applied to raw hides and skins for complete saturation to inhibit bacterial growth. It has been indicated that raw hides should be salted with 30-50% salt. In our previous study (25), we isolated proteolytic and lipolytic extremely halophilic archaea

(10^5 - 10^6 cfu/g) from the salted hide samples in considerable numbers. We observed proteolytic and lipolytic extremely halophilic archaea in the most samples of salt and salted hides. We found that archaeal counts were low (10^2 - 10^4 cfu/g) in the salt samples whereas they were high in the salted hides (10^2 - 10^6 cfu/g) (25). These results points to inadequate salt-curing application. Therefore, brine-curing method applied together with antimicrobial agent may diffuse homogeneously into raw hides/skins and prevent the growth of non-halophile and halophile bacteria.

The tanners stated that commercially available mineral salt is used for skin/hide preservation and origin of salt is Lake Tuz. No color change (pink etc.) in salt, used in hide preservation, was reported by tanneries. Pink or red color in salt are related to the growth of halophilic archaea. It has been emphasized that salt must be free of copper salts and free of halophile microorganisms to prevent stains on the skin (33). Birbir et al. (2004) evaluated the extremely halophilic archaeal numbers of salt samples harvested from Tuz Lake, Kaldırım, Kayacık Salterns, and Tuzköy Mine and reported as 10^4 - 10^7 cfu/g, 10^5 - 10^7 cfu/g, 10^5 cfu/g, and 10^5 - 10^6 cfu/g, respectively. They also studied on brine samples that collected from same locations mentioned above and they found 10^3 - 10^5 cfu/mL extremely halophilic archaea. These microorganisms had also proteolytic and lipolytic activities (34). Therefore, salt must be regularly checked for any color change to avoid microbial damages originating from halophilic archaea.

Moreover, fleshing is critical importance for salt penetration into the hide. If fleshing is not done, antimicrobial agent cannot be effective on skin/hide due to fat layer and other residues on soaking process. In our country, fleshing is performed after liming process and not on raw hide. Meat on raw material means to be enriched nutrient for microorganisms. Therefore, microbial growth and their possible damages on leather is inevitable. In 2009, most of 25 tanneries supplied salted hides/skins from warehouses except 5 tanneries. Three of 25 tanneries reported that they used extra salt for preservation. On the other hand, 17 of 25 tanneries did not apply extra salt on salted hides. In 2018, we determined that tanners process salted hides directly without adding extra salt application. When amount of salt applied by tanneries for salt-curing preservation of hides was asked in 2009 and 2018, it was detected that salt application varied between tanneries (5 of 8 tanneries applied salt randomly, 1 of 8 tanneries 4 ± 1 kg per each hide, 1 of 8 tanneries $1/3$ of skin weight, and 1 of 8 tanneries $1/5$ of the skin weight).

We determined that the soaking process was generally carried out for 12-18 hours in tanneries in both 2009 and

2018. This process time can vary according to countries and preservation methods. The researchers have stated that duration of soaking process should be at least 1.5 hours and maximum 48 hours (13, 35). The duration of the soaking process should not be too long. Bacteria secrete a variety of extracellular enzymes, leading to damage in skins/hides. They break down proteins on the skin with protease enzymes, fats with lipase enzymes, and collagen fibrils with collagenase enzymes. On the other hand, the generation time of most bacteria in ambient conditions can range from 0.5 to 6 hours (36). Taken into consideration of generation time of bacteria, it is inevitable that bacteria in soak liquor will reach a significant number within 12-18 hours. The efficacy of antimicrobial agent does not remain after a certain period of time. In our previous study, proteolytic and lipolytic bacteria (10^5 - 10^8 cfu/g) were substantially high in 97% of the soaked hide samples and they were high only in 42% of the soak liquors (10^5 - 10^6 cfu/g). Therefore, it is essential to add antimicrobial agent to soak liquor at regular intervals in this long soaking process (27). In soaking process, a wide variety of chemicals are used such as bactericides, enzymes, soda, surfactants (tensid = soap) etc. The surfactants may have anionic, nonionic, cationic and amphoteric properties. Nonionic surfactants are preferred due to no binding to skin. Moreover, bactericide, wetting agent, enzyme, fungicide, arsenic sulphur, salt lime, degreasing agent, washing agents for fur, anti-blood vein agent, aldehyde, nonionic surfactant, pH regulator, soap, soda ash, ammonium sulphate and foril (11). Most tanneries reported that they applied antimicrobial agent at doses of 0.2-0.4 % g/l in both 2009 (64%) and 2018 (70%). Sixty percent of twenty-five tanneries notified unpleasant odor in soaking drum in 2009. On the other hand, 30% of ten tanneries reported same complaint in 2018. Richardson (1958) indicated that the formation of bad odor in soaking drum was associated with bacterial growth (37). In our previous study, the number of bacteria was taken under control by increasing the concentration of antimicrobial substance (didecyldimethylammonium chloride) to 0.4 g/l of in first and 0.8 g/l in main soaking process and genera of *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Aerococcus*, *Vibrio*, *Staphylococcus*, *Kocuria* and *Micrococcus* were isolated in the main soak liquor containing antimicrobial substance. We detected that bacterial activity was considerably high in the salted and soaked hides and also the concentration of antimicrobial substance used in the soaking process was insufficient. For this purpose, antimicrobial agents may be applied at regular intervals to inhibit bacterial growth (27). It is also known that bacteria can resist against several antimicrobial agents. They can easily transfer their resistance genes

via horizontal gene transfer (38). In this respect, alternative agents or strategies may be helpful. Our questionnaire results of year 2009 showed that temperature of soaking liquor was not sufficiently taken into consideration. Seven tanneries notified that they used directly refining water in soaking process without control. Two tanneries set temperature of soaking process to 18-20 °C and the other two tanneries adjusted to 20-24 °C. One tannery reported the temperature they adjusted during soaking process as 28-32 °C. In 2018, most of the tanneries reported that they adjust the temperature of soaking process to 24-28 °C except one tannery (22 °C). According to this information, tanners are more aware about the effect of temperature on leather quality. Wodroffe (1957) found that even at 5 °C, bacteria could grow on soak liquor, suggesting that increasing a few degrees of soak liquor would reduplicate number of bacteria. For this reason, it has been emphasized that temperature of soak liquor should be low and not exceed 10 °C (39). It has been stated that damages on hides may occur when temperature of soak liquor is between 18-24 °C. It has been also reported that semi-transparent areas could be seen when temperature of soak liquor is 18-24°C (37). When the pH values of soaking process were asked, tannery technicians answered considerably different values in 2009. On the other hand, most of the technicians reported that the pH value of soaking process was adjusted to 9-9.5 except two tanneries (pH=6 and pH=12) in 2018. It has been stated that pH of soak liquor should not exceed 10.5. It has been emphasized that higher pH values may cause swelling on hide surface, causing difficult penetration of liming materials and also forming nubuck appearance. It has been reported that strong alkaline substances catalize soaking process but cause to decrease in the strength of fibers, holes in grain surface and opaque appearance of leather (40, 41). Tanners informed us for unwanted defects observed on skins/hides as red heat, unpleasant odour, spot, hair loss, decreased elasticity, hole, bacterial and fungal growth, uneven dyeing, preservation and flaying mistakes, bloodstain, burns due to manure.

IV. CONCLUSIONS

To our knowledge, the present study is the first detailed study which detects and compares problems in leather industry in both 2009 and 2018. We observed that the problems (especially unwanted defects observed on skins/ hides as red heat, unpleasant odour, spot, hair loss, decreased elasticity, hole, bacterial and fungal growth, uneven dyeing, preservation and flaying mistakes, bloodstain, burns due to manure) are the same in 2009 and 2018. Therefore, we must take precautions to eliminate these defects. Temperature and

pH control must be done regularly in soaking process, flaying, preservation and soaking processes must be applied properly. As a conclusion, we should focus on raw material to produce best quality of leather. The ambient conditions of slaughterhouses must be improved and flaying process should be performed by high skilled employees. The most pronounced mistake in preservation of raw hides/skins is insufficient and non-homogenous salting. The standardized salt application must be carried out. The parameters affecting leather quality such as temperature, pH etc. must be controlled regularly, hides/skins with pink or red colored areas should be discarded and others should be salted with antimicrobial agent and stored in cold at 5 °C. Antimicrobial agents may be applied at regular intervals to inhibit microbial growth. We believe that when these issues and essential precautions are taken into consideration, mostly encountered problems could be solved.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by the Scientific Research Project Commission of Marmara University, Project No. FEN-DKR-290506-0113. We thank to the Scientific Research Project Commission, the technicians working in tanneries in Istanbul Organized Leather Industrial Zone, Turkey.

REFERENCES

- [1] Uysal, G. (2002). Türkiye ekonomisinde deri ve deri mamulleri sanayinin yeri ve öneminin araştırılması. *Turk J. of Vet and An. Sciences*, 26, 671-678.
- [2] Thanikaivelan, P., Rao, J.R., Nair, B.U. & Ramasami, T. (2005). Recent trends in leather making: processes, problems, and pathways. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35(1), 37-79.
- [3] İstanbul Sanayi Odası. (2011). Deri ve deri ürünleri sanayisinin Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde sektör rehberleri.
- [4] Çağlayan P. (2015). Characterization of moderately halophilic bacteria found on the sheep and goat skins. Doctoral thesis, Marmara University, Turkey, s. 4-5.
- [5] İTKİB General Secretariat of İstanbul Textile and Apparel Exporters' Associations (February 2018). *Leather and Leather Product Sector*, s. 1-22.
- [6] Deri ve deri ürünleri imalatı sanayi, küresel rekabette istanbul sanayi odası meslek komiteleri sektör stratejileri projesi, ISO, Yayın No: 2015/7.
- [7] Kahsay, T., Negash, G., Hagos, Y. & Hadush, B. (2015). Pre-slaughter, slaughter and post-slaughter defects of skins and hides at the Sheba Tannery and leather industry, Tigray region, northern Ethiopia. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 82 (1), 01-07.

- [8] Bilgi, S.T., Yapici, B.M. & Yapici, A.N. (2009). Determination of bacterial and fungal numbers in floats of pre-tanning operations. *African Journal of Biotechnology*, 8 (8), 1602-1607.
- [9] Birbir, M. & Bailey, D.G. (2000). Controlling the growth of extremely halophilic bacteria on brine cured cattle hides. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 84 (5), 201-204.
- [10] Aslan, E., & Birbir, M. (2011). Examination of Gram positive bacteria on salt-pack cured hides. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 106 (12), 372-380.
- [11] Yazı, D. (2009). Examination of bacterial population in salt, salted and soaked raw hides. Doctoral thesis, Marmara University, Türkiye, s.1-208.
- [12] Mwinyijah, M. & Magero, J. (2009). The dilemma in marketing of camel (*Camelus dromedarius*) hides in Kenya: Paper Presented at the 14th Annual Kenya Camel Forum (KCF) Moyale.
- [13] Rangarajan, R., Didato, T.D. & Bryant, S. (2003). Measurement of bacterial populations in typical tannery soak solutions by traditional and new approaches. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 98, 477-485.
- [14] Kanagaraj, J. & Chandra Babu, N.K. (2002). Alternatives to salt curing techniques: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 61 (5), 339-348.
- [15] Kanagaraj, J., Sundar, V.J., Muralidharan, C. & Sadulla, S. (2005). Alternatives to sodium chloride in prevention of skin protein degradation-a case study. *Journal of Cleaner Production*, 13, 825-831.
- [16] Kanagaraj, J., Sastry, T.P. & Rose, C. (2005). Effective preservation of raw goat skins for the reduction of total dissolved solids. *Journal of Cleaner Production*, 13, 959-964.
- [17] Kılıçoğlu, S. (1991). Ham deri. *Dericilik Araştırma Enstitüsü Yayınları*, Pendik, İstanbul, Türkiye, 6, 65.
- [18] Birbir, M. (1997). Investigation of salted-cured France and Russian hides for halophilic bacteria. *Journal of Turkish Microbiological Society*, 27, 68-73.
- [19] Kannan, K.C., Kumar, P., Rao, J.R. & Nair, B.U. (2010). A novel approach towards preservation of skins. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 105 (11), 360-368.
- [20] Bailey, D.G. & Birbir, M. (1993). A study of the extremely halophilic microorganisms found on commercially brine-cured cattle hides. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 88, 285-293.
- [21] Birbir, M. & Ilgaz, A. (1996). Isolation and identification of bacteria adversely affecting hide and leather quality. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 80, 147-153.
- [22] Aslan, E. & Birbir, M. (2012). Examination of Gram-Negative bacteria on salt-pack cured hides. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 4 (107), 106-115.
- [23] Caglayan, P., Birbir, M., Sanchez-Porro, C. & Ventosa, A. (2017). Screening of industrially important enzymes produced by moderately halophilic bacteria isolated from salted sheepskins of diverse origin. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 112 (6), 207-216.
- [24] Caglayan, P., Birbir, M., Sánchez-Porro, C., & Ventosa, A. (2018). Detection of industrially potential enzymes of moderately halophilic bacteria on salted goat skins. *Turkish Journal of Biochemistry*, 43 (3), 312-322.
- [25] Berber, D. & Birbir, M. (2010). Examination of bacterial populations in salt, salted hides, soaked hides and soak liquors. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 105 (10), 320-326.
- [26] Berber, D., Birbir, M., & Mertoglu, B. (2010). Examination of Archaeal and Bacterial populations in salt, salted and soaked hide and soak liquor samples via fluorescent in situ hybridization. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 94 (6), 259-261.
- [27] Berber, D., Birbir, M. & Hacıoğlu, H. (2010). Efficacy assessment of bactericide containing didecyltrimethylammonium chloride on bacteria found in soak liquor at different exposure times. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 105 (11), 354-359.
- [28] Bailey, D.G. & Birbir, M. (1996). The Impact of halophilic organisms on the grain quality of brine cured hides, *Journal American Leather Chemists Association*, 91, 47-51.
- [29] Bailey, D.G. (2003). The preservation of hides and skins. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 98, 308-319.
- [30] Birbir, M., Kallenberger, W., Ilgaz, A. & Bailey, G. (1996). Halophilic bacteria isolated from brine cured cattle hides. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 80, 87-90.
- [31] Akpolat, C., Ventosa, A., Birbir, M., Sánchez-Porro, C. & Caglayan, P. (2015). Molecular identification of moderately halophilic bacteria and extremely halophilic archaea isolated from salted sheepskins containing red and yellow discolorations, *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 110, 211-220.
- [32] Haines, M.B. (1984). Quality rawstock. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 4, 164-173.
- [33] Kallenberger, E.W. (1984). Halophilic bacteria in brine curing. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 79, 104-114.
- [34] Birbir, M., Ogan, A., Calli, B. & Mertoğlu, B. (2004). Enzymatic characteristics of extremely halophilic archaeal community in Tuzkoy Salt Mine, Turkey. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20, 613-621.
- [35] Orlita, A. (2004). Microbial biodeterioration of leather and its control: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53, 157-163.
- [36] Madigan, M.T., Martinko, J.M., Dunlop, P.V. & Clarck, D.P. (2012). In: *Brock Biology of Microorganisms*, Thirteenth Edition, Pearson Benjamin Cummings., s.150-151.

- [37] Richardson, J. H. (1958). A laboratory screening test of bactericides for use in sheep pelt soaking pits. *Applied Microbiology*, 6 (2) 142-145.
- [38] Birbir, Y., Uğur, G. & Birbir, M. (2008). Inactivation of bacterial population in hide-soak liquors via direct electric current. *Journal of Electrostatics*, 66 (7-8), 355-360.
- [39] Wodroffe, F.W. & Parr, P.R. (1957). Note on bacteriological test on bobby calf skins treated with boric acid. Report on the eight annual conference of freezing works. *Leather and Shoe Association*, 38-39.
- [40] <http://dericilik.blogcu.com/4144149> (Erişim tarihi: Mayıs 2008).
- [41] Tancous, J., Kallenberger, W., Buehrig, B. & Hermann, L.S. (1996). Rehydration of brine cured hides. *Leather*, 21-28.

Matris Normları ile Bir Matris Oyununun Adilliğinin Gösterilmesi

Demonstration of the Fairness of a Matrix Game with Matrix Norms

Burhaneddin İZGİ¹, Murat ÖZKAYA¹

¹*Istanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul*

Öz

Bu çalışmada, matris oyunlarını çözmek ve bu tür oyunları kurmak için literatüre yeni kazandırılmış ve yalnızca getiri matrisinin matris normlarından oluşan bir yöntemi kullanarak herhangi bir matris oyununun adil bir oyun olup olmadığını belirlemeyi hedefledik. Bunu yapmak için Taş-Kağıt-Makas oyununun genişletilmiş bir versiyonu olan Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock (Rock-Paper-Scissors-Lizard-Spock) oyununu ana örnek olarak kullandık. Öncelikle oyunun gerçek sonucunu görmek için ilgili oyunu literatürde bilenen yöntemleri kullanarak çözdük. Daha sonra, herhangi bir lineer sistem çözmeksizin, sadece getiri matrisinin 1 ve ∞ normlarını kullanarak, bu oyunun adil bir oyun olup olmadığını detaylı bir şekilde farklı senaryolar altında yeni yöntemi kullanarak inceledik. Bunların yanı sıra, kare getiri matrisine sahip oyunların adil olup olmadığı çok daha hızlı bir şekilde gösterecek, getiri matrisinin determinantını içeren yeni bir teorem sunduk ve ispatladık. Son olarak sunduğumuz yeni teoremin uygulamalarını Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock ve örnek olarak ele aldığımız diğer matris oyunları için de yaparak hızlı bir şekilde sonuçların elde edilebileceğini gösterdik.

Anahtar Kelimeler: Oyun teorisi, Sıfır toplamı oyun, Matris oyunları, Matris normları, Taş-kağıt-makas

Abstract

In this study, we aim to determine whether matrix game is fair or not, with a recently introduced method which consists of only the matrix norms of the payoff matrix. We use Rock-Paper-Scissors-Lizard-Spock game, which is an extension of the Rock-Paper-Scissors game, as the main example. First, we solve the game with the well-known method in the literature in order to have the actual results for comparing with the results obtained by the new approaches. We then investigate whether the game is fair or not with different scenarios, by using only 1 and ∞ norms of the payoff matrix without solving any linear system. In addition to these, we present and prove some new theorems, which contains only the determinant of the payoff matrix, for checking the fairness of the square matrix games. Finally, we show that the results may be obtained fast by illustrating the applications of the proposed theorem to Rock-Paper-Scissors-Lizard-Spock and other example games.

Keywords: Game Theory, Zero-Sum game, Matrix games, Matrix norms, Rock-paper-scissors

1. GİRİŞ

Oyun teorisi rekabetin bulunduğu ortamlarda, oyuncuların karar verme aşamalarını matematiksel olarak inceleyen bir teori olarak tanımlanabilir. Oyun teorisinin temelleri tarihte ilk kez 2. Dünya savaşı esnasında gerçekleşen ve mücadele içeren çetli olaylara karşı matematiksel yaklaşımların uygulanması sonucu atılmıştır [1]. Bu alanda yazılmış bilinen ilk kitap J. Von Neumann ve O. Morgenstern tarafından kaleme alınan Oyunlar Teorisi ve Ekonomik Davranış (Theory of Games and Economic Behaviour) isimli eserdir [2]. Kitabın yayınlanmasından bu yana onlarca yıl geçmiş olmasına rağmen oyun teorisi bugün de ilk günkü kadar güncel ve çok daha gelişmiş bir şekilde bilim dünyasında varlığını sürdürmektedir. Bu süreç içerisinde oyun teorisi fizikten sosyal bilimlere, ekonomiden tarıma, birçok bilim dalında kendisine yer edinmiş ve uygulama alanı bulmuştur. 1959 yılında Haywood, 2. Dünya savaşındaki iki savaş taktiğini incelemiş ve askeri doktrinler ile oyun teorisi arasında bir benzeşim geliştirmiştir [3]. Shenoy 1979 yılında yayınladığı makalesinde n-kişilik işbirlikli oyunlardaki koalisyon oluşumu sorusuna yanıt aramıştır [4]. Nash 1994 yılında yayınladığı ve oyun teorisinde çığır açan çalışmasında işbirlikçi

oyunlardaki denge noktalarını incelemiş ve bu çalışmasının sonucunda Nobel ekonomi ödülüne layık görülmüştür [5]. 2007 yılında Okura rekabetin Japon sigorta şirketlerine yapılan yatırımları nasıl etkilediğini oyun teorisini kullanarak incelemiştir [6]. 2010'da Gu, hareketli bir hedefi sensor ağıyla takip etme problemini incelemiş ve bu çalışmasında hedef tahminini sıfır toplamı bir oyun şeklinde modellemiştir [7]. 2017 yılında Rezazadeh ve arkadaşları tehlikeli boru hatlarındaki devriye nöbetlerinin programlanabilmesi için oyun teorisine dayalı bir yöntem sunmuştur [8].

İzgi ve Özkaya literatürde ilk olarak matris normları ile oyun teorisini 2018 yılında yayınladıkları makale ile bir araya getirdiler [9]. Yaptıkları bu çalışmada iki kişilik sıfır toplamı matris oyunlarının hem çözümüne hem de bu tür oyunların kurulumuna yönelik getiri matrisinin yalnızca 1-normunu ve ∞ -normunu esas alan yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Böylece yüksek boyutlu bir matris oyununun, hızlı bir şekilde yaklaşık çözümünün elde edilebilmesi ve karma stratejiler kümesinin en büyük ve en küçük elemanları için alt ve üst sınırların belirlenebilmesi mümkün hale getirilmiştir. Aynı yıl Özkaya ise yüksek lisans tezinde oyun teorisinde matris normlarının rollerini detaylı bir şekilde incelemiştir [10]. Bunların yanı sıra, İzgi ve Özkaya [9]'da sunmuş oldukları bu yeni yöntemlerini sıfır toplamı olmayan iki kişilik bimatris oyunları için geliştirerek ve literatürde bilinen ünlü örneklerle de bu yaklaşımlarını güçlendiren ayrı bir çalışmaya imza attılar [11].

Biz bu çalışmada, ilk olarak iki kişilik sıfır toplamı matris oyunlarının adıllığını [9, 11] çalışmalarıyla literatüre kazandırılmış olan yeni yöntemi kullanarak göstermeyi hedefledik. Bunun yanı sıra, kare getiri matrisine sahip bir oyunun adil olup olmadığını hızlı bir şekilde gösterecek, getiri matrisinin sadece determinantına bağlı yeni bir teorem sunduk ve ispatladık. Ayrıca, kare matrislerin özel bir hali olan ters-simetrik matrisler için de lineer cebir kitaplarında verilen bir teoremin oyun teorisi açısından uygulamasını sunduk.

Çalışmamızda ele alınacak olan ana oyun Taş-Kağıt-Makas oyunu olarak bilinen oyunun genişletilmiş bir versiyonu olan ve ilk olarak The Big Bang Theory adlı televizyon dizisinde iki karakter arasında oynanan Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock (TKMKS) olarak isimlendirilen oyundur. Bu oyunun matematiksel anlamda adil bir oyun olduğu [12]'de Birgen tarafından çizge teorisi yardımıyla 2015 yılında gösterilmiştir. Biz ise bu çalışmamızda, [9, 11] çalışmalarında literatüre kazandırılmış olan yeni yöntemi kullanarak, TKMKS oyununun matematiksel anlamda adil bir oyun olduğunu herhangi bir denklem sistemi çözmeden ve sadece getiri matrisinin 1-normunu ve ∞ -normunu kullanarak göstermeyi hedeflemekteyiz. Bunlara ek olarak da, bu çalışmada ilk

olarak sunmuş olduğumuz teoremleri kullanarak TKMKS oyunu ile birlikte çeşitli matris oyunlarının adıllığını basit bir şekilde göstermeyi amaçlamaktayız. Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde bahsedilen yöntemi uygulamak için kullanılacak gerekli teorik altyapı sunulmuştur. Ayrıca Taş-Kağıt-Makas oyunu bir diyagram yardımıyla gösterilmiş ve oyunun çözümü verilmiştir. Üçüncü bölümde ilk olarak, Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyunu ayrıntılarıyla ele alınarak TKMKS oyununun adil bir oyun olduğu ilgili yöntem ve sunulan yeni teoremler kullanılarak gösterilmiştir. Daha sonra çeşitli örnekler için de sunulan yöntemlerin tutarlılığı incelenmiştir. Son bölümde ise makaledeki sonuçlardan kısaca bahsedilmiştir.

II. BAZI TEORİK YAKLAŞIMLAR VE TAŞ-KAĞIT-MAKAS OYUNU

Bu bölümde ilk olarak sıfır toplamı herhangi bir oyunun çözümünde kullanılacak olan gerekli teorik alt yapıya yer verilecektir. Daha sonra klasik anlamdaki Taş-Kağıt-Makas (TKM) oyununun nasıl oynandığı bir diyagram yardımı ile özetlenecektir. Ayrıca TKM oyununun getiri matrisi, oyun değeri ve karma stratejiler kümesi [13]'te verildiği şekilde sunulacaktır.

Tanım 2.1 [14]: Eğer bir oyunun oyun değeri $v = 0$ ise ilgili oyuna adil oyun, $v \geq 0$ ise oyun I. Oyuncu lehine, $v \leq 0$ ise oyun II. Oyuncu lehine bir oyun denir.

Tanım 2.2 [9]: $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ bir matris ve $\|A\|_{\infty}$ ise A 'nın h . satırının girdilerinin mutlak değer toplamı olsun. Bu durumda A matrisinin h . satırının silinmesiyle elde edilen $B \in \mathbb{R}^{(m-1) \times n}$ matrisine A matrisinin satırsal olarak indirgenmiş matrisi denir. Aynı şekilde $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ bir matris, $\|A\|_1$ ise A 'nın s . sütununun girdilerinin mutlak değer toplamı olmak üzere A matrisinin s . sütununun silinmesiyle elde edilen $B \in \mathbb{R}^{m \times (n-1)}$ matrisine A matrisinin sütunsal olarak indirgenmiş matrisi denir.

Teorem 2.3 [9]: $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ iki kişilik sıfır toplamı oyunun getiri matrisi ve B, A matrisinin satırsal olarak indirgenmiş matrisi olmak üzere, v oyun değeri için

$$|v| \geq 1, \text{ ise } \frac{\|B\|_{\infty}}{\|A\|_{\infty}} \leq |v| \leq \|A\|_1$$

$$|v| \leq 1 \text{ ve } v \neq 0, \text{ ise } \frac{1}{\|A\|_1} \leq |v| \leq \frac{\|A\|_{\infty}}{\|B\|_{\infty}}$$

eşitsizlikleri sağlanır.

Teorem 2.4 [9]: $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ iki kişilik sıfır toplamı bir oyunun pozitif girdili getiri matrisi olsun. Karma stratejiler kümesinin en büyük ve en küçük elemanları, sırasıyla P_{\max} ve P_{\min} , için

$$L = \max \left\{ \frac{1 - \frac{|v|}{\|A\|_1}}{m-1}, \frac{|v|}{\|B\|_\infty} \right\} \text{ için } p_{max} \geq L$$

$$U = \min \left\{ \frac{1 - \frac{|v|}{\|B\|_1}}{m-1}, \frac{|v|}{\|A\|_\infty} \right\} \text{ için } p_{min} \leq U$$

eşitsizlikleri sağlanır.

Önerme 2.5: $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ iki kişilik sıfır toplamalı bir oyunun getiri matrisi, v oyun değeri olsun. Ayrıca, $x = |\min(A)|$ ve $y = -|\max(A)|$ olmak üzere, X (ya da Y) $\in \mathbb{R}^{m \times n}$ bütün girdileri x (ya da y) olan bir matris olsun. Bu durumda, ötelenmiş oyununun pozitif girdili getiri matrisi $A + X$ (ya da negatif girdili getiri matrisi $A + Y$) ve bu oyunun oyun değeri $v + x$ (ya da $v + y$) olur.

İspat. Önerme 2.5, [9]'daki Önerme 2.7'nin bir genelleşmesi olup, ispatı benzer şekilde kolayca yapılabilir.

Sonuç 2.6 : Her matris oyunu aynı strateji kümesi ile beraber kısmen ya da tamamen pozitif (ya da negatif) girdili matris oyununa dönüştürülebilir.

Eğer adıllığını inceleyeceğimiz oyunun getiri matrisi bir kare matris veya ters-simetrik bir matris ise aşağıdaki teoremler yardımıyla oyunun adıllığı hakkında daha hızlı şekilde bir sonuç elde edilebilir.

Teorem 2.7: $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ iki kişilik sıfır toplamalı herhangi bir oyunun ters simetrik olmayan getiri matrisi olsun. Eğer A adil bir oyunun getiri matrisi ise $\det(A) = 0$ 'dır.

İspat. $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ bir adil oyunun getiri matrisi ve $p \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ bu oyunun strateji vektörü olsun. Diğer taraftan, herhangi bir oyunun oyun değerinin $pA = v \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ şeklinde hesaplanabileceğini biliyoruz. A adil bir oyunun ($v = 0$) getiri matrisi olduğundan bu sistem $pA = 0$ homojen bir sisteme dönüşür.

Bu sistemin, $\det(A) \neq 0$ olduğu durumda $p = 0$ aşıkâr çözümlüne sahip olduğu açıktır. Öte yandan, oyun teorisinin doğası gereği, oyunun stratejisinin 0 vektöründen farklı bir vektör olması gerçeğinden yola çıkarak bu durumun sistemin istenen bir çözümü olamayacağı sonucuna ulaşılır.

Böylece, sistemin çözümünü $\det(A) = 0$ olduğu durum için incelemek gerekir. Yani A getiri matrisinin tekil olması durumunda sistemin ya çözümünün olmadığı ya da sonsuz çözüme sahip olduğu açık bir gerçektir. A adil bir oyunun getiri matrisi olduğuna göre sistemin sıfırdan farklı ($p \neq 0$)

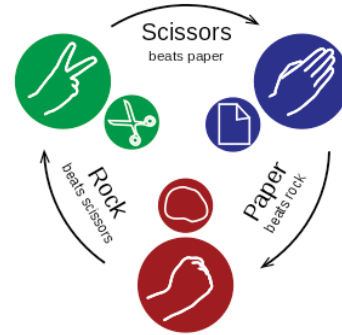
bir çözümü olmak zorundadır. Sonuç olarak, $pA = 0$ sisteminin sıfırdan farklı bir çözümünün (p strateji vektörünün) olması için $\det(A) = 0$ olması gerekmektedir. ■

Benzer şekilde kare matrislerin özel bir hali olan ters-simetrik matris oyunları için Jacobi teoremi olarak da bilinen aşağıdaki teoremi kullanabiliriz.

Teorem 2.8 (Jacobi Teoremi) [15]: $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ters-simetrik bir matris olmak üzere eğer n tek ise A 'nın determinanı sıfırdır.

Not 1: Eğer $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ getiri matrisi n çift olmak üzere bir ters-simetrik bir matris ise oyunun adıllığını göstermek için buradaki teorik sonuçlar direk kullanılmayacağından, matris normları ile [9]'da verilen yaklaşımın kullanılması gerekmektedir.

Not 2: Matlab, Mathematica gibi programlarda işlem yapılırken yuvarlama hatalarından dolayı determinanın beklediği gibi tam olarak 0 (sıfıra oldukça yakın, örneğin 10^{-23} gibi) çıkmayabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 1. Taş-kağıt-makas oyunu [16]

Taş-Kağıt-Makas oyununun getiri matrisi aşağıdaki gibidir.

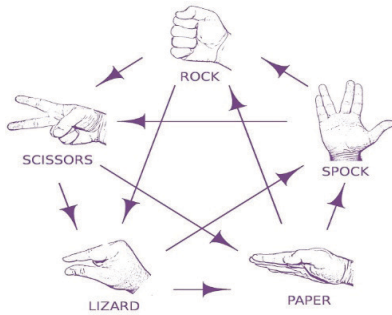
$$A = \begin{bmatrix} T & T & K & M \\ T & (0,0) & (-1,1) & (1,-1) \\ K & (1,-1) & (0,0) & (-1,1) \\ M & (-1,1) & (1,-1) & (0,0) \end{bmatrix}$$

Bu oyunun oyun değeri $v = 0$ ve karma stratejiler kümesi $S = \{0.33, 0.33, 0.33\}$ şeklinde olduğu ilgili kaynakta verilmiştir [13]. Biz bu oyunun genelleşmesi olan TKMKS oyunu üzerine yoğunlaşarak, oyunun adıllığını yukarıda verilen yaklaşımlar ve teoremler yardımıyla göstereceğiz.

III. UYGULAMALAR

3.1. TKMKS Oyununun Adil Olduğunun Belirlenmesi

Bu bölümde ilk olarak, Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyununun kurallarını bir diyagram ile gösterip getiri matrisini sunacağız. Ardından, bu oyunun adil bir oyun olduğunu [9, 11] çalışmalarında sunulan yeni yöntem ile göstereceğiz. Son olarak, kare getiri matrisine sahip oyunlar için verdiğimiz Teorem 2.8'i kullanarak oyunun adil olduğunu diğer bir yöntemle çok daha hızlı bir şekilde göstereceğiz.



Şekil 2. Taş-kağıt-makas-kertenkele-spock oyunu [17]

Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyununun getiri matrisini klasik Taş-Kağıt-Makas oyununun getiri matrisine benzer şekilde oluşturursak, A bimatrisi

$$A = \begin{bmatrix} T & K & M & Kr & Sp \\ T & (0,0) & (-1,1) & (1,-1) & (1,-1) \\ K & (1,-1) & (0,0) & (-1,1) & (-1,1) \\ M & (-1,1) & (1,-1) & (0,0) & (1,-1) \\ Kr & (-1,1) & (1,-1) & (-1,1) & (0,0) \\ Sp & (1,-1) & (-1,1) & (1,-1) & (-1,1) \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

İki kişilik sıfır toplamlı oyunlar bir optimizasyon problemine dönüştürülerek çözülebileceği gibi literatürde stratejilerin eşitlenmesi olarak bilinen bir diğer yöntemle de elde edilebilir. Fakat biz bu çalışmamızda literatüre [9] nolu çalışmada kazandırılmış yeni yöntemi kullanarak çözmeye odaklandığımız için oyunun gerçek çözümünü görmek adına, [18]'deki bağlantı yardımıyla sonuçları her iki oyuncunun da getiri matrislerini kullanarak elde ettik. Bunun sonucunda elde edilen sonuçlar her iki oyuncu için, yani I. oyuncu ve II. oyuncu için, aşağıdaki gibidir:

Oyun değerini her iki oyuncu için $v = 0$ ve karma stratejiler kümesini ise $S = \{0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2\}$ olarak bulduk. Oyun değeri sıfır olduğu için bu oyun adil bir oyundur.

Biz bu çalışmamızda, [9]'da sunulan, [10]'da detaylı bir şekilde incelenen ve [11]'de geliştirilen yöntemi

kullanarak bir oyunun adil bir oyun olduğuna nasıl karar verilebileceğini daha öncede belirttiğimiz gibi Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyunu üzerinden göstereceğiz. Buna ek olarak, bu çalışmada sunduğumuz Teorem 2.8 ile hızlı bir şekilde sonuca ulaşabileceğimizi ortaya koyacağız.

Çözüm aşamasına geçmeden önce ilk olarak ilgili oyun için verilen getiri matrisini iki adet matris oyununa dönüştürüyoruz. Yani I. ve II. oyuncuların getiri matrislerini, sırasıyla A_1 ve A_2 , ayrı ayrı olarak inceliyoruz. II. oyuncu için de getiri matrisi aşağıda açık bir şekilde verilen A_1 matrisine benzer şekilde oluşturulursa $A_1 = -A_2$ olduğu görülecektir. Bunun anlamı diğer bir deyişle, bu oyunun iki kişilik sıfır toplamlı bir oyun olduğudur [19]. Bu yüzden, oyunu yalnızca A_1 ya da A_2 matrislerinden birini kullanarak incelemek yeterli olacaktır. Biz bu çalışma boyunca A_1 matrisini, yani satır oyuncusunun (I. oyuncu) matrisini kullanarak işlemlere devam edeceğiz.

Daha sonra Teorem 2.4'ü kullanabilmek için aşağıda satır oyuncusu için oluşturduğumuz getiri matrisini, Önerme 2.5'te belirtildiği şekilde pozitif girdili bir getiri matrisine dönüştürüyoruz. Bunun için tüm girdileri $x = 1$ olan 5×5 boyutundaki X matrisi ile A_1 matrisini toplayarak aşağıdaki ötelenmiş getiri matrisini elde edilir.

Satır oyuncusu için oluşturulmuş getiri matrisi,

$$A_1 = \begin{bmatrix} T & 0 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ K & 1 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ M & -1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ Kr & -1 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ Sp & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

şeklinde ve ötelenmiş oyunun getiri matrisi ise

$$A_1 + X = \begin{bmatrix} T & 1 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ K & 2 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ M & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 \\ Kr & 0 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ Sp & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

şeklinde dir.

Teorem 2.3'de verilen eşitsizlikleri kullanabilmek için ötelenmiş getiri matrisinin ilgili matris normları şöyledir: $\|A_1 + X\|_1 = 5$, $\|A_1 + X\|_\infty = 5$ ve $B_1 + X$, $A_1 + X$ matrisinin satırsal olarak indirgenmiş matrisi olmak üzere $\|B_1 + X\|_\infty = 5$. Bu hesaplamaların ve ilgili teoremdaki eşitsizliğin kullanılması ile $1 \leq v_{A_1 + X} \leq 5$ sonucuna ulaşırlır.

Oyun değerinin yaklaşık değerini bulabilmek için metodun kullanıldığı diğer çalışmalarda da [9, 11] olduğu gibi oyun değeri için bulunan bu aralıktan geçici (dummy) ve keyfi bir oyun değeri seçilmelidir. Yöntemin herhangi bir

keyfi seçim altında çalıştığını göstermek için iki farklı geçici oyun değeri seçerek iki farklı senaryo üzerinde çalışacağız.

Senaryo 1.: $v'_{A_1+x} = 1$ olsun.

Teorem 2.4'teki eşitsizliklerde geçici oyun değerimizi yerine yazarsak,

$$L = \max \left\{ \frac{1 - \frac{1}{5}}{5 - 1}, \frac{1}{5} \right\} = \max\{0.2, 0.2\} \text{ için}$$

$$p_{max} \geq L = 0.2$$

$$U = \min \left\{ \frac{1 - \frac{1}{5}}{5 - 1}, \frac{1}{5} \right\} = \min\{0.2, 0.2\} \text{ için}$$

$$p_{min} \leq U = 0.2$$

sonuçları elde edilir. Yukarıda bulduğumuz eşitsizlikleri de göz önünde bulundurarak karma stratejiler kümesinin elemanlarını örneğin $p_{max} = p_{min} = p_1 = p_2 = p_3 = 0.2$ şeklinde seçebiliriz. Bu senaryo ve seçim sonucunda karma stratejiler kümesi $S_1^* = \{0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2\}$ olarak elde edilir.

Sonuç 2.6'daki gerçeği kullanarak, yani ötelenmiş bir matris oyununun karma stratejiler kümesinin aynı kaldığı bil-

$$v_{A_1+x} = (1 \times 0.2) + (0 \times 0.2) + (2 \times 0.2) + (2 \times 0.2) + (0 \times 0.2) = 1$$

olarak hesaplanır. Elde ettiğimiz $v_{A_1+x} = 1$ değeri Önerme 2.5'ten de görüldüğü üzere asıl oyun değerinin $x = 1$ kadar ötelenmiş halidir. Bu durumda gerçek oyun değerinin

$$v = v_{A_1+x} - 1 = 1 - 1 = 0$$

olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Sonuç olarak, oyun değerinin $v = 0$ olduğunu göstermiş olduk. Diğer bir deyişle, Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyununun bu senaryo yardımıyla adil bir oyun olduğunu göstermeyi başardık.

Senaryo 2.: $v'_{A_1+x} = 3.7$ olsun.

Senaryo 1.'e benzer şekilde p_{max} ve p_{min} elemanları için sırasıyla alt ve üst sınırları belirlemek için Teorem 2.4 kullanılarak

$$L = \max \left\{ \frac{1 - \frac{3.7}{5}}{5 - 1}, \frac{3.7}{5} \right\} = \max\{0.065, 0.74\} \text{ için}$$

$$p_{max} \geq L = 0.74$$

$$U = \min \left\{ \frac{1 - \frac{3.7}{5}}{5 - 1}, \frac{3.7}{5} \right\} = \min\{0.065, 0.74\} \text{ için}$$

$$p_{min} \leq U = 0.065$$

sonuçları elde edilir. Örnek olarak $p_{max} = 0.74$, $p_{min} = p_1 = p_2 = p_3 = 0.065$ değerlerini seçiyoruz ve bu durumda karma stratejiler kümesini de keyfi olarak $S_2^* = \{0.74, 0.065, 0.065, 0.065, 0.065\}$ şeklinde belirleyebiliriz. Ötelenmiş getiri matrisinin sütunlarını kullanarak $v_{A_1+x} = (1 \times 0.74) + (2 \times 0.065) + (0 \times 0.065) + (0 \times 0.065) + (2 \times 0.065) = 1$ olarak ötelenmiş oyun değeri bulunur. Yani $v_{A_1+x} = 1$ gerçek oyun değerinin $x = 1$ ötelenmiş hali olduğundan gerçek oyun değeri

$$v = v_{A_1+x} - 1 = 0$$

olarak elde edilir. Bu durumda oyuna adil oyun diyebiliriz. Fakat diğer sütunlar için de benzer şekilde hesaplamalar yapılırsa 2. sütun için $v = -0.675$, 3. ve 4. sütunlar için $v = 0.675$, son olarak 5. sütun için de oyun değeri $v = -0.675$ olarak bulunur. Bu durumda oyunu hemen hemen adil bir oyun olarak nitelendirebiliriz.

Bu tür senaryolar artırılarak farklı sonuçlar elde edilebilir. Fakat Senaryo 1.'den de görüldüğü üzere oyunun adil bir oyun olduğunu ilgili yöntem ile göstermeyi başardık.

İkinci çözüm yolu olarak; TKMKS oyununun getiri matrisi ters-simetrik olduğundan Teorem 2.8 kullanılarak daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşılabilmektedir. Oyunun getiri matrisinin determinantını hesaplırsak, $\det(A_1) = 0$ olduğu görülür ve böylece oyunun adil bir oyun olduğu sonucuna Teorem 2.8'den ulaşılır.

3.2 Örnekler

Bu bölümde sıfır toplamlı oyunların çözümü için hem literatüre İzgi ve Özkaya [9, 11] tarafından kazandırılmış yeni yöntemi hem de yeni sunduğumuz teoremlerin uygulamalarını TKMKS örneğinden farklı örnekler üzerinde de göstermek için iki adet matris oyun örneğini inceleyeceğiz.

Örnek 1. Getiri matrisi aşağıdaki gibi olan iki kişilik sıfır toplamlı bir oyunu ele alalım.

$$A = \begin{bmatrix} 1.75 & 2.75 & -0.25 & -1.25 \\ 2.75 & 1.75 & 0.75 & -2.25 \\ -2.25 & -2.25 & -0.25 & 1.75 \\ -1.25 & -3.25 & -0.25 & 0.75 \end{bmatrix}$$

Oyunun gerçek çözümü [18]'deki bağlantı yardımıyla hesaplırsa, oyun değeri $v = 0$ ve karma stratejiler kümesi $S = \{0.25, 0.25, 0.5, 0\}$ olarak bulunur.

Oyunun adilliğini gösterebilmek için ilk olarak TKMKS oyununa benzer şekilde [9]'da verilen yöntemi kullanacağız. Bunun için öncelikle A getiri matrisini Önerme 2.9 yardımıyla bütün girdileri $x = 3.25$ olan $X \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$ matrisi ile öteleysek, ötelenmiş getiri matrisi

$$A + X = \begin{bmatrix} 5 & 6 & 3 & 2 \\ 6 & 5 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 0 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. Öte yandan, Teorem 2.3 için gerekli olan matris normları $\|A + X\|_1 = 14$, $\|A + X\|_\infty = 16$ ve $\|B + X\|_1 = 13$ $\|B + X\|_\infty = 16$ olarak hesaplanır. Teorem 2.3'ten ötelenmiş oyunun oyun değerinin aralığı olarak da $1 \leq v_{A+X} \leq 14$ elde edilir. Geçici oyun değerini ötelenmiş oyun değeri için bulduğumuz bu aralıktan örneğin $v_{1,1,v} = 5$ olarak seçelim. Teorem 2.4'ü kullanarak p_{max} ve p_{min} için sırasıyla alt ve üst sınırları da $p_{max} \geq 0.31$ ve $p_{min} \leq 0.21$ olarak buluruz. Karma stratejiler kümemizi ise bu senaryoda $S^* = \{0.15, 0.32, 0.48, 0.05\}$ olarak belirleyebiliriz. Sonuç olarak 1., 2., 3. ve 4. sütunları kullanıp geri öteleme yapılarak gerçek oyun değeri hesaplanılacak olursa sırasıyla 0, -0.27, 0.07 ve -0.03 değerleri elde edilir. Yani oyunumuzun yaklaşık olarak adil, diğer bir deyişle hemen hemen adil olduğu yorumunu yapabiliriz. Diğer taraftan, Teorem 2.7'yi kullanırsak $\det(A) = 0$ sonucuna ulaşırız ki bu sonuç bize oyunun adil bir oyun olduğunu daha hızlı ve net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Örnek 2. $A \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ aşağıdaki gibi sıfır toplamalı iki kişilik bir oyunun getiri matrisi olsun.

$$A = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 1 & 12 & -3 & -8 \\ -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 7 & 1 & -3 & 7 & -23 \\ -4 & 0 & 0 & -1 & 2 & -3 \\ -1 & -5 & -1 & -3 & -3 & 17 \\ -3 & -1 & 0 & -2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[18]'deki bağlantı yardımıyla A oyunu çözümlerse oyun değerinin sıfır ve karma stratejiler kümesinin ise $S = \{0.2, 0, 0.3, 0, 0.5, 0\}$ olduğu görülür. Teorem 2.7 yardımıyla da oyunumuzun A getiri matrisinin determinantını hesapladığımızda $\det(A) = 0$ olarak karşımıza çıkmaktadır, diğer bir deyişle bu sonuç oyunun adil bir oyun olduğunu göstermektedir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmamızda herhangi bir matris oyununun adilliğini hem matris normlarını içeren yaklaşımla hem de getiri matrisinin determinantına bağlı teoremler yardımıyla detaylı bir şekilde inceledik.

İlk olarak, literatüre matris oyunlarının çözümü ve kurulumu için yeni kazandırılan ve sadece getiri matrisinin normları üzerine kurulmuş olan yeni metodun herhangi bir matris oyunun adil olup olmadığını göstermede de kullanılabilirliğini gösterdik. İncelememizde ana örnek olarak ele aldığımız iki kişilik sıfır toplamalı Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyununun bu yeni metod yardımıyla adil (veya seçilen senaryoya da bağlı olarak hemen hemen adil) olduğu sonucuna ulaştık.

Ayrıca, kare getiri matrise sahip bir matris oyununun adilliğini inceleyebilmek için daha hızlı ve net sonuç veren yeni bir metodu teorem olarak sunduk ve ispatladık. Bu yeni metodunun kullanılabilirliğini de örneklerle ayrıntılı olarak sunduk. Bunlara ek olarak, özel bir kare matris olan ters-simetrik matrisler için literatürde Jacobi Teoremi olarak bilinen teoremin uygulanışını oyun teorisi açısından ele aldık. Bu teorem yardımıyla da Taş-Kağıt-Makas-Kertenkele-Spock oyununun adil olduğunu daha hızlı bir şekilde gösterdik.

KAYNAKLAR

- [1] K. G. Guseinov, K. G., Akçay, E., Düzce, S.A., (2010). Oyun Teorisi Çatışma ve Anlaşmanın Matematiksel Modelleri, Seçkin, 304s.
- [2] Von Neumann, J., Morgenstern, O., (1944). Theory of Games and Economic Behaviour, Princeton University Press, 641s.
- [3] Haywood, Jr, O. G., (1954). Military Decision and Game Theory. Journal of the Operations Research Society of America, Vol.2, No.4. Shenoy, P. P., (1979). On Coalition Formation: A Game Theoretical Approach. International Journal of Game Theory, Vol. 8, Issue 3, 133 – 164.
- [5] Nash, J. F., (1950). The Bargaining Problem. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 18(2), 155-162.
- [6] Okura, M., (2007). Cooperative Strategies of Japanese Insurance Firms A Game Theory Approach. International Studies of Management & Organization, 27(2), 53-69.
- [7] Gu, D., (2010). A Game Theory Approach to Target Tracking in Sensor Networks. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), Vol. 41, Issue 1, 2-13.
- [8] Rezazadeh, A., Zhang, L., Reniers, G., Khakzad, N., Cozzani, V., (2017). Optimal Patrol Scheduling of Hazardous Pipelines Using Game Theory. Process Safety and Environmental Protection, Vol.109, 242-256.
- [9] İzgi, B., Özkaya, M., (2019). A New Perspective to the Solution and Creation of Zero Sum Matrix Game with Matrix Norms. Applied Mathematics and Computation, 341, 148-159.
- [10] Özkaya, M., (2018). The Roles of Matrix Norms in the Game Theory. Istanbul Technical University. Graduate School of Science, Engineering and Technology, M.Sc. Thesis, 47s, Istanbul.

- [11] İzgi, B., Özkaya, M., (2018). An Enhanced View to the Solution of Nonzero Sum Bimatrix Games Using Matrix Norms, (İnceleme).
- [12] Birgen, B. J., (2015). The Uniqueness of Rock-Paper-Scissors-Lizard-Spock, The College Mathematics Journal, Vol.46(4), 270-273.
- [13] Leyton-Brown, K., Shoham, Y., 2008, Essentials of Game Theory, Morgan&Claypool Publishers, 88s.
- [14] Ferguson, T.S., 2014. Game Theory, Mathematics Department UCLA, 2nd Edition.
- [15] Eves, H., 1968, Elementary Matrix Theory. Allyn and Bacon Inc., 325s.
- [16] <https://www.kisspng.com/png-rockpaperscissors-hand-game-4041919/> (Erişim Tarihi. 25.09.2018)
- [17] <https://puzzlewocky.com/parlor-games/rock-paper-scissors-lizard-spock/> (Erişim Tarihi. 25.09.2018)
- [18] <https://www.math.ucla.edu/~tom/gamesolve.html> (Erişim Tarihi. 12.10.2018)
- [19] Ferguson, T.S., (2014). Game Theory, Mathematics Department UCLA, Part III, 2nd Edition.

A Note on Ring Source over Semi-Infinite Rigid Pipe

Yarı Sonsuz Rijit Boru Üzerindeki Halka Kaynak Üzerine Bir Not

Burhan TİRYAKİOĞLU¹ 

¹Marmara University, Department of Mathematics, Kadıköy, 34722, İstanbul, Turkey

Abstract

In this study, semi-infinite rigid pipe is considered. An analytical solution is presented for the diffraction problem of acoustic waves spreading from a ring source by semi-infinite pipe. Applying the boundary and continuity conditions in conjunction with the Fourier transform technique, the boundary value problem is solved analytically. The influence of the problem parameters on the diffraction phenomenon is displayed graphically.

Keywords: Ring Source, Diffraction, Fourier Transform, Pipe.

Öz

Bu çalışmada, yarı sonsuz rijit bir boru ele alınmıştır. Bir halka kaynaktan yayılan akustik dalgaların yarı sonsuz boru ile kırınımı problemi için analitik bir çözüm sunulmuştur. Sınır ve süreklilik koşullarını Fourier dönüşüm tekniği ile birlikte uygulayarak, sınır değer problemi analitik olarak çözülmüştür. Problem parametrelerinin kırınım fenomeni üzerindeki etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Halka Kaynak, Kırınım, Fourier Dönüşümü, Boru

I. INTRODUCTION

Diffraction of acoustic waves is an important problem which has been extensively studied in the literature so far. In particular, the problem of diffraction of sound waves by semi-infinite pipes has been used as a model for many engineering applications, such as noise reduction in architectural and experimental aerodynamics, in road transportation, in modern aircraft jet and turbofan engines, etc. For this reason, it is essential to investigate more accurate mathematical models for such engineering problems.

Levine & Schwinger was the first who considered the problem of sound radiation from a semi-infinite circular unflanged duct of infinitely thin hard walls [1]. An analytical solution was obtained based on the Wiener-Hopf technique [2]. Later, different geometries were investigated rigorously by the help of Wiener-Hopf technique [3-6]. Acoustic absorbing material was used in some of these studies for reducing noise.

The goal of this work is to consider the diffraction of acoustic waves emanating from a ring source by semi-infinite rigid pipe. Pipe walls are assumed to be infinitely thin. The ring source is located out of the pipe ($\rho = b > a, z = -c, c > 0$). The total field have angular symmetry which makes the problem simpler than the asymmetric case because of the ring source [7,8]. By applying the Fourier transform, we obtain a Wiener-Hopf equation which depends on the boundary conditions and continuity relations. Then, numerical solution is obtained approximately for various values of the problem parameters such as pipe radius, pipe extension, ring source location etc. The influence of these factors on the diffraction phenomenon is presented graphically. At the end of the analysis same geometry is considered with infinite pipe for validation of the results. Time dependency is assumed to be $e^{-i\omega t}$ and suppressed throughout this work, where ω is the angular frequency.

II. ANALYSIS

2.1. Problem Formulation

We consider the diffraction of acoustic waves by semi-infinite rigid pipe (Fig. 1). The total field will be independent of azimuth θ everywhere in cylindrical coordinate system (ρ, θ, z) due to the symmetry of the problem geometry and of the ring source. The velocity potential u will be used to obtain acoustic pressure p and velocity v via $p = -\rho_0(\partial/\partial t)u$ and $v = \text{grad}u$, where ρ_0 is the density of the medium.

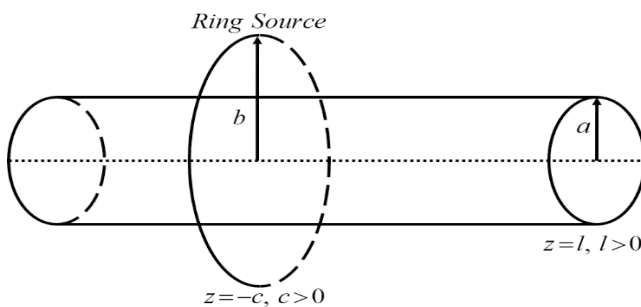


Figure 1. Geometry of the problem

It is suitable to state the total field as follows for analysis intents

$$u^T(\rho, z) = \begin{cases} u_1(\rho, z), & \rho > b \\ u_2(\rho, z), & a < \rho < b, \\ u_3(\rho, z), & \rho < a, z > l \\ u_4(\rho, z), & \rho < a, z < l \end{cases} \quad (2.1)$$

The unknown fields $u_j(\rho, z), j = 1 - 4$, satisfy the wave equation for $z \in (-\infty, \infty)$

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] u_j(\rho, z) = 0, \quad j = 1 - 4 \quad (2.2)$$

with wave number $k = \omega/c_0$ and the speed of sound c_0 . For the determination of unknown fields, we need boundary conditions and continuity relations, one can write these equations from the geometry of the problem.

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_1(b, z) - \frac{\partial}{\partial \rho} u_2(b, z) = \delta(z + c), \quad -\infty < z < \infty \quad (2.3)$$

$$u_1(b, z) = u_2(b, z), \quad -\infty < z < \infty \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_2(a, z), \quad z < l \quad (2.5)$$

$$u_2(a, z) = u_3(a, z), \quad z > l \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_2(a, z) = \frac{\partial}{\partial \rho} u_3(a, z), \quad z > l \quad (2.7)$$

$$u_3(\rho, l) = u_4(\rho, l), \quad \rho < a \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} u_3(\rho, l) = \frac{\partial}{\partial z} u_4(\rho, l), \quad \rho < a \quad (2.9)$$

where δ is dirac delta function.

2.2. Derivation of the Wiener-Hopf Equation

Consider the Fourier transform of the wave equation satisfied by the diffracted field $u_1(\rho, z)$ in the region $\rho > b$, for $z \in (-\infty, \infty)$, namely,

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + K^2(\alpha) \right] F(\rho, \alpha) = 0 \quad (2.10)$$

where $K(\alpha)$ is a square root function

$$K(\alpha) = \sqrt{k^2 - \alpha^2} \quad (2.11)$$

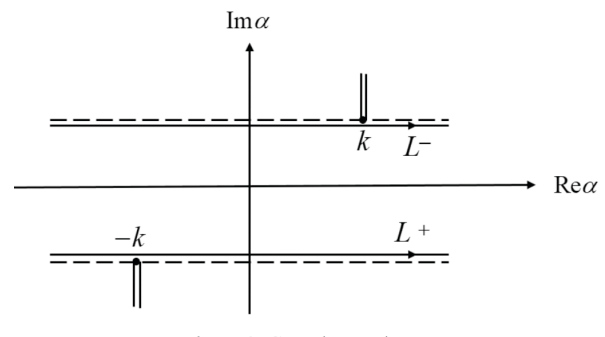


Figure 2. Complex α -plane

which as defined in the complex α -plane cut as shown in Fig. 2 and $F(\rho, \alpha)$ is the Fourier transform of the field $u_1(\rho, z)$ defined to be

$$F(\rho, \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} u_1(\rho, z) e^{i\alpha z} dz \quad (2.12)$$

The solution of equation (2.10) reads

$$F(\rho, \alpha) = A(\alpha) H_0^{(1)}(K\rho) \quad (2.13)$$

where $A(\alpha)$ is spectral coefficient to be determined and $H_0^{(1)}$ is the Hankel function of first type. In the region $a < \rho < b$, $u_2(\rho, z)$ satisfies the wave equation in the range $z \in (-\infty, \infty)$. In a similar way the solution can be given as

$$e^{i\alpha l} (G^-(\rho, \alpha) + G^+(\rho, \alpha)) = B(\alpha) J_0(K\rho) + C(\alpha) Y_0(K\rho) \quad (2.14)$$

where

$$G^-(\rho, \alpha) = \int_{-\infty}^l u_2(\rho, z) e^{i\alpha(z-l)} dz \tag{2.15}$$

$$G^+(\rho, \alpha) = \int_l^{\infty} u_2(\rho, z) e^{i\alpha(z-l)} dz \tag{2.16}$$

Owing to analytical properties of Fourier integrals, $G^+(\rho, \alpha)$ and $G^-(\rho, \alpha)$ are regular functions in the upper half plane ($\text{Im}\alpha > \text{Im}(-k)$) and in the lower half plane ($\text{Im}\alpha < \text{Im}k$), respectively. Consider now the Fourier transform of (2.5)

$$\dot{G}^-(a, \alpha) = 0 \tag{2.17}$$

where the dot specifies the derivative with respect to ρ . From the definition of ring source given in (2.3) and (2.4) we get

$$A(\alpha)H_1^{(1)}(Kb) = B(\alpha)J_1(Kb) + C(\alpha)Y_1(Kb) - e^{-i\alpha c}/K(\alpha) \tag{2.18}$$

$$A(\alpha)H_0^{(1)}(Kb) = B(\alpha)J_0(Kb) + C(\alpha)Y_0(Kb) \tag{2.19}$$

One can obtain the relation $B(\alpha)$ and $C(\alpha)$ from (2.18) and (2.19).

$$H^+(\rho, \alpha) = \frac{1}{KJ_1(Ka)} \left\{ -\dot{G}^+(a, \alpha)J_0(K\rho) + \int_0^a (f(t) - i\alpha g(t))Q(t, \rho, \alpha)tdt \right\} \tag{2.25}$$

where

$$Q(t, \rho, \alpha) = K(\alpha) \frac{\pi}{2} \begin{cases} J_0(K\rho)[J_1(Ka)Y_0(Kt) - Y_1(Ka)J_0(Kt)], & \rho < t \\ J_0(Kt)[J_1(Ka)Y_0(K\rho) - Y_1(Ka)J_0(K\rho)], & \rho > t \end{cases} \tag{2.26}$$

The left hand side of (2.25) is analytic in the upper half plane, the right hand side have poles at $\alpha = \alpha_m, m = 1, 2, \dots$

$$J_1(j_m) = 0, \quad \alpha_m = \sqrt{k^2 - (j_m/a)^2}, \quad \alpha_0 = k, \quad \text{Im}\alpha_m > \text{Im}k \tag{2.27}$$

$$\dot{G}^+(a, k) = \frac{a}{2} [f_0 - ikg_0] \tag{2.28}$$

$$\dot{G}^+(a, \alpha_m) = \frac{a}{2} J_0(j_m) [f_m - i\alpha_m g_m] \tag{2.29}$$

where

$$f_0 = \frac{2}{a^2} \int_0^a f(\rho)\rho d\rho \tag{2.30}$$

$$f_m = \frac{2}{a^2 J_0^2(j_m)} \int_0^a f(\rho)J_0\left(\frac{j_m}{a}\rho\right)\rho d\rho \tag{2.31}$$

$$C(\alpha) - iB(\alpha) = -\frac{\pi b}{2} H_0^{(1)}(Kb) e^{-i\alpha c} \tag{2.20}$$

By taking the derivative of (2.14) with respect to ρ and using (2.17), we obtain

$$e^{i\alpha l} \dot{G}^+(a, \alpha) = -B(\alpha)KJ_1(Ka) - C(\alpha)KY_1(Ka) \tag{2.21}$$

In the region $\rho < a, z > l$ the field $u_2(\rho, z)$ satisfies the wave equation for $z \in (l, \infty)$. By taking Fourier transform we get

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + K^2(\alpha) \right] H^+(\rho, \alpha) = f(\alpha) - i\alpha g(\alpha) \tag{2.22}$$

where

$$f(\rho) = \frac{\partial}{\partial z} u_2(\rho, l), \quad g(\rho) = u_2(\rho, l) \tag{2.23}$$

In (2.22), $H^+(\rho, \alpha)$ is a regular function in the upper half of the complex α -plane which is defined as

$$H^+(\rho, \alpha) = \int_l^{\infty} u_2(\rho, z) e^{i\alpha(z-l)} dz \tag{2.24}$$

Particular solution to (2.22) can be found easily by using Green's function which satisfies the wave equation

In order that the right hand side of (2.25) be also regular at $\alpha = \alpha_m$, we should have

$$g_0 = \frac{2}{a^2} \int_0^a g(\rho)\rho d\rho \tag{2.32}$$

$$g_m = \frac{2}{a^2 J_0^2(j_m)} \int_0^a g(\rho)J_0\left(\frac{j_m}{a}\rho\right)\rho d\rho \tag{2.33}$$

Using the continuity relation (2.6) and taking into account (2.14), (2.20) and (2.25), we obtain the following Wiener-Hopf equation:

$$-\frac{a}{2} e^{ial} G^-(\alpha, \alpha) + \frac{e^{ial} G^+(\alpha, \alpha)}{K^2(\alpha) M(\alpha)} = e^{-iac} \frac{b}{2} \frac{H_0^{(1)}(Kb)}{KH_1^{(1)}(K\alpha)} + e^{ial} \frac{a}{2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{J_0(j_m)}{\alpha_m^2 - \alpha^2} [f_m - i\alpha g_m] \tag{2.34}$$

where

$$M(\alpha) = i\pi J_1(K\alpha) H_1^{(1)}(K\alpha) \tag{2.35}$$

2.3. Solution of the Wiener-Hopf Equation

decomposition of the resulting equation, we get

Multiplying (2.34) with $e^{-ial}(k - \alpha)M_-(\alpha)$ and

$$\frac{G^+(\alpha, \alpha)}{(k + \alpha)M_+(\alpha)} = I(\alpha) + \frac{a}{2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k + \alpha_m)M_+(\alpha_m)J_0(j_m)[f_m + i\alpha_m g_m]}{2\alpha_m(\alpha + \alpha_m)} \tag{2.36}$$

where

$$I(\alpha) = \frac{b}{2} \frac{1}{2\pi i} \int_{L_+} \frac{H_0^{(1)}(Kb)M_-(\tau)(k - \tau)}{KH_1^{(1)}(K\alpha)(\tau - \alpha)} e^{-i\tau(c+l)} d\tau \tag{2.37}$$

Integration lines L_+ and L_- are depicted in Fig. 2. According to Jordan's Lemma, the integration line L_+ can be deformed into the branch cut $C_1 + C_2$ through the branch point $\tau = -k$. By using the property of Hankel function and making the following substitution:

$$k + \tau = te^{-i\pi/2} \tag{2.38}$$

the integral can be reduced simple form. When l is large, the main contribution to the integral comes from the end point $t = 0$ [9]. Hence $I(\alpha)$ can be approximated by

$$I(\alpha) = \frac{b}{4\pi} M_+(k) e^{ik(c+l)} \xi(a, b, c, l; \alpha) \tag{2.39}$$

where

$$\xi(a, b, c, l; \alpha) = \int_0^{\infty} \frac{2k + it}{k + it + \alpha} \frac{H_0^{(1)}(Kb)H_1^{(2)}(K\alpha) - H_1^{(1)}(K\alpha)H_0^{(2)}(Kb)}{KH_1^{(1)}(K\alpha)H_1^{(2)}(K\alpha)} e^{-t(c+l)} dt \tag{2.40}$$

$M_+(\alpha)$ and $M_-(\alpha)$ are the split functions regular and free of zeros in the upper and lower halves of the complex α - plane, respectively.

$$M(\alpha) = M_+(\alpha)M_-(\alpha) , M_-(\alpha) = M_+(-\alpha) \tag{2.41}$$

The explicit expression of $M_+(\alpha)$ is given in [10] as follows

$$M_+(\alpha) = \sqrt{\pi i J_1(k\alpha) H_1^{(1)}(k\alpha)} \exp \left\{ i \frac{\alpha a}{\pi} \left[1 - \gamma + \ln \left(\frac{2\pi}{k\alpha} \right) + i \frac{\pi}{2} \right] - i \frac{k\alpha}{2} \right\} \times \exp \left\{ \frac{K(\alpha) a}{\pi} \ln \left(\frac{\alpha + iK(\alpha)}{k} \right) + q(\alpha) \right\} \prod_{m=1}^{\infty} \left(1 + \frac{\alpha}{\alpha_m} \right) \exp \left(\frac{i\alpha\alpha}{m\pi} \right) \tag{2.42}$$

where $\gamma = 0.57721 \dots$ is the Euler's constant and $q(\alpha)$ is given by

The coefficients f_m and g_m which are required in the evaluation of $G^+(\alpha, \alpha)$, are obtained from (2.8) – (2.9) and (2.28) – (2.29).

$$q(\alpha) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \left[1 - \frac{2}{\pi x J_1^2(x) + Y_1^2(x)} \right] \ln \left(1 + \frac{\alpha a}{\sqrt{(k\alpha)^2 - x^2}} \right) dx \tag{2.43}$$

2.4. Far Field

In the region $\rho > b$ total field can be evaluated from (2.12)

where L is a straight line parallel to the real α -axis, lying

in the strip $Im(-k) < Im\alpha < Imk$. Using (2.14), (2.20)

$$u_1(\rho, z) = \frac{1}{2\pi} \int_L A(\alpha) H_0^{(1)}(K\rho) e^{-iaz} d\alpha \tag{2.44}$$

$$u_1(\rho, z) = u_i(\rho, z) + u_r(\rho, z) + u_d(\rho, z) \tag{2.45}$$

where

$$u_i(\rho, z) + u_r(\rho, z) = \frac{b}{4} \int_l \frac{[Y_1(K\alpha)J_0(Kb) - J_1(K\alpha)Y_0(Kb)]}{H_1^{(1)}(K\alpha)} H_0^{(1)}(K\rho) e^{-i\alpha(z+c)} d\alpha \tag{2.46}$$

$$u_d(\rho, z) = -\frac{1}{2\pi} \int_l \frac{G^+(\alpha, \alpha)}{KH_1^{(1)}(K\alpha)} H_0^{(1)}(K\rho) e^{-i\alpha(z-l)} d\alpha \tag{2.47}$$

$$H_0^{(1)}(K\rho) \sim \sqrt{\frac{2}{\pi K\rho}} e^{i(K\rho - \pi/4)} \tag{2.48}$$

and replacing $H_0^{(1)}(K\rho)$ by its following asymptotic expression valid for $k\rho \gg 1$.

and applying the saddle point technique, we get

$$u_1(\rho, z) = u_d(r_1, \theta_1) + u_i(r_2, \theta_2) + u_r(r_2, \theta_2) \tag{2.49}$$

with

$$u_d(r_1, \theta_1) = \frac{i}{\pi} \frac{G^+(\alpha, -k \cos \theta_1)}{\sin \theta_1 H_1^{(1)}(k \sin \theta_1)} \frac{e^{ikr_1}}{kr_1} \tag{2.50}$$

$$u_i(r_2, \theta_2) + u_r(r_2, \theta_2) = \frac{kb}{2i} \frac{[Y_1(k \sin \theta_2)J_0(kb \sin \theta_2) - J_1(k \sin \theta_2)Y_0(kb \sin \theta_2)]}{H_1^{(1)}(k \sin \theta_2)} \frac{e^{ikr_2}}{kr_2} \tag{2.51}$$

where r_1, θ_1 and r_2, θ_2 are the spherical coordinates

and

$$\rho = r_1 \sin \theta_1, \quad z - l = r_1 \cos \theta_1 \tag{2.52}$$

$$\rho = r_2 \sin \theta_2, \quad z + c = r_2 \cos \theta_2 \tag{2.53}$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, some graphs showing the effect of the parameters of the problem on the diffracted field are presented. Numerical results are produced for the diffracted field as $20 \log |u_d(r_1, \theta_1)|$ with the observation angle θ changing from 0 to π .

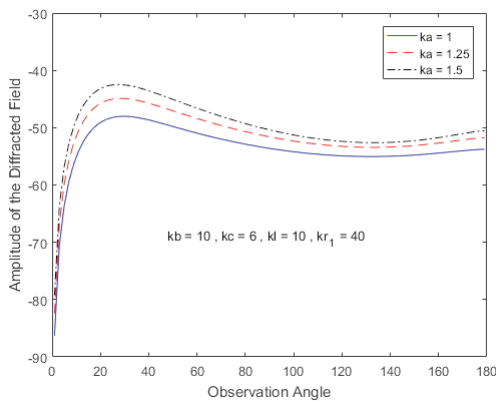


Figure 3. Field of diffraction with different values of ka

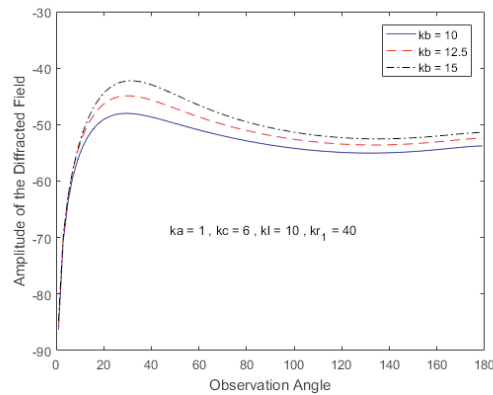


Figure 4. Field of diffraction with different values of kb

Fig. 3 and Fig. 4 show the variation of the diffracted field amplitude against the observation angle for different values of the pipe radius and ring source radius, respectively. Diffracted field amplitude increases with increasing values of pipe and ring source radius, as expected.

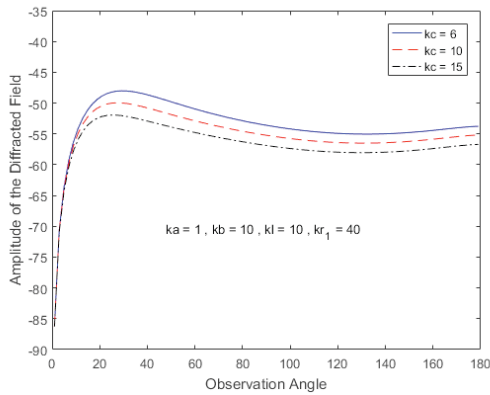


Figure 5. Field of diffraction with different values of kc

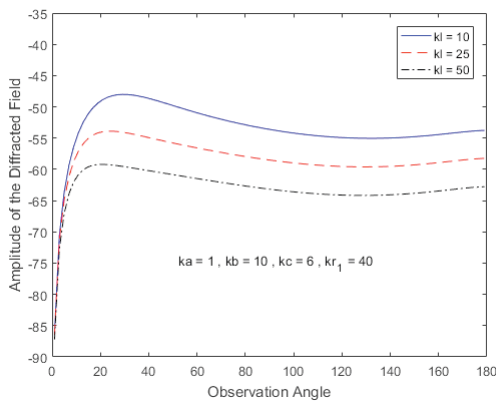


Figure 6. Field of diffraction with different values of kl

Fig. 5 and Fig. 6 display the same effect to the diffracted field for different values of kc and kl . Diffracted field amplitude decreases with increasing values of kc and kl .

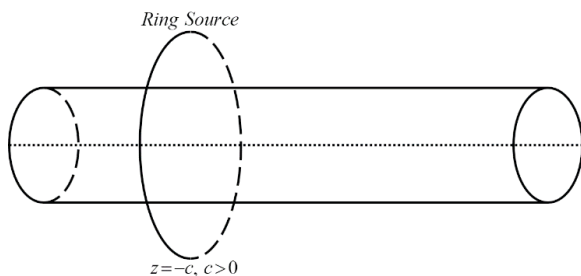


Figure 7. Ring source with an infinite pipe

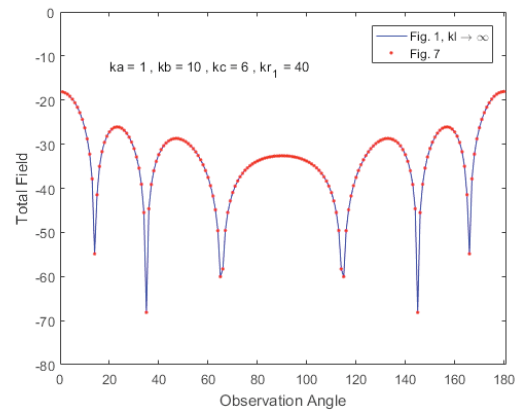


Figure 8. Comparison of the total field with Fig. 7

Fig. 8 depicts an excellent agreement between the Fig. 1 ($kl \rightarrow \infty$) and Fig. 7. In addition, Fig. 8 shows that the mathematical problems encountered are rigorously examined.

IV. CONCLUSION

In the present work, diffraction of sound waves emanating from a ring source by semi-infinite rigid pipe has been investigated by using the Fourier transform technique in conjunction with the Wiener-Hopf technique. The problem is modelled two dimensional due to symmetry of the geometry. An analytical solution is derived by solving the Wiener-Hopf equation. To a better understanding the effect of the parameters of the problem on the diffracted field, graphics are presented.

REFERENCES

- [1] Levine, H., and Schwinger, J. (1948). On the radiation of sound from an unflanged circular pipe. *Physical Review*, 73, 383–406.
- [2] Noble, B. (1958). *Methods Based on the Wiener-Hopf Techniques*. Pergamon Press, London.
- [3] Büyükaksoy, A., and Demir, A. (2006). Radiation of sound from a semi-infinite rigid duct inserted axially into a larger infinite tube with wall impedance discontinuity. *ZAMM – Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 86, 563-571.
- [4] Hassan, M., and Rawlins A. D. (1999). Sound radiation in a planar trifurcated lined duct. *Wave Motion*, 29, 157–174.
- [5] Demir, A. (2017). Scattering matrices in non-uniformly lined ducts. *ZAMP – Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik*, 68, 1-15.
- [6] Tiryakioglu, B., and Demir, A. (2019). Radiation analysis of sound waves from semi-infinite coated pipe. *International Journal of Aeroacoustics*, 18(1), 92-111.

- [7] Büyükaksoy, A., and Polat, B. (1998). Diffraction of acoustic waves by a semi-infinite cylindrical impedance pipe of certain wall thickness. *Journal of Engineering Mathematics*, 33,333-352.
- [8] Tiryakioglu, B., and Demir, A. (2015). Wiener-Hopf Analysis of Sound Waves by a Rigid Cylindrical Pipe with External Impedance Surface. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 9, 558-565.
- [9] Polat, B. (1999). Diffraction of Acoustic Waves by a Cylindrical Impedance Rod of Finite Length. *ZAMM – Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 79, 555-567.
- [10] Demir, A., and Büyükaksoy, A. (2003). Radiation of Plane Sound Waves by a Rigid Circular Cylindrical Pipe with a Partial Internal Impedance Loading. *Acta Acustica United with Acustica*, 89, 578-585.

Kimya Endüstrisi Atık Suyunun Pilot Ölçekte Anaerobik/Anoksik/ Aerobik Membran Biyoreaktörde Arıtımı

The Treatment of a Chemical Industry Wastewater in Anaerobic/Anoxic/Aerobic Membrane Bioreactor at Pilot Scale

Özgür AKTAŞ¹ , Erkan ŞAHİNKAYA¹ , Mehmet YÜCEYURT² , Muzaffer ULUDAĞ² 

¹*İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, 34700, İstanbul, Türkiye*

²*ENTA Arıtma Sistemleri LTD, Fazıl Kaftancıoğlu Cad, Seba İş Mrk., Seyrantepe, İstanbul, Türkiye*

Öz

Bir kimya kompleksinin ortak arıtma tesisinin birincil arıtma çıkışından temin edilen atık suyun yaklaşık 16 m³ hacminde pilot ölçekte anaerobik, anoksik ve aerobik bölmelerden oluşan batık membran biyoreaktör sisteminde arıtımı yaklaşık sekiz ay boyunca takip edilmiştir. Çalışmada kullanılan atıksu, organik bileşiklerinin azot içermesi ve yüksek amonyum nedeniyle yüksek azotun yanı sıra üretimde kullanılan boya ve pigmentler nedeniyle yüksek renk de içermektedir. Atıksuda 1500-2000 mg/L seviyelerinde olan KOİ, MBR çıkışında % 80-88 arasında değişen giderim verimleriyle 200-300 mg/L seviyelerine düşmüştür. Toplam azot (TN) ise 200-250 mg/L'den % 70-80 arasında değişen giderim verimleriyle 40-50 mg/L seviyelerine indirilebilmiştir. TN'nin daha fazla düşürülebilmesi, girişteki yüksek TN nedeniyle geri devir artırılrsa bile denitrifikasyonun yeterli olmaması ve atık suyun 20-30 mgN/L kadar biyolojik olarak ayrıştırılmayan organik azot içermesine bağlanmıştır. Renk gideriminin ise %78±14 verimle stabilize olduğu son 4 aylık dönemde, çıkış renk değerleri 136±64 Pt-Co değerlerine kadar düşürülebilmiştir. Proses parametreleri kontrol edilerek tıkanma sorunu olmadan reaktörün işletimi başarıyla sağlanmıştır. Netice itibarıyla çalışmalar göstermiştir ki A2O-MBR prosesi ile biyolojik olarak inert organik maddesi ve toplam azotu çok yüksek olan bir kimya endüstrisi atıksuyu için oldukça yüksek giderim oranları elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: kimya endüstrisi atıksuyu; membran biyoreaktör; azot giderimi, A2O prosesi

Abstract

Wastewater obtained from the primary treatment effluent of a chemical complex was treated in a submerged membrane bioreactor consisting of anaerobic, anoxic and aerobic departments at pilot scale volume of 16 m³ and the treatment performance was followed for about eight months. The wastewater contained high nitrogen owing to nitrogen-bearing organic compounds and high ammonia and color due to dyes and pigments, which were used during production. COD ranging between 1500-2000 mg/L in the influent decreased to about 200-300 mg/L with the removal efficiencies of 80-88 %. Total nitrogen (TN) could be decreased to 40-50 mg/L from influent values of 200-250 mg/L with removal efficiencies of 70-80 %. TN could not be decreased to lower levels since denitrification could not be sufficient even if recirculation ratio was increased because of high TN in the influent and the presence of nitrogen-bearing inert organic matter corresponding to 20-30 mgN/L. Effluent color decreased to 136±64 Pt-Co with the removal efficiencies of 78±14 % during the final four months of operation. Reactor was successfully operated without fouling problems by controlling the process parameters. A2O-MBR process obtained quite high removal efficiencies for a chemical industry wastewater comprising high amounts of inert organics and total nitrogen.

Keywords: Chemical industry wastewater; membrane bioreactor; nitrogen removal, A2O process

I. GİRİŞ

Kimya endüstrisi biyolojik olarak ayrıştırılmayan veya zor ayrıştırılan çok çeşitli organik bileşikleri üretmekte veya üretimde ham madde olarak kullanmaktadır. Bu üretim neticesinde çoğunlukla atık suda biyotaya yabancı veya biyolojik olarak

zor ayrıştırılabilen bileşikler görülmektedir. Bu bileşikler konvansiyonel arıtma tesislerinde uzaklaştırılmadıkları için doğaya salınabilmekte ve ciddi ekolojik zararlara yol açabilmektedirler [1]. Bunun yanı sıra, kimya endüstri atık suları yüksek organik madde, renk, azot, fosfor ve iletkenlik içerebilmektedir. Bu nedenle konvansiyonel fizikokimyasal çöktürme ve aktif çamur prosesleriyle arıtılmaları zararlı etkilerinin önlenmesi için genellikle yeterli olmamaktadır.

Ancak, konvansiyonel arıtma tesislerinde giderilmesi zor olan bazı organik bileşiklerin çamur yaşı daha yüksek olması nedeniyle membran biyoreaktörlerde (MBR) giderilmesi mümkün olabilmektedir [2]. Bununla birlikte MBR'lerin endüstriyel atıksulardan azot ve fosfor giderimini de artıracak şekilde anaerobik/anoksik/aerobik membran biyoreaktör (A2O-MBR) konfigürasyonu ile işletilmesiyle ilgili de literatürde çeşitli örnekler verilmiştir [3]. Örneğin bir çalışmada kömür işleme atık suyu farklı tanklarda anaerobik, anoksik ve takiben aerobik MBR prosesleri ile ve A2O-MBR prosesinin endüstriyel atıksularda karbonun yanı sıra azot ve fosfor gideriminde de kullanılabilirliği gösterilmiştir [4]. Bir başka çalışmada da MBR sistemlerinde simültane azot ve fosfor gideriminin sağlanabildiğini gösterilmektedir [5]. A2O-MBR konfigürasyonu, azot ve fosfor gideriminin yanı sıra bazı dirençli organik bileşiklerin anaerobik mikroorganizmalar tarafından parçalanma ihtimalini de artırmaktadır [6]. A2O-MBR prosesi endüstriyel atıksuların geri kullanımı amacıyla da tercih edilebilmektedir [7]. Literatürde farklı endüstriyel atık suların birbirini takip eden anaerobik-anoksik-aerobik (A2O) proseslerle arıtılması ve ardından nanofiltrasyonla yeniden kullanılabilir kaliteye getirilmesi konusunda da çalışmalar mevcuttur [8]. MBR-NF teknolojisinin endüstriyel atık suların pilot-ölçekte arıtılması ve suyun geri kazanımı için kullanımına örnek teşkil eden çalışmalar da literatürde mevcuttur [9].

Literatürde karışık kimya endüstrisi atıksuyunun A2O-MBR prosesiyle arıtılmasına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle, çalışmanın pilot ölçekte ve gerçek atık suyla yapılması nedeniyle literatüre ve uygulayıcılara önemli katkı sağlaması beklenmektedir. Çalışmamızda, A2O-MBR prosesi için organik madde, azot, fosfor ve renk gibi parametrelerin atık suda giderilme performansı ve membran tıkanma özellikleri farklı işletme koşullarında test edilerek en iyi performans veren şartların belirlenmesi hedeflenmiştir. A2O konfigürasyonu ile yüksek azot ve fosfor konsantrasyonlarına sahip kimya endüstrisi atıksularının nutrient içeriğinin azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca, A2O prosesinde hem anaerobik hem de aerobik şartlarda biyolojik arıtmanın gerçekleşmesi, özellikle aerobik şartlarda degradasyona dirençli olan, ancak anaerobik şartlarda biyolojik olarak ayrıştırılabilen bazı organik bileşiklerin de

konvansiyonel aktif çamur sistemlerine kıyasla degradasyonunun artırılması beklenmektedir. Elde edilecek A2O-MBR çıkış suyunun nanofiltrasyon veya ters ozmos ile ileri arıtma sonucunda proseste tekrar kullanılabilir kalitede olması beklenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Atıksu Özellikleri

Çalışmada atıksu 5 farklı kimya fabrikasının ortak arıtma tesisinin birincil arıtma çıkışından temin edilerek pilot ölçekli tesise pompalanmıştır. Atık suyun elde edildiği tesislerde akrilik tow ve elyaf üretilmekte ve beyazlatılmaktadır. Üretimde kullanılan temel organik ham maddeler akrilonitril monomer, vinil asetat monomer, dimetilasetamid, optik beyazlatıcılar, çeşitli aminler, metil alkol, etil alkol, çeşitli esterler, çeşitli organik solventler ile çeşitli boya ve pigmentler olarak sıralanabilir. Bunun yanı sıra atık suyun organik bileşiklerinin azot içermesi ve yüksek amonyum nedeniyle yüksek azotun yanı sıra sülfat ve klorür nedeniyle yüksek iletkenlik ve üretimde kullanılan boya ve pigmentler nedeniyle de renk içerdiği görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Karışık kimya endüstrisi atık suyunun özellikleri

Parametre	Konsantrasyon
KOİ, mgO ₂ /L	1571 ± 375
Toplam N, mgN/L	232 ± 62
Toplam P, mgP/L	1,4 ± 0,7
Renk, Pt-Co	703 ± 234
İletkenlik, µS/cm	9243 ± 1053
pH	9,7 ± 0,5
Yağ ve gres, mg/L	6 ± 4,4
Sülfat (mg/L)	2008 ± 285
Klorür (mg/L)	1500 ± 727

2.2. Pilot Ölçekli Reaktör

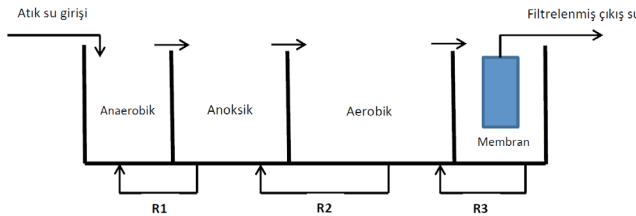
A2O-MBR prosesi için yaklaşık olarak toplam 16 m³ hacminde anaerobik, anoksik ve aerobik bölmelerden oluşan bir reaktör tasarlanmış ve buna bir batık membran modülü ve modülün yerleştirileceği bir membran tankı da ilave edilmiştir. Reaktörün temel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Reaktörde atıksu sırasıyla anaerobik, anoksik, aerobik ve membran tanklarına alınmaktadır. Reaktörde tam karışım anaerobik ve anoksik tanklarda mekanik karıştırıcılar vasıtasıyla, aerobik bölme ve membran tankında havalandırma ile sağlanmıştır. Anoksik tanktan anaerobik tanka çamur geri devri (R1), denitrifikasyonu sağlamak için aerobik tanktan anoksik tanka geri devir (R2) ve membran tankından aerobik tanka geri devir (R3) pompalar vasıtasıyla

gerçekleştirilmiştir. Reaktör bölmeleri ve geri devirlerin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. MBR, çamurun yüklenerek devreye alınması ve stabil değerlerin elde edilmesinden sonra 8 ay süreyle 2-8 gün arasında değişen hidrolik bekleme sürelerinde (HRT) işletilmiştir.

Tablo 2. A2O Membran Biyoreaktör özellikleri

Anaerobik tank Hacmi	1,69 m ³
Anoksik tank Hacmi	4,8 m ³
Aerobik tank Hacmi	9,6 m ³
Membran tank Hacmi	1,92 m ³
Atıksu debisi	10 m ³ /gün
Pompalanan Hava debisi	60 m ³ /saat
SADm değeri	0,3 m ³ /m ² .saat
Membran alanı	50 m ²
Akı	8-12 L/m ² /saat

PLC sistemi ile on-line olarak tüm sistem bilgisayar ortamında takip edilmiş, veriler otomatik olarak kaydedilmiştir. Reaktör içerisinde anaerobik tankta pH, sıcaklık ve ORP, anoksik tankta ORP, aerobik tankta çözülmüş oksijen ve AKM, membran ünitesinde pH, sıcaklık, AKM, seviye ve çıkışında bulanıklık değerleri sensörler vasıtası ile on-line olarak ölçülmüş ve veriler kaydedilmiştir. PLC sistemi kullanılarak debi on-line olarak kontrol edilmiş, böylece HRT online olarak ölçülebilmştir. PLC sistemi kullanılarak geri devir pompaları on-line olarak kontrol edilmiş, böylece geri devir oranı kolayca istenen değerlere getirilebilmiştir. Akı değerleri ve zamana bağlı değişimleri PLC sistemi kontrol paneli üzerinden online olarak takip edilip, değişimler kayıt altına alınmıştır. TMP (Trans membrane pressure) ölçümleri de on-line olarak yapıp kaydedilmiştir. Membranlar fasiyalı filtrasyon ile işletilmiştir (5 dakika on, 1 dakika off). Membranlarda fiziksel temizleme amacıyla membrana verilen havanın birim membran alanı başına düşen debisini gösteren SADm değeri ilk etapta 0,5 m³/m².saat olarak tutulmuş olup, daha sonra 0,3 m³/m².saat değerine düşürülmüştür.



Şekil 1. A2O-MBR Prosesinin Şematik Gösterimi

Proses için en uygun olabilecek membran araştırılmış ve Mitsubishi Rayon Sterapore 5700 serisi Hollow fiber membranının kullanılmasına karar verilmiştir. Membran PVDF

malzemeden üretilmiş olup 0,05 μ gözenek çapına sahip olup, her bir fiberin çapı 1,65 mm’dir. Her bir membran elemanın boyutları 18 mm derinlik, 594 mm genişlik ve 1 metre boy ve membran yüzey alanı ise 5 m² olup, sistem için 10 membran elemanından oluşan ve toplam yüzey alanı 50 m² olan membran modülü kullanılmıştır. Düz tabaka yerine hollow fibre membranın tercih edilmesinin sebebi, hollow fibre membranların birim hacimde daha fazla membran alanına sahip olmasıdır. Böylece hollow fibre membran kullanılarak aerobik tanka kıyasla çok daha az hacme sahip olan ayrılmış bir membran tankında yüksek membran yüzey alanı kullanmak mümkün olmuştur.

MBR’de akı genellikle 8-12 LMH arasında tutulmuştur. TMP ise 165 mbar civarında sabitlenmiştir. Stabil kalan TMP membranda tıkanma olmadığını göstermiştir. Bu akılar için 0,3 m³/m².saat SADm değerinde havayla sıyırma yoluyla yapılan sürekli fiziksel temizleme ve fasiyalı filtrasyon (5 dakika on – 1 dakika off) uygulanması yeterli olmuştur. Bu nedenle geri yıkamaya ve kimyasal temizlemeye ihtiyaç duyulmamıştır. 2-8 gün arasında değişen HRT’lerde çalışılmıştır. Denitrifikasyon performansını artırmak için anoksik tanka geri devir oranı 4’den 10’a kadar yükseltilmiştir.

İşletim süresince online ölçümlere ek olarak reaktör giriş ve çıkışında KOİ, nitrat, nitrit, toplam azot, amonyum azotu, fosfat, sülfat ve renk analizleri yapılmak üzere haftada 2-3 kez numune alınmıştır. Analizler standart metotlara [10] göre gerçekleştirilmiştir.

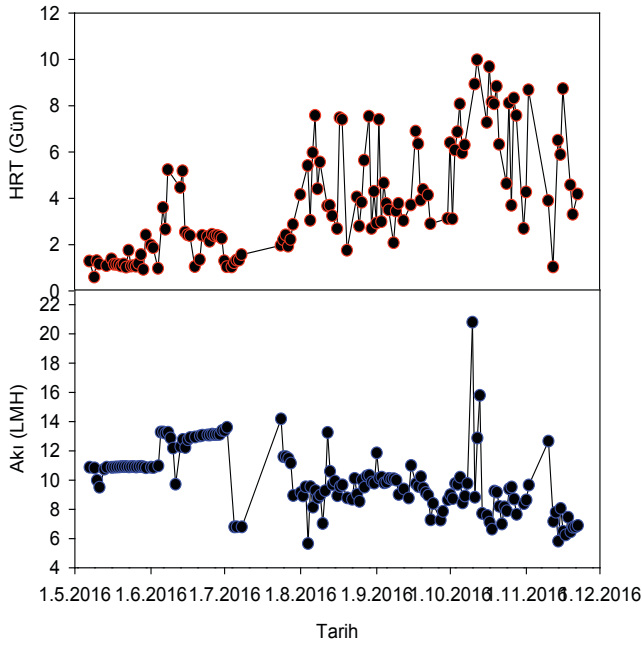
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. TMP ve Akı Değişimleri

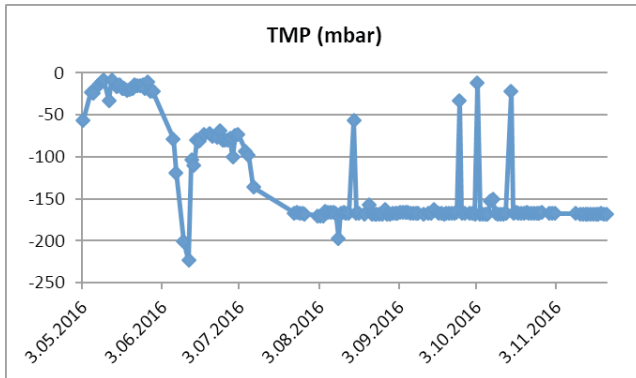
İşletim süresince MBR’de akı genellikle 8-12 LMH (L/m²/saat) arasında tutulmuştur. TMP ise reaktör işletiminin ilk 2 aylık döneminde 20-70 mbar arasında değişirken bu dönemde yükselerek 165 mbar civarında sabitlenmiştir. Stabil kalan TMP membranda tıkanma olmadığını gösterir. Membranda kaçak olmadığında stabil akı ve basınç değerlerinin elde edilebildiği görülmüştür. 8-10 LMH arasındaki bu akılar için SADm değeri 0,3 m³/m².saat olarak uygulanan havayla sıyırma yoluyla yapılan sürekli fiziksel temizleme ve fasiyalı filtrasyon (5 dakika on – 1 dakika off) uygulanması yeterli olmuştur. Bu nedenle geri yıkamaya ve kimyasal temizlemeye ihtiyaç duyulmamıştır.

Hidrolik bekleme süresi (HRT) ile günlük ortalama akı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Günlük ortalama akı, HRT’nin 1-2 gün olduğu ilk 2 aylık dönemde 10-14 LMH arasında değişmekte iken ortalama membran basıncı 10-30 bar arasında kaydedilmiştir (Şekil 3). Bu dönemde önceki

dönemden farklı olarak, SADm değeri 0,5 m³/m².saat'den 0,3 m³/m².saat'e düşürülmüştür ve bu değişikliğin membran basıncına olan etkisi takip edilmiştir. Daha sonraki süreçte ise akı 8-10 LMH arasına düşürülmüştür. Ayrıca HRT 2-10 gün arasında dalgalanmıştır. Membran basıncında ise zaman zaman membran kaçağı sorunları nedeniyle dalgalanmalar görülmüş olsa da genellikle 160-170 mbar civarında stabil tutulmuştur (Şekil 3).



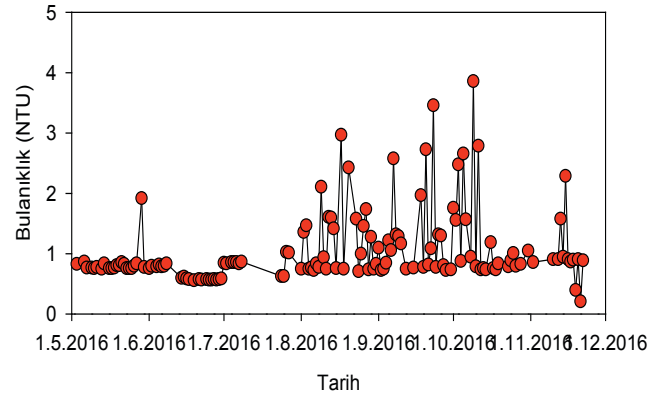
Şekil 2. İşletim sırasında HRT ve ortalama akı değişimi



Şekil 3. İşletim sırasında TMP değişimi

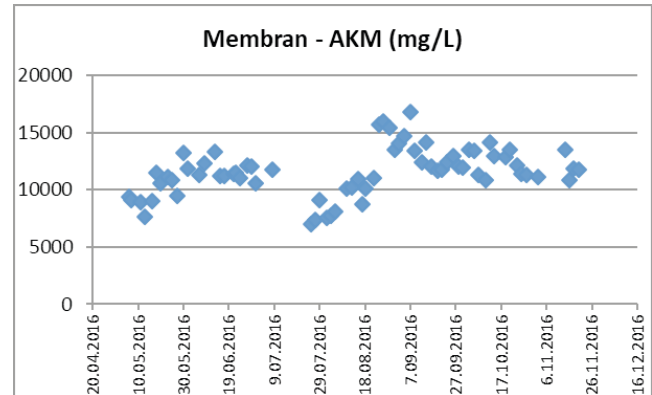
İşletim esnasında süzüntüde ölçülen bulanıklık değerleri membran filtrasyonu esnasında membrandan askıda katı madde (AKM) kaçağının olup olmadığını gösterir. MBR çıkışında

günlük ortalama bulanıklık değerleri Şekil 4'de verilmektedir. TMP'nin düşük olduğu (Şekil 3), yani membran filtrasyonunda sorun olmadığı dönemde ortalama bulanıklık genellikle 1 NTU'nun altında olup, belli aralıklarda küçük membran kaçaqlarıyla 4 NTU'ya kadar çıkmaktadır. Zaman zaman 10-20 NTU seviyelerinde bulanıklığa yol açacak kaçaqlar gözlenmiş ve bu dönemlerde membran onarılmıştır. Ancak bu dönemde çok büyük membran kaçağı olmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 4. MBR çıkışında günlük ortalama bulanıklık değerleri

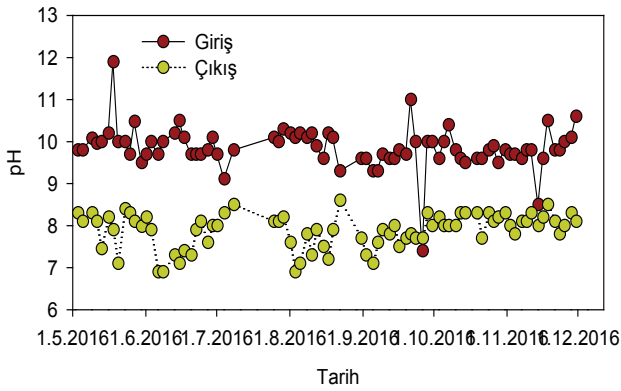
Membran tankındaki AKM konsantrasyonu ise membran tıkanmasını etkileyen faktörlerden biridir. Membran tankındaki günlük ortalama AKM konsantrasyonları Şekil 5'de verilmektedir. Membran tankında AKM konsantrasyonu ilk dönemde 9000 mg/L seviyelerinden başlamış ve 11500 mg/L'ye kadar yükselmiştir. Bu dönem başında ise fazla çamur çekilmesi nedeniyle AKM 7000-9000 mg/L seviyelerine düşse de 1 ay içerisinde tekrar 12000 mg/L ve üzerine yükselmiştir. Kullanılan membran için üretici tarafından önerilen 5000-15000 mg/L AKM değerleri arasında kalmıştır.



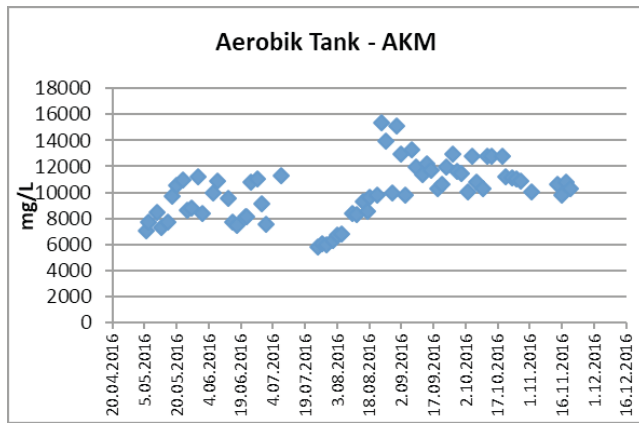
Şekil 5. Membran tankında AKM konsantrasyonları

3.2. Fizikokimyasal Parametrelerin Değişimi

MBR’de işletme şartlarına bağlı olarak fizikokimyasal parametrelerde görülen değişimler sürekli olarak kaydedilmiş ve bunların kirletici parametrelerin giderimine olan etkileri analiz edilmiştir. MBR giriş ve çıkışındaki pH değerleri ile MBR aerobik tankındaki AKM konsantrasyonları sırasıyla Şekil 6 ve 7’de verilmektedir. Görüldüğü gibi MBR giriş pH’sı 10 civarından nitrifikasyonun da başlamasıyla MBR çıkışında 8 civarına düşmektedir. Reaktörde AKM 10000-13000 mg/L arasında tutulmuş, bunun için günde yaklaşık olarak 350 L çamur atılmıştır. Dolayısıyla sistemin çamur bekleme zamanı (SRT) ortalama olarak 50 gün civarında kalmıştır.



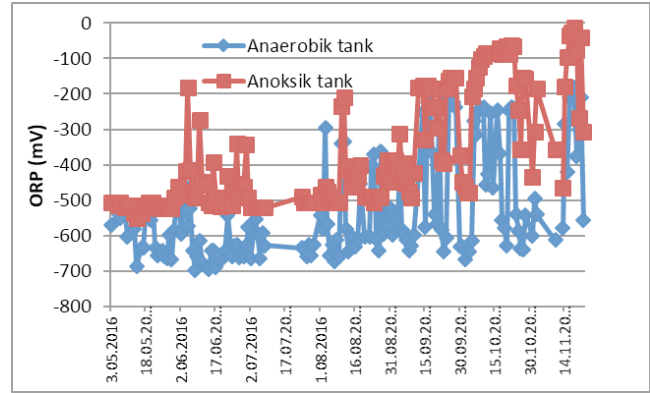
Şekil 6. MBR giriş ve çıkışında pH değerleri



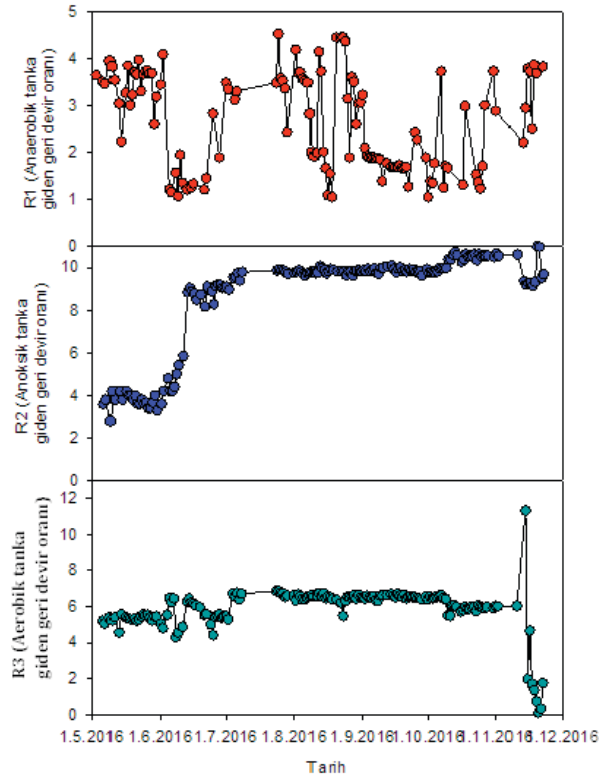
Şekil 7. Aerobik tankta AKM konsantrasyonları

A2O prosesinde anaerobik ve anoksik tanklarda ORP, aerobik tankta ise oksijen konsantrasyonları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu parametreler sensörler ile online takip edilmekte ve PLC sistemiyle değerler otomatik olarak kaydedilmektedir. ORP için günlük ortalama değerler Şekil 8’de görülebilir. İlk dönemde anaerobik tankta ORP – 500 ile – 700 mV arasında değişirken, anoksik tankta ORP – 400 ile – 500

mV arasında değişmiştir. İçsel geri devir oranlarının artması ve aerobik tankta oksijenin zaman zaman artmasına bağlı olarak ORP anaerobik tankta – 200 ile – 700, anoksik tankta ise çoğunlukla – 100 ile – 500 arasında dalgalanmıştır. İçsel geri devir oranlarındaki değişimler Şekil 9’da verilmiştir. Son dönemlerde ORP’nin – 100’ün de üzerine çıkan değerlerde olması, denitrifikasyonu olumsuz etkilemiştir. Aerobik tankta ise çözülmüş oksijen 2 mg/L’nin üstünde tutulmuştur.



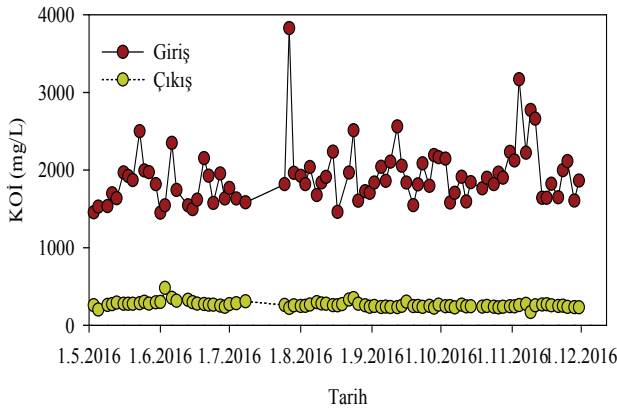
Şekil 8. Anaerobik ve anoksik tanklarda ORP değişimi



Şekil 9. İçsel geri devir oranları R1: anoksik tanktan anaerobik tankta, R2: aerobik tanktan anoksik tankta, R3: membran tankından aerobik tankta

3.3. Organik Madde, Azot ve Renk Giderimi

MBR'de kirletici giderim performansı parametrelerin sıklıkla ölçülmesiyle takip edilmiştir. Genellikle 1500-2500 mg/L arasında ölçülen KOİ giriş değerleri (ortalama 1960 ± 550 mg/L), çıkışta yüzde 80-88 arasında değişen giderim verimleriyle 250-300 mg/L seviyelerine (ortalama 260 ± 40 mg/L) düşmüştür. MBR giriş ve çıkışında ölçülen KOİ değerleri Şekil 10'da görülebilir. MBR girişinde KOİ değerleri önemli ölçüde dalgalansa da MBR çıkışında KOİ diğer parametrelere kıyasla çok daha stabil kalmıştır ve büyük dalgalanmalar olmamıştır. Bunun sebebi çıkış suyundaki KOİ'nin biyolojik olarak giderilemeyen organik maddeden oluşmasıdır. MBR sisteminin biyolojik olarak giderilebilen organik maddeyi tamamıyla giderdiği düşünülmektedir. Çalışılan atık suda bulunan inert organik bileşikler ise ne anaerobik ne de aerobik şartlarda biyolojik olarak ayrıştırılamamıştır.



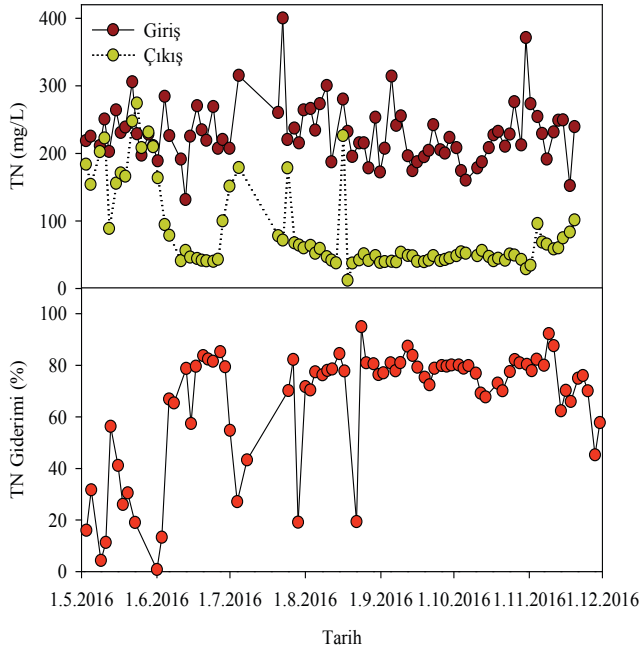
Şekil 10. MBR giriş ve çıkışında KOİ değerleri

Girişte 200-250 mg/L arasında değişen (ortalama 229 ± 44 mg/L) toplam azot (TN) için giderim verimi işletmenin ilk ayı boyunca çok dalgalı bir seyir izlemiş ve sonrasında % 70-80 arasında değişen giderim verilerine ulaşılmıştır. Reaktörün en verimli çalıştığı dönemlerde TN konsantrasyonu 40-50 mg/L seviyelerine indirilebilmiştir (Şekil 11). Ancak TN değerleri 30 mg/L'nin altına indirilememiştir. Bunun başlıca nedeni denitrifikasyonun yeterli olmamasıdır. Giriş ve çıkıştaki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları Şekil 12'de, reaktör çıkışındaki $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonları Şekil 13'de verilmektedir. Denitrifikasyon performansını artırmak için anoksik tanka geri devir oranı 4'den 10'a kadar yükseltilmiştir (Şekil 9).

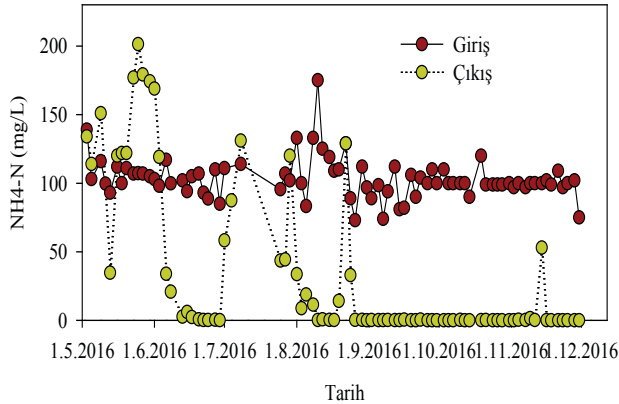
$\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları girişte 100 mg/L civarında seyrederken, reaktörün işletmeye alınmasından sonraki 1 aylık dönemde ve işletme sorunlarının yaşandığı temmuz

ayında çıkış konsantrasyonları dalgalanmış olmakla birlikte, genellikle MBR çıkışında $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları 1 mg/L'nin altında sıfıra yakın değerlerde tespit edilmiştir (Şekil 12). Bu da MBR'da nitrifikasyonun başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak Şekil 9'da görüldüğü gibi aerobik tanktan anoksik tanka içsel geri devir oranları 10'a kadar yükseltile de giriş TN konsantrasyonları yüksek olduğu için çıkışta nitrat konsantrasyonu denitrifikasyon veriminin en fazla olduğu dönemde dahi 15-20 mg/L seviyelerinde kalmıştır (Şekil 13) ve daha aşağı indirmek mümkün olmamıştır. Dolayısıyla, denitrifikasyon için biyolojik olarak ayrıştırılabilir organik madde miktarı yetersiz kalmış olup, anoksik tanka harici organik madde gibi bir elektron vericisinin ilavesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Zira aerobik tankta biyolojik olarak giderilebilen organik maddelerin çoğu giderilmiş olduğu için denitrifikasyon oranını artırmak için aerobik tanktan anoksik tanka 10'a kadar yükseltile geri devir oranları neticesinde (Şekil 9) anoksik tankta denitrifikasyon bakterilerinin kullanılabileceği yeterince biyolojik olarak ayrıştırılabilir organik maddenin kalmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, giriş suyunda C/N oranları denitrifikasyon için fazlasıyla yeterli olsa da A2O sisteminde yüksek geri devir oranlarında anoksik tankta biyolojik olarak giderilebilir organik madde miktarı nitratın tamamının giderimi için yeterli olmamıştır. Ancak buna rağmen geri devir oranının artırılması toplam azot giderimini % 80 seviyelerine kadar çıkarmıştır (Şekil 11).

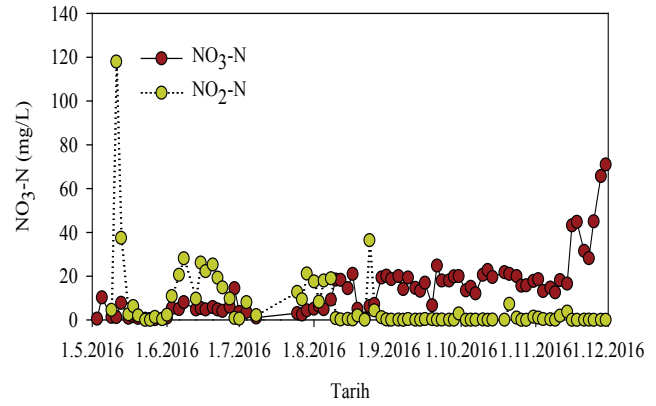
Aynı dönemlerde MBR çıkışında TN 60-90 mg/L arasında değişmiştir. Bu dönemlerde $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in neredeyse tamamen giderildiği dikkate alınırsa, çıkışta ölçülen TN'nin önemli bölümünün biyolojik olarak ayrıştırılamayan organik azottan oluştuğu ortaya çıkmaktadır. MBR girişinde organik azot 100-150 mg/L civarında seyrederken (ortalama 125 ± 50 mg/L), MBR çıkışındaki 40-50 mg/L seviyelerindeki toplam azotun 20-30 mg/L'sinin organik azot olduğu söylenebilir (ortalama 26 ± 8 mg/L). Yani organik azotun yaklaşık %20'si amonyuma dönüşmemekte ve bu nedenle nitrifikasyon-denitrifikasyon döngüsüne dahil olmamaktadır. Söz konusu kimya endüstrisi üretimde azot içeren organik maddeler kullanılmaktadır ve bunların önemli bir bölümü biyolojik olarak ayrıştırılabilir olmadığı için TN değerlerinin A2O prosesiyle dahi hedeflenen 30 mg/L'nin altındaki değerlere indirilmesi oldukça zor görülmektedir. Bu hedefe yaklaşabilmek için nitratın % 100'e yakın verimle denitrifikasyonunun sağlanması gerekmektedir.



Şekil 11. MBR giriş ve çıkışında toplam azot konsantrasyonları ve giderimi

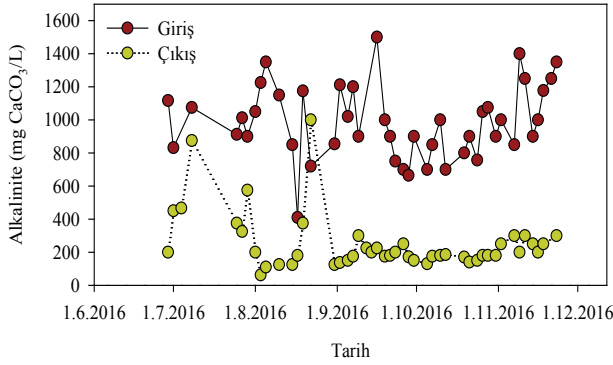


Şekil 12. MBR giriş ve çıkışında amonyum azotu konsantrasyonları



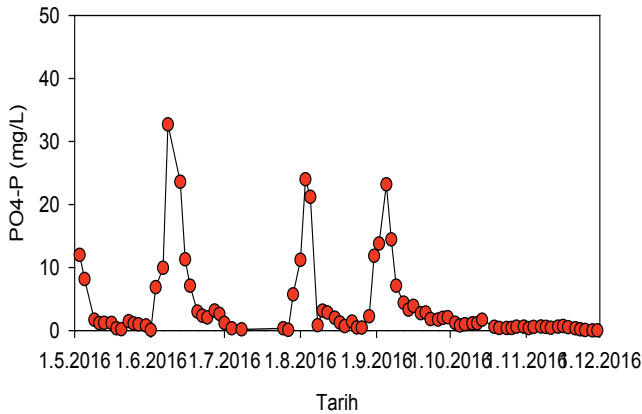
Şekil 13. MBR çıkışında nitrat ve nitrit azotu konsantrasyonları

Şekil 13'de görüldüğü gibi reaktörün işletilmeye başlandığı ilk ay içerisinde nitrifikasyon gerçekleşmemiş, sonraki 2 ayda ise nitrit birikimi görülmüştür. Ancak daha sonra nitrifikasyonun tam olarak gerçekleştiği ve nitrit birikiminin artık söz konusu olmadığı görülmektedir. Nitrit konsantrasyonları bu dönemde çoğunlukla 1 mg/L'nin altında (ortalama 0,7 mg/L) ölçülmüştür. Reaktör sistemi her tarafı kapalı bir konteyner içerisine yerleştirilmiş olduğu ve kış aylarına gelmeden çalışma bitirildiği için reaktör içerisinde su sıcaklıkları 20-25 °C arasında değişmiş ve nitrifikasyonu olumsuz etkileyecek şartlar oluşmamıştır. Bu nedenle işletilen A2O-MBR sisteminde azot giderimi açısından sınırlayıcı faktör nitrifikasyon değil, azotlu organik maddelerin amonifikasyonu ve bunun yanı sıra denitrifikasyon basamakları olmuştur. Şekil 14'te görüldüğü gibi alkalinite nitrifikasyon için yeterli olmuştur. Girişte 800-1200 mg/L CaCO₃ olan alkalinite tam nitrifikasyona rağmen 200 mg/L seviyelerinde kalmıştır. Denitrifikasyon esnasında oluşan alkalinite de MBR'de alkalitenin yeterli seviyelerde kalmasında etkili olmuştur. Bu nedenle alkalinite ilavesine ihtiyaç duyulmamıştır.

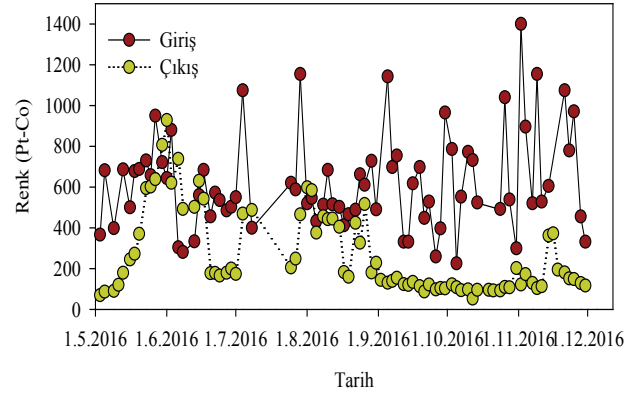


Şekil 14. MBR giriş ve çıkışında Alkalinite

MBR’de arıtılan kimya endüstrisi atıksuyu fosfor açısından zengin olmadığı ve öncesinde kimyasal arıtma esnasında da bir miktar fosfat giderimi sağlandığı için sistemde fosfor giderimi amaçlanmamıştır. Ancak yine de MBR çıkışında fosfat konsantrasyonları sürekli ölçülmüş ve çoğunlukla 1 mg/L’nin altında PO4-P konsantrasyonları ölçülmüştür. MBR içerisinde organik madde ve azot gideren bakteriler için fosfatın yetersiz kalıp kalmadığını tespit etmek için Şekil 15’te görüldüğü gibi reaktöre bazı dönemlerde fosfat ilave edilmiştir. Bu dönemlerde fosfat konsantrasyonu çıkışta 20-30 mg/L seviyelerine kadar yükselmiştir. Ancak fosfat ilavesinin kesildiği dönemlerde çıkış fosfat değerlerinin tekrar 1 mg/L’nin altına indiği görülmüştür. Fosfat ilavesinin yapıldığı ve bu nedenle MBR içinde konsantrasyonlarının yüksek olduğu dönemlerde gerek organik madde gerekse de azot giderimi açısından ilave bir iyileşme görülmemiştir. Bu da göstermiştir ki, sistemde fosfor özellikle azot gideren bakteriler için sınırlayıcı besi maddesi olmamaktadır ve atıksu içerisindeki fosfor yeterli olmaktadır. Bu nedenle fosfor ilavesi kesilmiştir.



Şekil 15. MBR çıkışında fosfat konsantrasyonları



Şekil 16. MBR giriş ve çıkışında renk konsantrasyonları

MBR’nin kurulduğu kimya tesisinde önemli parametrelerden biri de renktir. Zira proseste boyar maddeler de kullanılmaktadır. MBR pilot tesisin tüm işletim dönemi boyunca giriş renk değerleri 223-2485 Pt-Co arasında dalgalanırken (ortalama 732 ± 471 Pt-Co), % 53 ± 43 ortalama giderim verimleri sonucunda çıkış değerleri 265 ± 202 Pt-Co civarında görülmüştür. Renk giderimleri Şekil 16’da verilmiştir. Görüldüğü gibi HRT’nin 1,5 gün civarında (Şekil 2) olduğu ilk 2 aylık işletim döneminde renk giderim performansı düşük gerçekleşmiş, ancak HRT’nin 4 gün civarına yükseltilmesiyle çıkış renk konsantrasyonları önemli ölçüde azalmıştır ve 4 aylık işletme döneminin sonunda 200 Pt-Co’ın altında stabil hale gelmiştir. Renk gideriminin % 78 ± 14 giderim verimleriyle stabilize olduğu son 4 aylık dönemde ise çıkış renk değerleri 136 ± 64 Pt-Co değerlerine düşmüş ve deşarj standartları sorunsuz olarak sağlanabilmektedir. Membran filtrasyon sorunlarının görülmediği bu dönemlerde renk, hedeflenen 280 Pt-Co değerinin altında seyretmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi anoksik tanka geri devrin artırılmış olması ve Şekil 2’de görüldüğü gibi HRT’nin artırılmış olması renk gideriminin artmasında etkili olmuştur. Bu sonuçlar da göstermiştir ki kurulan pilot ölçekli A2O-MBR prosesi ile renk sorunu olan kimya endüstrisi atıksuyunda hedeflenen renk giderimleri sağlanabilmektedir.

3.4 Sonuç ve Değerlendirmeler

MBR, biyolojik olarak arıtımı zor olan böylesi bir kimya endüstrisi atıksuyu için oldukça yüksek sayılabilecek giderim verimleriyle ve membranda tıkanma sorunları yaşanmadan işletilebilmiştir. Atıksuda 1500-2000 mg/L seviyelerinde olan KOİ, MBR çıkışında yüzde 80-88 arasında değişen giderim verimleriyle 200-300 mg/L seviyelerine düşmüştür.

HRT'nin yükseltilmesi ve içsel geri devrin artırılması KOİ gideriminde artışa yol açmamıştır. Bu artırılmayan KOİ'nin biyolojik olarak inert olduğu ve daha fazla arttırulabilmesi için NF/RO gibi üçüncül bir arıtmanın gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Atıksuda 200-250 mg/L olan toplam azot için % 70-80 arasında değişen giderim verilerine ulaşılmıştır. Reaktörün en verimli çalıştığı dönemlerde toplam azot (TN) konsantrasyonu 40-50 mg/L seviyelerine indirilebilmiştir, ancak TN değerleri hedeflenen 30 mg/L'nin altına indirilememiştir. Bunun iki nedeni vardır, birincisi girişteki yüksek toplam azot nedeniyle her ne kadar geri devir arttırılsa bile denitrifikasyonun yeterli olmamasıdır. İkinci nedeni ise biyolojik olarak ayrıştırılmayan organik maddenin azot içermesi nedeniyle, MBR çıkışındaki toplam azotun 20-30 mg/L'sinin organik azottan kaynaklanmasıdır. Çıkışta TN'nin daha düşük seviyelere indirilebilmesi için çıkış suyunda hiç nitrat kalmaması ve denitrifikasyonun %100 verime ulaşması gerekmektedir ki bu içsel geri devirli bir sistemde teorik olarak da mümkün değildir. Bu nedenle ileri arıtma TN giderimi açısından da şarttır. Netice itibarıyla MBR çalışmaları göstermiştir ki biyolojik olarak inert organik maddesi ve azotu çok yüksek olan böyle bir kimya endüstrisi atıksuyu için çıkış değerlerinin daha düşük seviyelerde tutulabilmesi ancak MBR'yi takip eden nanofiltrasyon veya gerekirse ters osmoz prosesleri kullanılmalıdır. Bir başka uygulama da MBR'a toz aktif karbon ilave edilmesi veya çıkış suyunun GAK filtreden geçirilmesi olabilir. Renk giderimi ise MBR performansının stabil hale geldiği 3 aylık işletim sonrasında %78±14 giderim verimleriyle 136±64 Pt-Co çıkış değerlerine düşmüş ve hedeflenen 280 Pt-Co olan deşarj değerleri sorunsuz olarak sağlanabilmektedir.

Çalışmada pilot ölçekte bir örneği geliştirilen MBR'lerin klasik aktif çamur sistemlerine kıyasla en önemli avantajları zor ayrışan kirleticilerin daha iyi giderilebilmesi, membran filtrasyonunun sağladığı avantaj ile süzüntü suyunun partikül madde içermemesi ve bunlara bağlı olarak da yüksek kalitede yeniden kullanılabilme potansiyeli olan su üretilebilmeleridir. Çalışmamızda geliştirilen MBR'de anaerobik, anoksik ve aerobik bölmeler yer almış ve içsel geri devir ile klasik A2O prosesinin yüksek oranlarda azot giderme avantajlarından da yararlanılmıştır. Örnek bir kimya endüstrisi atıksuyunun arıtımı için geliştirilen pilot ölçekte A2O-MBR prosesi klasik aktif çamur sistemlerine göre hem A2O prosesinin hem de MBR teknolojisinin avantajlarını sağlamıştır. Proses parametreleri kontrol edilerek tıkanma sorunu olmadan reaktörün işletimi başarıyla sağlanmıştır. Deşarj

limitlerini sağlamanın yanı sıra, proses çıkışında elde edilen su, nanofiltrasyon veya ters osmoz proseslerinden geçirilerek yeniden kullanılma potansiyeline sahiptir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK TEYDEB 7150663 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Cao, S.M.S., Fontoura, G.A.T. Dezotti, M. ve Bassin, J.P. (2016). Combined organic matter and nitrogen removal from a chemical industry wastewater in a two-stage MBBR system. *Environ. Technol.*, 37, 96-107.
- [2] Judd, S. (2006). Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment. Elsevier Ltd, Oxford, UK.
- [3] Xiao, K., Xu, Y., Liang, S., Lei, T., Sun, J., Wen, X., Zhang, H., Chen, C. ve Huang, X. (2014). Engineering application of membrane bioreactor for wastewater treatment in China: Current state and future prospect. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 8(6), 805-819.
- [4] Zhao, W, Huang, X., Leeb, D., Wang, X. ve Shen Y. (2009). Use of submerged anaerobic-anoxic-oxic membrane bioreactor to treat highly toxic coke wastewater with complete sludge retention. *J.Membr. Sci.*, 330, 57-64.
- [5] Sun, F., Wang, X. ve Li, X., (2013). An innovative membrane bioreactor (MBR) system for simultaneous nitrogen and phosphorus removal. *Process Biochem.*, 48, 1749-1756.
- [6] Speece, R.E. (1996). Anaerobic Biotechnology for industrial wastewater treatments. Archae Press, Nashville, TN, USA.
- [7] Hu, Y., Wang, X.C., Zhang, Y., Li, Y., Chen, H. ve Jin P. (2013). Characteristics of an A2O-MBR system for reclaimed water production under constant flux at low TMP. *J. Membr. Sci.*, 431, 156-162.
- [8] Grilli, S., Piscitelli, D., Mattioli, D., Casu, C. ve Spagni, A. (2011). Textile wastewater treatment in a bench-scale anaerobic-biofilm anoxic-aerobic membrane bioreactor combined with nanofiltration. *J.Environ. Sci. Health A*, 46, 1512-1518.
- [9] Noronha, M., Britz, T., Mavrov, V., Janke, H.D. ve Chemiel, H. (2002). Treatment of spent process water from a fruit juice company for purposes of reuse: hybrid process concept and on-site test operation of a pilot plant.
- [10] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). 21. baskı, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.

Borik Asit Uygulanan Farklı Hasat Dönemlerindeki Yeşil Çay Yapraklarının Biyokimyasal Değişikliklerinin İncelenmesi

Investigation of Biochemical Changes of Green Tea Leaves Treated with Boric Acid in Different Harvest Periods

İşıl SEZEKLER¹, Zeynep Mine COŞKUN², Melike ERSÖZ²

¹Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Demiroğlu Bilim Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

C. sinensis yapraklarından elde edilen çayın antioksidatif ve antikarsinojenik gibi değişik farmakolojik etkileri vardır. Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gereksinim duyulan bor elementinin eksikliği reaktif oksijen türlerini meydana getirir. Yüksek bor konsantrasyonunun antioksidan enzim aktivitesini arttırdığı ve membran fonksiyonlarını reaktif oksijen türlerinin zararlarından koruduğu bilinmektedir. Çalışmamızın amacı; borik asit uygulanan yeşil çayın farklı dönemlerde hasat edilen yapraklarındaki biyokimyasal değişikliklerin incelenmesidir. Rize-Çayeli ilçesinde Çaykur deneme bahçesi 20 parsel ayrıldı. Gruplar, *C. sinensis*'e 0 (A grubu), 100 (B grubu), 300 (C grubu) ve 500 (D grubu) mg/m² konsantrasyonlarda borik asit uygulanarak oluşturuldu. Üç farklı hasat döneminde yeşil çay yaprakları toplandı ve sıvı nitrojende fikse edildi. Yeşil çay ekstrelerinden katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitelerinin ve glutatyon (GSH), malondialdehit (MDA) miktarlarının tayini yapıldı. SOD enzim aktivitesi ve GSH miktarı özellikle 3. hasat döneminde yüksekti, ayrıca B ve D gruplarında A grubuna göre anlamlı artış vardı (p < 0.05). MDA miktarında 1. hasat döneminde B, C ve D gruplarında, A grubuna göre bir azalma görüldü (p < 0.01). Bulgularımıza göre, yeşil çay yapraklarının yetiştiği topraklarda meydana gelen borik asit eksikliği çayın koruyucu özelliğini düşürebilir. Borik asit uygulanan bölgelerden elde edilen çay yaprakları ile antioksidan özelliğine sahip daha kaliteli ürünler elde edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Borik asit, yeşil çay, *C. Sinensis*, oksidatif stres, antioksidan

Abstract

Tea obtained from *C. sinensis* leaves has different pharmacological effects such as antioxidative and anticarcinogenic. The lack of boron elements required for the growth and development of plants causes the production of reactive oxygen species. It has been reported that high boron concentration also increases the antioxidant enzyme activity and protects the membrane functions from the damage of reactive oxygen species. The aim of this study was to investigate the biochemical changes of green tea leaves treated with boric acid in different harvest periods. Çaykur trial garden was divided into 20 parcels in Rize-Çayeli district. Groups were formed by applying boric acid to *C. sinensis* at concentrations of 0 (group A), 100 (group B), 300 (group C) and 500 (group D) mg/m². During three harvests, green tea leaves were collected and fixed in liquid nitrogen. The catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) enzyme activities and glutathione (GSH), malondialdehyde (MDA) levels of green tea extracts were determined. SOD enzyme activity and GSH level were high especially in the 3rd harvest period, and also B and D groups were significantly higher than A group (p < 0.05). There was a decrease in the B, C and D groups at the MDA level in the 1st harvest period compared to the A group (p < 0.01). According to our findings, the lack of boric acid in the soil where green tea leaves grow can reduce the protective properties of tea. Better quality products with antioxidant properties can be provided with tea leaves obtained from boric acid applied areas.

Keywords: Boric acid, green tea, *C. sinensis*, oxidative stress, antioxidant

I. GİRİŞ

Yeşil çay, *Camellia sinensis* L. olarak bilinen bitkinin yapraklarından elde edilmektedir. Dünyada tüketimi en fazla ikinci içecek olan çayın faydalı tıbbi özellikleri bulunmaktadır [1]. Yeşil ve siyah çay ülkemizde fazla miktarda tüketilen ve ekonomik olarak ulaşımı kolay bir içecektir. Çay içeriğindeki flavonoidlerin türleri ve miktarları; çayın bitki türüne, yetiştirme ortamına, işlenmesine, üretimine ve demlenmesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Çayın antioksidan aktivitesi ve fenolik bileşiklerinin içeriği çayın kalitesinin değerlendirilmesi için önemli bir göstergedir. Ayrıca, çevre koşulları (sıcaklık, yağış ve güneş ışığı miktarı), yetiştirme faktörleri (gübreleme, toprak, koparma standartları ve coğrafi konumu) ve çay toplamaya bağlı olarak dünyada ürün fiyatı ile bağlantılı sektörel pazarların oluşumu söz konusudur [2]. Bu nedenle, çayın antioksidan aktivitesini arttırmak çay sektöründe kalite için önem taşımaktadır.

Çayın bilinen farmakolojik etkileri arasında; antioksidatif, antiinflamatuvar, antimutajenik, antikarsinojenik, antiangiyojenik, apoptotik, antiobezite, hipokolesterolemik, antiaterosklerotik, antidiyabetik, antibakteriyel, antiviral, yaşlanmayı geciktirici ve proliferasyonu inhibe edici gibi farklı etkiler bulunur. Yapılan araştırmalarda; *C. sinensis* yapraklarının kalp damar hastalıkları, karaciğer hasarı, hipertansiyon ve çeşitli kanser türleri gibi birçok hastalığa karşı koruyucu etki yaptığı bildirilmiştir [3-9].

Bor bitki yetiştirilmesinde temel mikro elementlerden biri olup bitkide vejetatif büyüme, doku farklılaşması, enzimatik reaksiyonların düzenlenmesi, membran bütünlüğünün sağlanması, şeker taşınması ve nükleik asit sentezi gibi birçok farklı göreve sahiptir. Ayrıca, bitkilerde fenolik bileşiklerin konsantrasyonunda ve metabolizmasında rol oynayan önemli elementlerden biri de olan bor doğal koşullarda bitkilerin toprağında ve sulama suyunda bulunmalıdır [10]. Fakat bitkilerde bor elementinin fazlası toksik etkiye sebep olmaktadır. Bor toksisitesi, dünyanın farklı bölgelerinde borca zengin topraklarda veya borca zengin sulama suları, gübreler, kanalizasyon çamuru veya uçucu küle maruz topraklarda oluşan ürün verimliliği açısından önemli bir tarım sorunudur. Toprakta (pH 5.5-7.5) çeşitli formlarına rastlanan borun en fazla bulunan formu borik asit (B(OH)₃)'tir. Yapılan araştırmalarda farklı bitki türlerinde bor toleransının çeşitlilik gösterdiği, bir tür için toksik olan borik asit konsantrasyonunun farklı bir tür için optimum olabildiği rapor edilmiştir [11-13].

Reaktif oksijen türleri (ROS), fotosentez ve solunum gibi enerji üretim süreçlerinin en temel yan ürünleri olarak üretilir. Bitkilerde kloroplastlar, peroksizomlar ve mitokondri gibi ana organeller ROS üreticileridir [14]. Hücrelerde

bilinen başlıca ROS'lar süperoksit anyonu (O₂⁻), hidrojen peroksit (H₂O₂), singlet oksijen ve hidroksil radikali (OH⁻)'dir. O₂⁻'lerin H₂O₂'e çevrilmesi katalitik aktivitesi çok yüksek bir enzim olan süperoksit dismutaz (SOD) tarafından katalizlenir [15,16]. Stres koşulları altında oluşan zararlı H₂O₂'nin su ve O₂'ye dönüşümü ise katalaz (CAT) enzimi tarafından sağlanır. Bu enzimler hücreleri strese karşı korumada görevli en önemli enzimatik antioksidanlardır [15]. Han ver ark. [17]'nin çalışmasına göre, bor eksikliği olan yapraklarda antioksidan sistemlerin oksidatif hasara karşı yeterli koruma sağlayamadığı rapor edilmiştir. Tewari ve ark. [18]'nin *Morus alba* ile yaptıkları çalışmalarında, bor eksikliğinin dut oluşumunu ve dut bitkilerinin kuru madde verimini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca bor eksikliğinin ROS oluşumunu fazlalaştırarak oksidatif stresi artırdığını bildirmişlerdir.

C. sinensis tropik, subtropik ve ılıman iklimlerde nemli veya yarı nemli bölgelerde yetiştirilir [19]. Fazla yağış alan bölgelerde borun yıkanarak toprakta eksikliğinin ortaya çıktığı bildirilmiştir [20]. Yeşil çay ülkemizde bol yağış alan Karadeniz Bölgesi'nde yetişmektedir. Bu bölgenin bol yağışa maruz kalması sebebiyle çay bitkisinin yetiştirilmesinde bor eksikliği meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gereksinim duyulan bor elementi yoksunluğunda reaktif oksijen türlerinin oluşumu ve birikimi meydana gelebilir [21,22].

Çalışmamızda, farklı konsantrasyonlarda borik asit uygulanarak yetiştirilen yeşil çayın farklı dönemlerde hasatından elde edilen yapraklarındaki antioksidan seviyeleri üzerindeki değişikliklerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Örnek Hazırlanması

Rize-Çayeli ilçesinde bulunan Çaykur deneme bahçesi tesadüf blokları deneme desenine göre 2x2 m boyutlarındaki 20 parselde 5 tekrarlı olacak şekilde oluşturuldu. Gruplar oluşturulurken sıra üstlerinde ocaklar 25 cm arayla üçgen dikim yapıldı, sıra araları ise 1.5 m olacak şekilde düzenlendi. Sıra araları otlamaya karşı naylon örtü ile ayrıldı. Deneylere kontrol ve uygulama grupları olarak başlandı. Nisan 2013 tarihinde kontrol grubunda (A grubu) toprağa 0 mg/m², diğer gruplarda ise toprağa borik asit olarak 100 (B grubu), 300 (C grubu) ve 500 (D grubu) mg/m² olacak şekilde 3 farklı dozda sodyum tetraborat uygulandı.

Mayıs, Temmuz ve Eylül aylarında toplanan 1., 2. ve 3. hasat taze çay yaprakları sıvı azot (-196°C) içerisinde fiks edilerek, Marmara Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nde -80°C

de çalışma gününe kadar saklandı. Dondurulmuş yaprak örneği 1 gr tartılarak sıvı azot yardımıyla 0.1 mM Na-EDTA içeren 50 mM (pH 7.6) fosfat tampon çözeltisi ile (10 ml) homojenize edildi. Homojenize edilen örnekler 20 dakika süresince 15000 g ve +4°C'de santrifüj edildikten sonra süpernatant alınarak biyokimyasal analizlerde kullanıldı.

2.2. Biyokimyasal Analizler

Çalışmada çay yapraklarında antioksidan parametreleri olarak; katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) aktiviteleri, glutatyon (GSH) ve lipid peroksidasyon ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarları ölçüldü ve elde edilen sonuçlar toplam protein miktarına oranlanarak hesaplandı.

CAT Aktivite Tayini: Reaksiyon, örneklerin potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) ve H₂O₂ (0.5 M) ile karıştırılmasıyla başlatıldı. CAT aktivitesi 25°C'de, 240 nm dalga boyunda meydana gelen absorpsiyon değişimlerinin gözlenmesiyle belirlendi [23].

SOD Aktivite Tayini: Örnekler üzerine sodyum fosfat tamponu (pH 7.8), 0.1 mM EDTA, 97 mM L-methionin, 120 mM riboflavin ve 2mM nitroblue tetrazolyum (NBT) eklenerek reaksiyon başlatıldı ve 350 µmol m⁻² s⁻¹ ışık şiddetinde 10 dakika 25°C'de tutuldu. SOD aktivitesinin 1 ünitesi, 560 nm dalga boyunda, ışık altında bekletilen NBT'nin %50'sinin indirgenmesi için gerekli olan enzim miktarı olarak tayin edildi [24].

GSH Miktarının Tayini: Glutatyondaki sülfidril (SH) gruplarının 5.5'-dithiobis-2-nitrobenzoik asit (DTNB) ile oluşturduğu sarı renkli bileşiğin absorpsiyonu 412 nm'de spektrofotometre ile ölçüldü [25].

MDA Miktarının Tayini: Örnekler cam tüpler içerisine alınıp, üzerine 1,5 ml TBA çözeltisi, 1 ml TCA çözeltisi ve 0.2 ml HCl eklenerek vortekste iyice karıştırıldı. Tüplerin kapakları sıkıca kapatılarak su banyosunda (95°C) en az 30 dk olacak şekilde kaynatıldı. Oluşan pembe renkli çözeltinin absorpsiyonu 532 nm'de okundu [26].

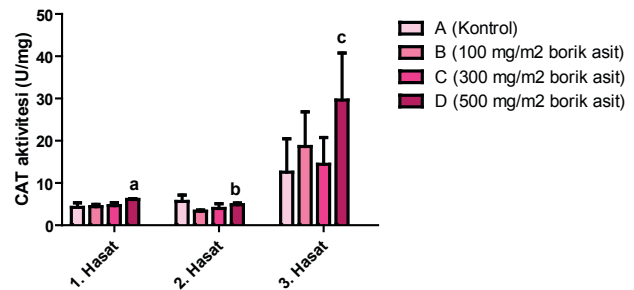
Protein Miktar Tayini: Proteinlerin alkali ortamda bakır iyonları ile biüre tepkime vermesi esasına dayanan Lowry metodu kullanıldı. Örnekler spektrofotometrik olarak 500 nm'de okundu ve BSA standart absorpsiyonu ile kıyaslanarak mg/mL olarak hesaplandı [27].

2.3. İstatistik

Bulguların istatistiksel analizleri için GraphPad Prisma 5 programı kullanıldı. Çoklu karşılaştırmalar Kruskal-Wallis ve ikili karşılaştırmalar Mann Whitney U Testi ile değerlendirildi. Veriler ortalama ± standart hata (SEM) olarak gösterildi. $p < 0.05$ değeri anlamlı olarak kabul edildi.

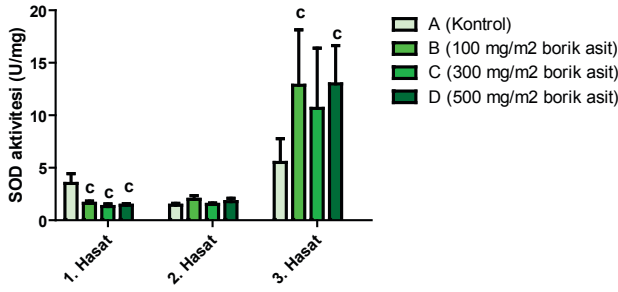
III. BULGULAR

Birinci hasat dönemi olan Mayıs ayında toplanan yeşil çay yapraklarının CAT aktivitesi D grubunda A grubuna göre anlamlı bir artış gösterdi ($p < 0.05$). Diğer B ve C gruplarında A grubuna göre herhangi bir değişiklik gözlenmedi. Temmuz ayındaki 2. hasat döneminde elde edilen yeşil çay yapraklarının CAT aktivitesi en yüksek A grubundaydı. D grubunda ise B grubuna göre anlamlı bir artış saptandı ($p < 0.01$). Üçüncü hasatta ise D grubunun CAT aktivitesi en yüksek seviyedeydi ve A grubu ile kıyaslandığında anlamlı bir artış gözlemlendi ($p < 0.05$) (Şekil 1)



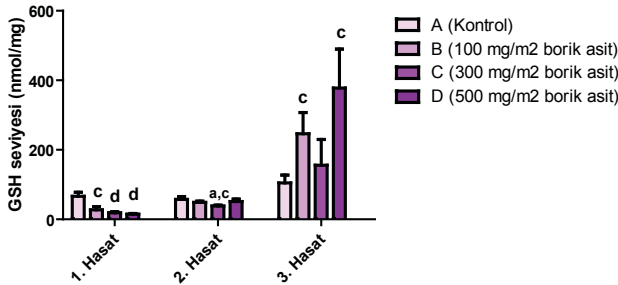
Şekil 1. Borik asit uygulamasının yeşil çay yapraklarındaki katalaz (CAT) aktivitesine etkisi. ^a $p < 0.05$ A grubuna göre, ^b $p < 0.01$ B grubuna göre ve ^c $p < 0.05$ A grubuna göre. Veriler ortalama ± SEM olarak gösterilmiştir.

Yeşil çay yapraklarının SOD aktivitesi birinci hasatta borik asit uygulanan B, C ve D gruplarında kontrol grubuna göre anlamlı bir azalma gösterdi ($p < 0.05$). İkinci hasatta ise B ve D gruplarında A grubuna göre anlamlı olmayan bir artış tespit edildi. Üçüncü hasat döneminde elde edilen çay yapraklarının SOD aktivitesinde tüm borik asit uygulanan gruplarda A grubuna göre artış gözlemlendi. Bu artış özellikle B ve D gruplarında kontrole göre anlamlıydı ($p < 0.05$). C grubunda ise kontrol grubuna göre anlamlı olmayan bir yükselme gözlemlendi (Şekil 2).



Şekil 2. Borik asit uygulamasının yeşil çay yapraklarındaki süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesine etkisi. ^cp < 0.05 A grubuna göre. Veriler ortalama ± SEM olarak gösterilmiştir.

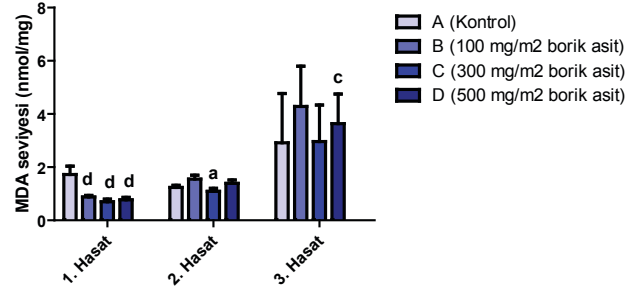
Birinci hasat döneminde elde edilen yeşil çay yapraklarının GSH miktarı B, C ve D gruplarında A grubuna göre azalma gösterdi ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.01$, sırasıyla). İkinci hasat döneminde ise C grubundaki yeşil çay yapraklarının GSH miktarı, A ($p < 0.05$) ve B ($p < 0.05$) gruplarına göre anlamlı olarak daha düşüktü. D grubunun GSH miktarı ise A grubuna benzerdi. Üçüncü hasatta elde edilen yapraklarda GSH miktarı A grubu ile kıyaslandığında B ve D gruplarında anlamlı ($p < 0.05$), C grubunda ise anlamlı olmayan bir artış gösterdi. En yüksek GSH miktarı ise D grubundaydı (Şekil 3).



Şekil 3. Borik asit uygulamasının yeşil çay yapraklarındaki glutatyon (GSH) miktarına etkisi. ^ap < 0.05 B grubuna göre, ^cp < 0.05 A grubuna göre ve ^dp < 0.01 A grubuna göre. Veriler ortalama ± SEM olarak gösterilmiştir.

Lipid peroksidasyon belirteci olan MDA miktarının birinci hasat döneminde B, C ve D gruplarında A grubuna kıyasla düşük olduğu tespit edildi ($p < 0.05$). İkinci hasat döneminde ise C grubunun MDA miktarı, B grubuna göre anlamlı olarak düşüktü ($p < 0.05$). D grubunun MDA miktarı ise A grubu ile benzerlik gösterdi. Üçüncü hasat döneminde toplanan yeşil çay yapraklarının MDA miktarı, A ve C gruplarında hemen hemen eşitti. Fakat D grubunun MDA

miktarı, A grubuna göre anlamlı bir yükselme gösterdi ($p < 0.05$) (Şekil 4).



Şekil 4. Borik asit uygulamasının yeşil çay yapraklarındaki malondialdehit (MDA) miktarına etkisi. ^ap < 0.05 B grubuna göre, ^cp < 0.05 A grubuna göre ve ^dp < 0.01 A grubuna göre. Veriler ortalama ± SEM olarak gösterilmiştir.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmamızda, yetiştirilmesi sırasında toprağa farklı konsantrasyonlarda uygulanan borik asitin üç ayrı dönemde hasatı yapılan yeşil çay yaprak ekstraktlarında oluşturduğu antioksidan enzim aktivitesine etkisi tespit edildi. Yapılan araştırmalarda, bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gereksinim duyulan bir mikro element olan borun eksikliğinde, reaktif oksijen türlerinin gelişebileceği veya birikiminin artacağı rapor edilmiştir [16,17]. Ardıç ve ark. [28] yüksek bor seviyesi üzerine yaptıkları çalışmalarında borun bitki köklerini oksidatif stresten koruduğunu ve antioksidan enzim aktivitesini arttırdığını saptamışlardır. Ardıç ve ark. [28]'nin çalışmasına benzer olarak domates bitkisinde yapılan farklı bir çalışmada yüksek bor konsantrasyonunun antioksidan enzim aktivitesini arttırdığı gözlemlenmiştir [29]. Diğer taraftan Reid ve ark. [30] çalışmalarında bitkideki bor konsantrasyonu fazlalığının bitki büyümesini inhibe ettiğini göstermişlerdir. Aynı koşullar altında yetiştirilen beyaz, siyah ve yeşil çayların antioksidan profillerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada antioksidan miktarları yeşil çay > beyaz çay > siyah çay olarak sıralandığı ileri sürülmüştür [31].

CAT ve SOD enzimatik antioksidan savunma sisteminin ana elemanları olarak kabul edilmektedir. Bu sistem reaktif oksijen türlerinin uzaklaştırılmasını ve böylece bitkinin oksidatif hasardan korunmasını sağlar. *Rumex obtusifolius* L.'nin antioksidan potansiyelinin ortaya koyduğu çalışmada CAT, SOD, polifenol oksidaz ve peroksidaz enzim aktiviteyi tayini yapılarak medikal bir bitki olarak tedavi amacıyla kullanılabileceği önerilmiştir [32]. Çalışmamızda uygulanan borik asit konsantrasyonunun CAT ve SOD enzim

aktivitelerini arttırmaya yönelik etkisinin olabileceği gösterilmiştir. Güneş ve ark. [33]'nın üzüm asması (*Vitis vinifera L.*) üzerine yaptıkları araştırmalarında da bor toksisitesinin lipid peroksidasyonunu arttırarak oksidatif stresi indüklediğini, CAT ve SOD enzim aktivitelerini arttırarak oksidatif hasara karşı bitki hücrelerini koruduğunu rapor etmişlerdir.

Glutasyonun indirgenmiş formu olan GSH'nin hücre içi ortamda en önemli antioksidan savunma moleküllerinden biri olduğu bilinmektedir. GSH'nin bitkilerde oksidatif strese karşı önemli bir metabolit olduğu ve hemen hemen bitkilerin bütün hücre kısımlarında bulunduğu rapor edilmiştir [34,35]. Bitkide çeşitli nedenlerin sebep olduğu stres sonucunda meydana gelen serbest radikaller hücre membranlarının yapısındaki doymamış yağ asitlerine etki ederek, lipid peroksidasyonuna sebep olurlar. Oluşan lipid peroksidasyonunun hızla parçalanmasıyla reaktif karbon bileşikleri oluşur ve bunların en önemlilerinden biri MDA'dır. GSH, SOD, glutasyon S transferaz gibi antioksidan sistemler tarafından bitki hücrelerindeki lipid peroksidasyonu kontrol altında tutulur [36,37]. Farklı dozlarda toprağa uygulanan borik asit konsantrasyonları *C. sinensis* bitkisinden elde edilen yeşil çay yaprak ekstraktlarında MDA miktarında ilk hasatta düşüşe yol açmıştır. Bunun aksine son hasatta ise MDA miktarının borik asit verilen gruplarda yükseldiği gözlemlenmiştir. GSH miktarında ise MDA'nın aksine ilk hasatta bir azalma gözlenirken son hasatta bir artış meydana gelmiştir. Elde ettiğimiz verilere göre CAT ve SOD antioksidan enzim ve GSH miktarındaki artış bitkiyi oksidatif hasardan koruyabilir. Bunun aksine MDA miktarındaki artış ise sadece 500 mg/m²'de anlamlılık göstermiştir. Bu artış stres şartının oluşumu için yeterli bir gösterge değildir. Gözlemlerimiz CAT, SOD aktivitelerinde ve GSH miktarında farklı dönemlerde toplanan çay yapraklarında farklılık olduğu yönündedir. Bu biyokimyasal parametrelerdeki değişikliğin nedeninin uygulanan borik asitin topraktaki emilme sürecine bağlı olabileceğini düşünmekteyiz. Ayrıca verilerimiz uygulanan 100, 300 ve 500 mg/m² borik asit konsantrasyonlarının *C. sinensis* için toksik dozlar olmadığını göstermiştir.

Sonuç olarak, günümüzde en fazla tüketilen içeceklerin başında gelen çayın elde edildiği *C. sinensis* bitkisinin yetiştiği topraklarda meydana gelen borik asit eksikliği çayın koruyucu özelliğini azaltmaktadır. Çay yetiştirilen topraklara toksik olmayan miktarlarda ki borik asit uygulanmasının çay yapraklarında antioksidan enzim aktivitelerini arttırdığı için tüketiminin daha faydalı olabileceği önerilmektedir. Antioksidan enzim aktiviteleri artırılmış yeşil çayın faydalarının daha iyi anlaşılabilmesi için, borik asit uygulanan yeşil çay ekstraktlarının in vitro ve in vivo uygulamalarda çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FEN-A-040.712.0277

KAYNAKLAR

- [1] Tahani, B., Sabzian, R. (2018). Effect of *Camellia sinensis* plant on decreasing the level of halitosis: A systematic review. *Dental Research Journal*, 15(6), 379-384.
- [2] Kaur, L., Jayasekera, S., Moughan, P.J. (2014). Antioxidant quality of tea (*Camellia sinensis*) as affected by environmental factors. processing and impact on antioxidants in beverages. Preedy.V. (ed.), in Academic Press. 121-129.
- [3] Cabrera, C., Gimenez, R., Lopez, C. (2003). Determination of tea components with antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4427-4435.
- [4] Çelik, F. (2006). Çay (*Camellia sinensis*); içeriği, sağlık üzerindeki koruyucu etkisi ve önerilen tüketimi. *Türkiye Klinikleri Journal Medical Science*, 26, 642-648.
- [5] Ellinger, S., Müller, N., Stehle, P., Ulrich-Merzenich, G. (2011). Consumption of green tea or green tea products: Is there an evidence antioxidant effects from controlled interventional studies? *Phytomedicine*, 18, 903-915.
- [6] Singh, B.N., Shankar, S., Srivastava, R.K. (2011) Green tea catechin, epigallocatechin-3-gallate (EGCG): mechanisms, perspectives and clinical applications. *Biochem Pharmacol*, 82, 1807-1821.
- [7] Kumar, M., Sharma, V.L., Sehgal, A., Jain, M. (2012). Protective effect of green and white tea against benzo(a)pyrene induced oxidative stress and DNA damage in murine model. *Nutrition and Cancer*, 64(2), 300-306.
- [8] Mantur, V.S., Somannavarib, M.S., Yendigeri, S., Das, K.K., Goudar, S.S. (2014). Ameliorating effect of black tea extract on cadmium chloride-induced alteration of serum lipid profile and liver histopathology in rats. *Indian Journal Physiology Pharmacology*, 58(2), 128-132.
- [9] Yang, K., Li, Y.W., Gao, Z.Y., Xiao, W., Li, T.Q., Song, W., Zheng, J., Chen, H., Chen, G.H., Zou, H.Y. (2018). MiR-93 functions as a tumor promoter in prostate cancer by targeting disabled homolog 2 (DAB2) and an antitumor polysaccharide from green tea (*Camellia sinensis*) on their expression. *International Journal of Biological Macromolecules*, pii:S0141-8130(18)36478-X. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.088.
- [10] Gunes, A., Gezgin, S., Kalınbacak, K., Özcan, H., Çakmak, I. (2017). Bor elementinin bitkiler için önemi. *Bor dergisi*, 2(3), 168-174.
- [11] Ahmad, W., Zia, M.H. (2012). Boron deficiency in soils and crops: a review. In: *Crop Plant*, Goyal A. (ed.), ISBN: 978-953-51-0527-5, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/crop-plant/boron-deficiency-in-soils-and-crops-a-review>

- [12] Cömert, A., Kale Çelik, S. (2017). Farklı toprak bünyelerinde sulama suyu bor düzeylerinin fasulye bitkisi verimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3), 323-331.
- [13] Özkutlu, F., Ete, Ö., Akgün, M., Akdin, F., Tutuş, Y., Özcan, B. (2017). Çilekte bor gübrelemesinin bozuk şekilli meyve oluşumunun önlenmesi ve yaprak mineral içerikleri üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(2), 153-160.
- [14] Van Breusegem, F., Dat, J.F. (2006). Reactive oxygen species in plant cell death. *Plant Physiol*, 141(2), 384-390.
- [15] Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hij Den Biyol Derg.* 69(2), 97-110.
- [16] Harbinson, J., Hedley, C.L. (1993). Changes in P-700 oxidation during the early stages of the induction of photosynthesis. *Plant Physiol*, 103, 649-660.
- [17] Han, S., Chen, L.S., Jiang, H.X., Smith, B.R., Yang, L.T., Xie, C.Y. (2008). Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *J Plant Physiol*. 165(13), 1331-1341.
- [18] Tewari, R.K., Kumar, P., Sharma, P.N. (2010). Morphology and oxidative physiology of boron-deficient mulberry plants. *Tree Physiol*. 30(1), 68-77.
- [19] Black tea production guideline, Republic of South Africa, <https://www.daff.gov.za> (Aralık 2018).
- [20] Bor bitkiler için neden önemli? Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, <http://www.boren.gov.tr/content/docs/boren-bitkiler.pdf> (Aralık 2018).
- [21] Camacho-Cristobal, J.J., Rexach, J., Gonzalez-Fontes, A. (2008). Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1247-1255.
- [22] Koshiba, T., Kobayashi, M., Matoh, T. (2009). Boron deficiency. *Plant Signaling & Behavior*, 4(6), 557-558.
- [23] Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 105, 121-126.
- [24] Beauchamp, C., Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44(1), 276-287.
- [25] Beutler, E. (1971). Red cell metabolism: a manual of biochemical methods. London: Academic Press;
- [26] Ledwozyw, A., Michalak, J., Stepien, A., Kadziolka, A. (1986). The relationship between plasma triglycerides, cholesterol, total lipids and lipid peroxidation products during human atherosclerosis. *Clinica Chimica Acta*, 55(3), 275-283.
- [27] Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265-275.
- [28] Ardiç, M., Sekmen, A.H., Türkan, İ., Tokur, S., Özdemir, F. (2009). The effects of boron antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plant Soil*, 314, 99-108.
- [29] Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios J.J., Romero, L., Ruiz, J.M. (2007). Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. *Annals of Botany*, 100, 747-756.
- [30] Reid, R.J., Hayes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C.R., Graham, R.D. (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell & Environment*, 25, 1405-1414.
- [31] Carloni, P., Tiano, L., Padella, L., Bacchetti, T., Customo, C., Kay, A., Damiani, D. (2013). Antioxidant activity of White, green and black tea obtained from the same tea cultivar. *Food Research International*, 53(2), 900-908.
- [32] Alıcı, E.H., Arabacı, G. (2016). Determination of SOD, POD, PPO and CAT enzyme activities in *Rumex obtusifolius* L. *Annual Research & Review in Biology*, 11(3), 1-7.
- [33] Güneş, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bağcı, E.G., Coban, S., Sahin, O. (2006). Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 110, 279-284.
- [34] Jimenez, A., Hernandez, J.A., Pastori, G., Del Rio, L.A. and Sevilla, F. (1998). Role of the ascorbate glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. *Plant Physiology*, 118, 1327-1335.
- [35] Rausch, T., Wachter, A. (2005). Sulfur metabolism: A versatile platform for launching defence operations. *Trends in Plant Science*, 10, 503-509.
- [36] Kong, W., Liu, F., Zhang, C., Zhang, J., Feng, H. (2016). Non-destructive determination of malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Scientific Reports*, 6, 35393.
- [37] Polit, E.S. (2007). Lipid peroxidation in plant cells, its physiological role and changes under heavy metal stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 76(1), 49-54.

Yüksek Mertebeden Euler-Lagrange Denklemlerinin İndirgemeleri ve Hamilton Analizleri

Reduction of Higher Order Euler-Lagrange Equations and Their Hamiltonian Analysis

Filiz ÇAĞATAY UÇGUN ¹ 

¹ Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Marmara Eğitim Köyü 34857 Maltepe / İSTANBUL

Öz

İkinci mertebeden türevlere bağımlı Lagrange fonksiyonlarını yeni koordinat tanımlayarak ve/veya Lagrange çarpımı kullanarak birinci mertebeden türevlere bağımlı hale getirmek mümkündür. İndirgeme olarak tanımlayacağımız bu süreç için literatürde verilen 3 yöntem karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler ışığında, yozlaşmama şartını sağlayan ikinci derece Lagrange fonksiyonlarının Hamilton analizi, Dirac-Bergmann metodu kullanılarak başarılmıştır. Tüm bu teorik inşalara örnek olarak Chern-Simons teorisi bünyesindeki yozlaşmama şartını sağlayan Chiral salınacı örneği detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Chiral Salınacı, Schmidt metodu, İkinci mertebeye Lagrange fonksiyonları, Dirac-Bergmann algoritması

Abstract

It is possible to write a second order Lagrangian in a first order form by defining new coordinates or/and by introducing Lagrange multipliers. We call this as reductions procedure. In this work, we present and compare three methods of this reduction. In the light of these methods, Hamiltonian analysis of degenerate second order Lagrangians are achieved by using the Dirac-Bergmann algorithm. In order to illustrate these theoretical constructions, we study the degenerate Chiral oscillator in detail, within the Chern-Simons framework.

Keywords. Chiral Oscillator, Schmidt' method, Second Order Lagrangians, Dirac-Bergmann algorithm.

1.GİRİŞ

Fiziksel sistemler temel olarak Lagrange ve Hamilton olmak üzere iki biçimde ifade edilirler [1]. Lagrange denklemleri hız-faz uzayında tanımlı bir Lagrange fonksiyonları ile, Hamilton denklemleri ise momentum-faz uzayı üzerindeki Hamilton fonksiyonları ile tanımlanırlar. Yozlaşmama şartını sağlayan durumlar için Legendre dönüşümleri mevcuttur. Bu dönüşümler hız-faz uzayı ve momentum-faz uzayı arasında bijektif dönüşümlerdir. Yozlaşmama şartını sağlamayan Lagrange ve Hamilton sistemlerinde Legendre dönüşümlerini gerçekleştirmek oldukça zor ve zahmetli bir iştir. Bu gibi durumlarda hız değişkenine karşılık gelen eşlenik momentum tersinir bir dönüşüm ile elde edilemeyecektir. Lagrange formalizmasından Hamilton formalizmasına geçerken Dirac-Bergmann algoritması oldukça sık başvurulan cebirsel bir yöntemdir [2-4]. Bu algoritmanın daha geometrik bir yorumu Gotay-Nester algoritması olarak bilinir [5-7].

Klasik sistemler için Lagrange fonksiyonu fiziksel sistemin hız-faz uzayında tanımlıdır. Bu tip Lagrange fonksiyonlarına birinci mertebeden Lagrange fonksiyonu diyeceğiz. İkinci bölümde ise ikinci mertebeden Lagrange fonksiyonlarını detaylı inceleyeceğiz. Birinci mertebeden Lagrange fonksiyonları en fazla ikinci dereceden diferansiyel denklem üretebilirler. Daha yüksek mertebeden diferansiyel denklemlerin Lagrange formülasyonu için bu klasik yapının dışında, örneğin ikinci mertebeden türevlere (konum-hız-ivme) bağlı bir Lagrange fonksiyonu ile başarılabılır. Yüksek mertebeden Lagrange formülasyonunun Hamilton analizi için Ostrogradski momentumları kullanılır [8,9]. Burada da momentumların hız ve ivmeden tersinir

olarak elde edilebilmesi sorunsalı ile karşılaşılır. Tersinir olan momentumlar için Lagrange fonksiyonu Ostrogradski anlamında yozlaşmama şartını sağlar ve bu tip örnekler için yüksek mertebeden Lagrange ve Hamilton formülasyonları denktir. Fakat yozlaşmama şartını sağlamayan durumlar için Dirac-Bergmann algoritmasına başvurmak gerekecektir.

Uygun dönüşümler ile ikinci mertebeden bir Lagrange fonksiyonu birinci mertebeye indirgenebilir. Bu çalışmanın amacı öncelikle uygun dönüşümler ile ikinci mertebeden Lagrange fonksiyonlarını birinci mertebeden Lagrange fonksiyonuna indirgeme metodlarının bütüncül bir şekilde sunmaktır. Bunun için hız değişkeni yeni bir koordinat olarak tanımlanacaktır [10,11]. Bu tanım sayesinde iki ayrı birinci mertebeye Lagrange fonksiyonu elde etmek mümkündür. Diğer bir indirgeme şekli ise ivme değişkenini yeni bir koordinat olarak tanımlamaktır. Bu literatürde Shmidt metodu olarak da geçmektedir [12-14]. Bu çalışmanın diğer bir ilgi alanı indirgenmiş Lagrange fonksiyonlarının Legendre dönüşümlerini başararak Hamilton analizlerini sunmaktır. Özel olarak çalışmanın ilgi alanı yozlaşmama şartını sağlamayan Lagrange fonksiyonları üzerinedir.

Bu hedefler doğrultusunda, çalışma 3 ana bölümden oluşturulmuştur. İlk bölümde, yozlaşmama şartını sağlamayan birinci mertebeye Lagrange fonksiyonlarının Hamilton analizi özetlenmiştir. Bu bölümde Dirac-Bergmann algoritması da hatırlatılmıştır. İkinci bölümde esas amacımız olan ikinci dereceden Lagrange fonksiyonlarının indirgenmesi ve Hamilton analizleri olası 3 farklı durum için verilmiştir. Son bölümde ise yozlaşmama şartını sağlamayan ikinci mertebeden bir Lagrange teorisi olan Genel Görelilik kuramı içinde önemli bir yer tutan ve Chern-Simons terimleri ihtiva eden Chiral salınacı modeli çalışılmış, elde edilen teorik sonuçlar bu örnek üzerinde detaylı olarak incelenmiştir.

II. BİRİNCİ MERTEBEDEN LAGRANGE DİNAMİĞİ

Bir fiziksel sistemin konfigürasyon uzayı en genel anlamda türevlenebilir katman yapısına sahiptir. Türevlenebilir katmanların boyutu yerel olarak eş yapıya olduğu öklit uzayının boyutu olarak tanımlanır. Boyutu n olan M katmanı yerel olarak bir koordinat sistemi $\mathbf{q} = (q^1, \dots, q^n)$ ile donatılabilir. Fiziksel sistemin hız-faz uzayı ise katmanın tanjant demeti TM 'dir. Tanjant demetleri, katmanın her noktasındaki teğet uzaylarının bir bütünüdür. Eğer katman n boyutlu ise, tanjant demeti $2n$ boyutlu bir katmanı verir. M üzerindeki yerel koordinatlar aracılığıyla TM üzerinde koordinat takımı $(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ ile donatılabilir. Burada \mathbf{q} pozisyon, $\dot{\mathbf{q}}$ ise hız olarak adlandırılabilir.

Lagrange fonksiyonu $L = L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ tanjant demeti TM üzerinde tanımlanan reel değerli bir fonksiyondur. Etki integrali

$$\mathcal{S} = \int_a^b L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) dt \quad (1)$$

başlangıç ve bitiş noktaları sabit olmak üzere, her farklı $\mathbf{q} = \mathbf{q}(t)$ eğrisi için farklı değerler alır. Bu integralin ekstremum değerlerini bulmak için ise integralin varyasyonu alınır ve Hamilton prensibi uygulanır. Sonuç olarak uç değer veren eğri Euler-Lagrange denklemlerini

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}} - \frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}} = 0 \quad (2)$$

sağlar. Klasik anlamda Lagrange fonksiyonu, çalışılan fiziksel sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerinin farkı olarak yazılır. Bu özel durumda bir korunumlu sistem için Euler-Lagrange denklemleri Newton'un ikinci yasasına eşdeğerdir.

Euler-Lagrange denklemleri (2) ikinci dereceden denklemlerdir. Bu denklem takımını birinci dereceden bir denklem takımı olarak yazmak için kotalanjant demeti üzerindeki Hamilton fomülasyonuna geçiş yapmak gerekir. Bu geçiş Legendre dönüşümü olarak adlandırılır. Bir M katmanı için kotalanjant demeti T^*M , M katmanının her noktasına teğet uzayının lineer cebirsel dual uzayı T_x^*M eşlenerek elde edilir. M katmanı n boyutlu iken kotalanjant demeti T^*M , $2n$ boyutlu bir katmanı verir. T^*M üzerindeki koordinat sistemi $\mathbf{z} = (\mathbf{q}, \mathbf{p})$, pozisyonlar \mathbf{q} ve momentumlar \mathbf{p} olarak adlandırılabilir.

Kotalanjant demetleri üzerinde kanonik simplektik iki formlar taşır. Simplektik 2-formlar kapalı, ters simetrik ve yozlaşmayan iki formlardır. T^*M üzerindeki simplektik yapı ω_M yerel koordinat takımı (\mathbf{q}, \mathbf{p}) için $\omega_M = d\mathbf{q} \wedge d\mathbf{p}$ olarak ifade edilir. Burada \wedge ile gösterilen tensör çarpımının ters simetrizasyonu ile elde edilen kama çarpımıdır. Hamilton fonksiyonu, T^*M üzerinde tanımlı reel değerli bir fonksiyondur. Simplektik yapı ω_M 'nin yozlaşmama özelliği seçilen her Hamilton fonksiyonu için T^*M üzerinde tanımlı tek bir vektör alanı tanımlar. Bir Hamilton vektör alanı X_H şu şekilde tanımlanır

$$\iota_{X_H} \omega_M = dH. \quad (3)$$

Burada ι büzülme operatörü, dH ise Hamilton fonksiyonu H 'nin dış türevidir. Hamilton vektör alanının tanımladığı diferansiyel denklem takımı $\dot{\mathbf{z}} = X_H(\mathbf{z})$ fiziksel sistemin hareket denklemleridir. Koordinatlar cinsinden Hamilton denklemleri

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{\partial H}{\partial \mathbf{p}}, \quad \dot{\mathbf{p}} = -\frac{\partial H}{\partial \mathbf{q}} \quad (4)$$

olarak elde edilir. Klasik anlamda bir Hamilton fonksiyonu fiziksel sistemin momentumlar cinsinden toplam enerjisidir. Bu durumda Hamilton denklemleri (4), Newton'un ikinci yasasına eşdeğerdir.

Simplektik iki form ω_M , kotanjant demeti T^*M üzerinde Poisson çerçevesi tanımlar

$$\{F, H\}(\mathbf{q}, \mathbf{p}) = \frac{\partial F}{\partial \mathbf{q}} \cdot \frac{\partial H}{\partial \mathbf{p}} - \frac{\partial F}{\partial \mathbf{p}} \cdot \frac{\partial H}{\partial \mathbf{q}} \quad (5)$$

Poisson çerçevesi M üzerindeki türevlenebilir fonksiyonlar uzayı üzerinde tanımlı ters simetrik, Leibnitz ve Jacobi özdeşliklerini sağlayan sağlayan bir işlemdir. Poisson çerçevesi cinsinden Hamilton denklemleri

$$\dot{\mathbf{z}} = \{\mathbf{z}, H\} \quad (6)$$

olarak yazılır.

Euler-Lagrange denklemleri (2) ve Hamilton denklemleri (4) arasındaki ilişki Legendre dönüşümü

$$FL: TM \rightarrow T^*M: (\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \rightarrow (\mathbf{q}, \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}}) \quad (7)$$

aracılığıyla elde edilir. Bu dönüşüm ancak Lagrange fonksiyonu yozlaşmama şartı

$$\det \left[\frac{\partial^2 L}{\partial \dot{\mathbf{q}} \partial \dot{\mathbf{q}}} \right] \neq 0 \quad (8)$$

sağlandığında bire birdir. Yozlaşmama şartını sağlayan Lagrange fonksiyonlarına düzenli Lagrange fonksiyonu diyeceğiz. Bu durumda, kapalı fonksiyon teoremi gereğince, yerel olarak hız değişkenleri $\dot{\mathbf{q}} = \dot{\mathbf{q}}(\mathbf{q}, \mathbf{p})$ pozisyonlar ve momentumlar cinsinden yazılabilir. Hamilton fonksiyonu

$$H(\mathbf{q}, \mathbf{p}) = \mathbf{p} \cdot \dot{\mathbf{q}}(\mathbf{q}, \mathbf{p}) - L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}(\mathbf{q}, \mathbf{p})) \quad (9)$$

olarak tanımlanır ise Hamilton denklemleri (4) Euler-Lagrange denklemleri (2)'ye dönüşür.

Düzenli olmayan, diğer bir ifade ile yozlaşmama koşulunu sağlamayan, Lagrange fonksiyonu için Lagrange ve Hamilton formalizmleri arasında bir geçiş elde etmek bu kadar kolay olmayacaktır. Legendre dönüşümü birebir ve örten olmadığından, FL operatörünün görüntü uzayı kotanjant demetinin ancak bir alt katmanı olabilir ve bu durumda tüm hız değişkenleri pozisyonlar ve momentumlar cinsinden yazılamaz. Bu durumda Hamilton fonksiyonu (9) kotanjant demeti üzerinde iyi tanımlı olmayacaktır. Düzenli olmayan Lagrange fonksiyonları için Hamilton formulasyonu geçiş için bir yöntem Dirac-Bergmann algoritmasıdır.

2.1 Dirac-Bergmann Algoritması

Legendre dönüşümü (7) birebir ve örten olmadığından hız değişkenleri $\dot{\mathbf{q}}$, pozisyonlar \mathbf{q} ve momentumlar \mathbf{p} cinsinden yazılamaz ve fakat

$$\Phi_m(\mathbf{q}, \mathbf{p}) \simeq 0, \quad m = 1, \dots, M \quad (10)$$

şeklinde bağıntılar verir. Bu bağıntılar birincil kısıtlar olarak adlandırılır ve kotanjant demetinin bir alt uzayını oluştururlar [2, 3]. Bu alt uzayda tüm (bütül) Hamilton fonksiyonu birincil kısıtların eklenmesiyle elde edilir

$$H_T = H + U^m \Phi_m \quad (11)$$

Burada $U^m(\mathbf{q}, \mathbf{p})$ katsayıları Lagrange çarpanları olarak adlandırılır. Bu durumda, H_T için Hamilton denklemleri (4)

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{\partial H}{\partial \mathbf{p}} + U^m \frac{\partial \Phi_m}{\partial \mathbf{p}}, \quad \dot{\mathbf{p}} = -\frac{\partial H}{\partial \mathbf{q}} - U^m \frac{\partial \Phi_m}{\partial \mathbf{q}} \quad (12)$$

denklemlerine dönüşür. Diğer taraftan (6)'da tanımlanan Hamilton denklemlerinde birincil kısıt Φ_m fonksiyonları yerleştirilirse $m = 1, \dots, M$ için

$$\dot{\Phi}_m = \{\Phi_m, H\} + U^n \{\Phi_n, \Phi_m\} \simeq 0 \quad (13)$$

denklemleri elde edilir, bu denklemlere tutarlılık koşulları denir. Bu denklemlerde eğer $\det\{\Phi_n, \Phi_m\} \neq 0$ ise, Lagrange çarpanları U^n belirlenebilir. Fakat $\det\{\Phi_n, \Phi_m\} \simeq 0$ ise tutarlılık koşulları U^n 'li terim içermez ve ikincil kısıt olarak adlandırılan $\chi(\mathbf{q}, \mathbf{p}) \simeq 0$ ifadeleri elde edilir. İkincil kısıtlar için de tutarlılık koşulları kontrol edilmeli, mümkünse Lagrange çarpanları belirlenmeli, değilse elde edilen yeni kısıtlar (üçüncül, dördüncül v.b.) için tutarlılık koşullarına bakılmalıdır. Bu süreç cebir kapanan kadar devam ettirilmelidir. Cebir kapandığında, elde edilen tüm kısıtlar, kotanjant demetinin bir alt katmanını, son kısıt katmanını, belirler. Bu altkatmanda Hamilton denklemleri tutarlıdır ve hareket denklemlerini üretirler.

III. İkinci Mertebeden Lagrange Dinamiği ve İndirgemeleri

Bir n boyutlu M katmanı için tanjant demeti TM pozisyon (\mathbf{q}) ve hızlardan $(\dot{\mathbf{q}})$ müteşekkildir ve $2n$ boyutludur. İkinci mertebeden tanjant demeti T^2M ise pozisyon (\mathbf{q}) , hız $(\dot{\mathbf{q}})$ ve ivmeden $(\ddot{\mathbf{q}})$ oluşur, ve $3n$ boyutludur.

Tanjant demeti TM tek başına bir katman yapısına sahip olduğundan onun da teğet demeti $T(TM) = TTM$ demeti tanımlanabilir. Burada, M katmanı n boyutlu ise, TM katmanı $2n$, TTM is $4n$ boyutludur. İkinci mertebeden tanjant demeti T^2M , ikinci tanjant demeti TTM içine doğal bir yataklanmaya sahiptir. Yerel koordinatlarda bu yataklanma

$$T^2M \rightarrow TTM: (\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) \rightarrow (\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) \quad (14)$$

olarak ifade edilir.

İkinci mertebeden bir Lagrange fonksiyonu $L = L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ ikinci mertebeden tanjant demeti T^2M

üzerinde tanımlı reel değerli bir fonksiyondur. Bu fonksiyon için de etki integrali tanımlanabilir:

$$S = \int_a^b L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) dt. \quad (15)$$

Bu integral her $\mathbf{q} = \mathbf{q}(t)$ için farklı değerler alacaktır. Etki integralinin varyasyonunu

$$\delta S = \int_a^b \left(\frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial L}{\partial \ddot{\mathbf{q}}} \right) \cdot \delta \mathbf{q} dt \quad (16)$$

şeklinde dir. Burada $\delta \mathbf{q}$ rasgele bir teğet vektörü olarak düşünülürse, varyasyonun sıfır değerini alması, diğer bir ifade ile etki integralinin uç değere ulaşması için gerek koşul ikinci mertebeden Euler-Lagrange denklemlerinin

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial L}{\partial \ddot{\mathbf{q}}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}} + \frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}} = 0 \quad (17)$$

sağlanması olarak bulunur. Burada dikkat edilmesi gereken ikinci mertebeden Euler-Lagrange denklemleri (17)'nin eğer $\partial L / \partial \ddot{\mathbf{q}}$ açık olarak $\ddot{\mathbf{q}}$ 'ya bağlıysa dördüncü mertebeden diferansiyel denklem takımı, eğer $\partial L / \partial \ddot{\mathbf{q}}$ açık olarak $\dot{\mathbf{q}}$ 'a bağlı değil ve fakat $\dot{\mathbf{q}}$ 'ya bağlıysa üçüncü mertebeden diferansiyel denklem takımı üretmesidir.

3.1. Birinci Mertebe İndirgeme

3.1.1. Mertebe indirgeme I

$2n$ boyutlu konfigürasyon uzayı $N = TM$ 'nin koordinatları

$$\mathbf{q}_{(1)} = \mathbf{q}, \quad \mathbf{q}_{(2)} = \dot{\mathbf{q}}. \quad (18)$$

olarak yeniden adlandırılabilir ve $\dot{\mathbf{q}}_{(1)} - \mathbf{q}_{(2)} = \mathbf{0}$ kısıtlardır.

$T(TM \times \mathbb{R}^n)$ uzayında Lagrange fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır:

$$L_{C_1} = L(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}) + \lambda_1 \cdot (\dot{\mathbf{q}}_{(1)} - \mathbf{q}_{(2)}) \quad (19)$$

burada λ_1 Lagrange çarpanıdır ve $\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}$ ve $\dot{\mathbf{q}}_{(2)}$ 'in fonksiyonudur. (2) de tanımlanan birinci mertebeden Euler-Lagrange denklemleri L_{C_1} için

$$\frac{\partial L_{C_1}}{\partial \mathbf{q}_{(1)}} - \lambda_1 = \mathbf{0}, \quad \frac{\partial L_{C_1}}{\partial \mathbf{q}_{(2)}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_{C_1}}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(2)}} = \lambda_1,$$

$$\dot{\mathbf{q}}_{(1)} - \mathbf{q}_{(2)} = \mathbf{0} \quad (20)$$

olarak yazılabilir. (20) denklemleri ikinci dereceden Euler-Lagrange denklemleri (17)'ye denktir.

Kotanjant demeti $T^*(TQ \times \mathbb{R}^n)$ de eşlenik momentumlar

$$\mathbf{p}^{(1)} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(1)}}, \quad \mathbf{p}^{(2)} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(2)}}, \quad \mathbf{p}^\lambda = \frac{\partial L}{\partial \lambda_1}$$

şeklinde tanımlanır. Bu durumda momentumların tanımından birincil kısıtlar

$$\begin{aligned} \Phi^{(1)} &= \mathbf{p}^{(1)} - \lambda_1 \simeq 0, \\ \Phi^{(2)} &= \mathbf{p}^{(2)} - \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(2)}} \simeq 0, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\Phi^{(\lambda_1)} = \mathbf{p}^{\lambda_1} \simeq 0$$

olarak elde edilir. Hamilton fonksiyonu

$$H_{C_1} = \mathbf{p}^{(i)} \cdot \dot{\mathbf{q}}_{(i)} + \lambda_1 \cdot \mathbf{p}^{\lambda_1} - L_{C_1} = \mathbf{p}^{(i)} \cdot \dot{\mathbf{q}}_{(i)} - L, \quad (22)$$

olur. Burada i indisi 1 ve 2 değerlerini alır, ve toplama uyuşması kabul edilmiştir. Toplam Hamilton fonksiyonu (21)'de tanımlanan birincil kısıtları Hamilton fonksiyonuna eklerken tanımlanır:

$$H_{T_1} = H_{C_1} + \mathbf{u}_{(\alpha)} \cdot \Phi^{(\alpha)} \quad (23)$$

burada α indisi $\{1, 2, \lambda_1\}$ değerlerini alır ve $\mathbf{u}_{(\alpha)}$ lar Lagrange çarpanlarıdır. Birincil kısıtlar için (13)'de tanımlanan tutarlılık koşulları

$$\{H_{T_1}, \Phi^{(1)}\} = -\frac{\partial H}{\partial \mathbf{q}_{(1)}} - \mathbf{u}_{(\lambda_1)} \simeq 0,$$

$$\{H_{T_1}, \Phi^{(\lambda_1)}\} = \mathbf{u}_{(1)} \simeq 0 \quad (24)$$

denklemlerini verir. Bu denklemlerden $\mathbf{u}_{(\lambda_1)}$ ve $\mathbf{u}_{(1)}$ belirlenebilir fakat $\mathbf{u}_{(2)}$ 'yi belirlemek için $\Phi^{(2)}$ kısıtının tutarlılık koşulu incelenmelidir.

3.1.2 Mertebe indirgeme II

Bölüm 3.1.1 de verilen birinci mertebe indirgemeye ek olarak $\dot{\mathbf{q}}$ kordinatı $\dot{\mathbf{q}}_{(1)}$ gibi düşünülerek farklı bir Lagrange fonksiyonu

$$L_{C_2} = L(\mathbf{q}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}) + \lambda_2 \cdot (\dot{\mathbf{q}}_{(1)} - \mathbf{q}_{(2)}), \quad (25)$$

elde edilebilir. Burada λ_2 başka bir Lagrange çarpanıdır. L_{C_2} tarafından üretilen Euler-Lagrange denklemleri ise şu şekildedir:

$$\frac{\partial L_{C_2}}{\partial \mathbf{q}_{(1)}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_{C_2}}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(1)}} - \lambda_2 = \mathbf{0}, \quad -\frac{d}{dt} \frac{\partial L_{C_2}}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(2)}} = \lambda_2,$$

$$\dot{\mathbf{q}}_{(1)} - \mathbf{q}_{(2)} = \mathbf{0}, \quad \text{“} \quad (26)$$

Bu hareket denklemleri de (17)'deki ikinci mertebeden Euler-Lagrange denklemlerine denktir.

3.1.3 Schmidt metodu ile birinci mertebe indirgeme

Bölüm (3.1.1) ve (3.1.2)'de bahsi geçen mertebe indirgemelerinden farklı olarak

$$\mathbf{q}_{(1)} = \mathbf{q}, \quad \mathbf{q}_{(2)} = \dot{\mathbf{q}}, \quad (27)$$

yerel kordinat dönüşümleri ile, TTM ' nin $2n$ boyutlu alt katmanı

$$AM = \{X \in TTM : \tau_{TM}(X) = T\tau_M(X) = 0\} \quad (28)$$

şeklinde tanımlanır ve AM için yerel harita ikilileri $(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)})$ olur. AM ' nun teğet uzayı TAM de indirgenmiş koordinatlar $(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}; \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}) \in TAM$ şeklindedir, ve

$$\theta: T^2M \mapsto TAM: (\mathbf{q}; \dot{\mathbf{q}}; \ddot{\mathbf{q}}; \ddot{\mathbf{q}}) \mapsto (\mathbf{q}; \dot{\mathbf{q}}; \dot{\mathbf{q}}; \ddot{\mathbf{q}}) \quad (29)$$

yerel tanımlama ile TAM teğet uzayı T^2M uzayına izomorfiktir.

İkinci derece bir L Lagrange fonksiyonunu ele alalım. İvme kordinatı $\mathbf{q}_{(2)}$ 'ü $\dot{\mathbf{q}}_{(1)}$ 'ın türevi gibi düşünmek için, TAM teğet demeti üzerinde $TAM \times TN$ yapısı inşa edilir. Burada N yerel kordinatları (\mathbf{r}) olan $n -$ boyutlu katmandır. (29) de verilen izomorfizma ile $TAM \times TN$ de, birinci mertebeden Lagrange fonksiyonu tanımlanabilir:

$$L_2(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}) = L(\mathbf{q}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}) + \frac{\partial F}{\partial \mathbf{q}_{(1)}} \cdot \dot{\mathbf{q}}_{(1)} + \frac{\partial F}{\partial \mathbf{q}_{(2)}} \cdot \mathbf{q}_{(2)} + \frac{\partial F}{\partial \mathbf{q}_{(3)}} \cdot \dot{\mathbf{q}}_{(2)} + \frac{\partial F}{\partial \mathbf{r}} \cdot \dot{\mathbf{r}}. \quad (30)$$

Burada F fonksiyonu $(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \mathbf{r})$ koordinatlarına bağımlı olarak seçilir. Kolaylıkla görülecektir ki, L_2 tarafından üretilen Euler-Lagrange denklemleri (17)'de verilen ikinci derece Euler-Lagrange denklemlerine denktir. Bu denklik $[\partial^2 F / \partial \dot{\mathbf{q}}_{(1)} \partial \mathbf{r}]$ matrisinin dejenere olmaması durumunda geçerlidir. En basit şekilde $F = \dot{\mathbf{q}}_{(1)} \cdot \mathbf{r}$ şeklinde alınabilir ve bu durumda Lagrange fonksiyonu

$$L_2(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}) = L(\mathbf{q}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}) + \mathbf{r} \cdot \mathbf{q}_{(2)} + \dot{\mathbf{q}}_{(1)} \cdot \dot{\mathbf{r}} \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir.

$T^*(AM \times N)$ de eşlenik momentum kordinatları $(\mathbf{p}^{(1)}, \mathbf{p}^{(2)}, \mathbf{p}^{(r)})$ dir, ve şöyle hesaplanır:

$$\mathbf{p}^{(1)} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}_{(1)}}(\mathbf{q}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \mathbf{q}_{(2)}) + \dot{\mathbf{r}},$$

$$\mathbf{p}^{(2)} = 0, \quad \mathbf{p}^{(r)} = \dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \mathbf{p}^{(3)} = 0, \quad \mathbf{p}^{(r)} = \dot{\mathbf{q}}_{(1)}. \quad (32)$$

Yukarıdaki denklemlerden, $\dot{\mathbf{r}}$ i $(\dot{\mathbf{q}}_{(1)}, \dot{\mathbf{q}}_{(2)}, \mathbf{p}^{(1)}, \mathbf{p}^{(r)})$ cinsinden çözebiliriz. Fakat $\varphi_1 = \mathbf{p}^{(3)} \simeq 0$ birincil kısıttır. Toplam Hamilton fonksiyonu

$$H_T = \mathbf{p}^{(1)} \cdot \mathbf{p}^{(r)} - L(\mathbf{q}_{(1)}, \mathbf{p}^{(r)}, \mathbf{q}_{(2)}) - \mathbf{r} \cdot \mathbf{q}_{(2)} + \lambda \cdot \quad (33)$$

şeklindedir ve birincil kısıtın korunması

$$\varphi_2 = \{\varphi_1, H_T\} = \{\mathbf{p}^{(3)}, H_T\} = \frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}_{(3)}} + \mathbf{r} = 0. \quad (34)$$

yeni bir kısıt φ_2 'yi verir. Benzer şekilde, ikincil kısıt olarak adlandırılan bu kısıtın korunmasından üçüncül kısıt

$$\varphi_3 = \{\varphi_2, H_T\} = \left(\lambda \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{q}_{(3)}} + \mathbf{q}_{(2)} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{p}^{(r)}} + \mathbf{p}^{(r)} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{q}_{(1)}} \right) \left(\frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}_{(3)}} \right) + \mathbf{p}^{(1)} = 0 \quad (35)$$

elde edilir. Eğer Lagrange fonksiyonunun yozlaşmamış olduğu kabul edilirse bu noktada Lagrange çarpanı λ belirlenir ve algoritma sonlanır. Fakat Lagrange fonksiyonu yozlaşmış ise Lagrange çarpanını belirlemek için bir kaç adım daha devam etmek gerekebilir [4].

IV. CHIRAL SALINAÇI

İki boyutlu Chern-Simons terimlerini içeren, Chiral salınacı aşağıda verilen Lagrange fonksiyonu tarafından tanımlanır:

$$L(x^i, \dot{x}^i, \ddot{x}^i) = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \dot{x}^i \ddot{x}^j + \frac{m}{2} \dot{x}^i \dot{x}^i. \quad (36)$$

Burada λ ve m sıfırdan farklı sabitler, $x^i = (x, y)$ ve ϵ_{ij} Levi-Civita sembolüdür, [15,16].

Chiral Lagrange fonksiyonu için (17)' de verilen Euler-Lagrange denklemleri

$$\lambda \epsilon_{ij} \ddot{x}^j - m \dot{x}^i = 0 \quad (37)$$

olarak elde edilir. Bu denklemler 3. Mertebeden olup, bunun sebebi (36)' de verilen Chiral Lagrange fonksiyonunun yozlaşmış olmasıdır. Diğer bir ifade ile yozlaşmama şartı

$$\det \left[\frac{\partial^2 L}{\partial \dot{x}^i \partial \dot{x}^j} \right] = 0$$

denkleminin sağlanmamasıdır.

4.1 Mertebe İndirgeme I

Chiral salınacı için (19)'da tanımlanan birinci mertebeye indirgenmiş Lagrangian

$$L_{C_1} = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} q_{(2)}^i \dot{q}_{(2)}^j + \frac{m}{2} \delta_{ij} q_{(2)}^i q_{(2)}^j + \beta_i (\dot{q}_{(1)}^i - q_{(2)}^i) \quad (38)$$

olur ve burada β_i Lagrange çarpanıdır. L_{C_1} için eşlenik momentumlar

$$p_i^{(1)} = \beta_i, \quad p_i^{(2)} = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} q_{(2)}^j, \quad p_\beta^i = 0 \quad (39)$$

şeklindedir. Bu momentumlardan $\dot{q}_{(1)}^i, \dot{q}_{(2)}^i$ ve β_j 'leri çözmek mümkün olmadığı için (21) denklemindeki gibi tanımlanan birincil kısıtlar

$$\begin{aligned} \Phi_i^{(1)} &= p_i^{(1)} - \beta_i, \\ \Phi_i^{(2)} &= p_i^{(2)} + \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} q_{(2)}^j, \end{aligned} \quad (40)$$

$$\Phi_\beta^i = p_\beta^i$$

olarak elde edilir. (22) denkleminde Hamilton fonksiyonu

$$H = -\frac{m}{2} \delta_{ik} q_{(2)}^i q_{(2)}^k + \beta_i q_{(2)}^i \quad (41)$$

ve (23) denkleminde de toplam Hamilton fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$H_T = H + \Phi_i^{(1)} u_{(1)}^i + \Phi_i^{(2)} u_{(2)}^i + \Phi_\beta^i u_i^\beta \quad (42)$$

Burada $u_{(1)}^i, u_{(2)}^i$ ve u_i^β Lagrange çarpanlarıdır. Birincil kısıtlar için (13)'de tanımlanan tutarlılık koşullarından

$$\Phi_i^{(1)} = \{ \Phi_i^{(1)}, H_T \} = -u_i^\beta, \quad (43)$$

$$\Phi_i^{(2)} = \{ \Phi_i^{(2)}, H_T \} = m \delta_{ik} q_{(2)}^k - \beta_i - \lambda \epsilon_{ij} u_{(2)}^j, \quad (44)$$

$$\Phi_\beta^i = \{ \Phi_\beta^i, H_T \} = -q_{(2)}^i + u_{(1)}^i, \quad (45)$$

Lagrange çarpanları

$$u_i^\beta = 0, \quad u_{(1)}^i = q_{(2)}^i, \quad u_{(2)}^i = \frac{\epsilon^{ij}(-m \delta_{jk} q_{(2)}^k + \beta_j)}{\lambda}$$

olarak belirlenir. Bunların toplam Hamilton fonksiyonu (42)

$$H_T = -\frac{1}{2} \beta_i q_{(2)}^i + p_i^{(1)} q_{(2)}^i + \frac{1}{\lambda} \epsilon^{ik} p_i^{(2)} (-m \delta_{kl} q_{(2)}^l + \beta_k) + \beta_k \quad (46)$$

olarak elde edilir. Hamilton denklemleri ise şu şekilde olur:

$$\dot{q}_{(1)}^i = \{ q_{(1)}^i, H_T \} = q_{(2)}^i,$$

$$\dot{q}_{(2)}^i = \{ q_{(2)}^i, H_T \} = \frac{1}{\lambda} \epsilon^{ik} (-m \delta_{kl} q_{(2)}^l + \beta_k),$$

$$\dot{\beta}_i = \{ \beta_i, H_T \} = 0,$$

$$\dot{p}_i^{(1)} = \{ p_i^{(1)}, H_T \} = 0,$$

$$\dot{p}_i^{(2)} = \{ p_i^{(2)}, H_T \} = -p_i^{(1)} + \frac{m}{\lambda} \delta_{ik} \epsilon^{jk} p_j^{(2)} + \frac{1}{2} \beta_i,$$

$$\dot{p}_\beta^i = \{ p_\beta^i, H_T \} = -\frac{1}{\lambda} \epsilon^{ji} p_j^{(2)} + \frac{1}{2} q_{(2)}^i. \quad (47)$$

Bu hareket denklemlerden β_i ve $\dot{p}_i^{(1)}$, de momentum (49) de verilen tanımları yazılırsa Euler-Lagrange denklemleri

(37) elde edilir. Diğer hareket denklemleri ise özdeş olarak sağlanır.

4.2 Mertebe İndirgeme II

Benzer şekilde, (25)'de tanımlanan birinci mertebeden alternatif Lagrangian, Chiral Lagrange fonksiyonunu (36) için yazılırsa

$$L_{C_2} = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \dot{q}_{(1)}^i \dot{q}_{(2)}^j + \frac{m}{2} \delta_{ij} \dot{q}_{(1)}^i \dot{q}_{(1)}^j + \alpha_i (\dot{q}_{(1)}^i - q_{(2)}^i) \quad (48)$$

elde edilir, α_i Lagrange çarpanıdır. L_{C_2} için eşlenik momentumlar şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \eta_i^{(1)} &= -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \dot{q}_{(2)}^j + m \delta_{ij} \dot{q}_{(1)}^j + \alpha_i, \\ \eta_i^{(2)} &= -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} \dot{q}_{(1)}^j, \end{aligned} \quad (49)$$

$$\eta_\alpha^i = 0.$$

Bu momentumlardan $\dot{q}_{(1)}^i, \dot{q}_{(2)}^i$ çözülebilir:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{(1)}^i &= -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ij} \eta_j^{(2)}, \\ \dot{q}_{(2)}^i &= -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ij} (\alpha_j - \eta_j^{(1)}) - \frac{4m}{\lambda^2} \delta^{ij} \eta_j^{(2)} \end{aligned} \quad (50)$$

fakat $\dot{\alpha}_j$ 'ler çözülemez ve birincil kısıtlar $\Phi_\alpha^i = \eta_\alpha^i$ elde edilir. Hamilton fonksiyonu

$$H = -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{jk} \eta_j^{(1)} \eta_k^{(2)} - \frac{2m}{\lambda^2} \delta^{jk} \eta_j^{(2)} \eta_k^{(2)} + \frac{2}{\lambda} \epsilon^{jk} \alpha_j \eta_k^{(2)} + \alpha_j q_{(2)}^j \quad (51)$$

ve toplam Hamilton fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$H_T = H + \Phi_\alpha^i u_i^\alpha \quad (52)$$

burada u_i^α Lagrange çarpanlarıdır. Birincil kısıtların korunmasından

$$\Phi_\alpha^i = \{ \Phi_\alpha^i, H_T \} = -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ik} \eta_k^{(2)} - q_{(2)}^i \quad (53)$$

ikincil kısıt $\Phi^i = \frac{2}{\lambda} \epsilon^{ik} \eta_k^{(2)} - q_{(2)}^i$ elde edilir. Bu ikincil kısıtın korunmasından

$$\Phi^i = \{ \Phi^i, H_T \} = -\frac{4}{\lambda} \epsilon^{ik} \alpha_k - \frac{2}{\lambda} \epsilon^{ji} \eta_j^{(1)} - \frac{4m}{\lambda^2} \delta^{ij} \eta_j^{(2)} \quad (54)$$

yeni bir kısıt elde edilir

$$\Phi = 2 \epsilon^{ik} \alpha_k + \epsilon^{ji} \eta_j^{(1)} + \frac{2m}{\lambda} \delta^{ij} \eta_j^{(2)}$$

Son olarak bu kısıtın da korunmasından

$$\phi^i = \{\phi^i, H_T\} = 2\epsilon^{ik} u_k^\alpha - \frac{2m}{\lambda} \delta^{ij} \alpha_j \quad (55)$$

Lagrange çarpanı $u_i^\alpha = -\frac{m}{\lambda} \epsilon_{ij} \delta^{jk} \alpha_k$ belirlenir. Belirlenen u_i^α ların toplam Hamilton fonksiyonu (52) de yazılmasıyla

$$H_T = -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{jk} \eta_j^{(1)} \eta_k^{(2)} - \frac{2m}{\lambda^2} \delta^{jk} \eta_j^{(2)} \eta_k^{(2)} + \frac{2}{\lambda} \epsilon^{jk} \alpha_j \eta_k^{(2)} + \alpha_j q_{(2)}^j - \frac{m}{\lambda} \epsilon_{ji} \delta^{ik} r_\alpha^j \alpha_k \quad (56)$$

elde edilir. Toplam Hamilton fonksiyonu (56)'yi kullanarak, Hamilton hareket denklemleri şu şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{(1)}^i &= -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ik} \eta_k^{(2)}, \\ \dot{q}_{(2)}^i &= -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ji} \eta_j^{(1)} - \frac{4m}{\lambda^2} \delta^{ik} \eta_k^{(2)} + \frac{2}{\lambda} \epsilon^{ji} \alpha_j, \\ \dot{\alpha}_i &= -\frac{m}{\lambda} \epsilon^{ij} \alpha_j, \end{aligned} \quad (57)$$

$$\dot{p}_i^{(1)} = 0,$$

$$\dot{p}_i^{(2)} = -\alpha_i,$$

$$\dot{p}_\alpha^i = -\frac{2}{\lambda} \epsilon^{ik} \eta_k^{(2)} - q_{(2)}^i. \quad (58)$$

Bu hareket denklemlerinden $\dot{\alpha}_i$ ve $\eta_i^{(1)}$ de momentumların tanımları yazılırsa Euler-Lagrange denklemleri (37) elde edilir. Diğer denklemler özdeş olarak sağlanır.

4.3 Chiral Lagrange için Schmidt metodu

Chiral salınac için Lagrange fonksiyonu (3.1.3)'de belirtilen yöntem kullanılarak birinci mertebeye indirgenebilir. Bunun için $\dot{x}^i = s^i, r^i = \frac{\partial L}{\partial s^i} = \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \dot{x}^j$ koordinat dönüşümleri ile (31)'de tanımlanan Lagrange fonksiyonu

$$L_2 = \frac{m}{2} \delta_{ij} \dot{x}^i \dot{x}^j - \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \dot{x}^i s^j + \delta_{ij} r^i \dot{x}^j + \delta_{ij} r^i s^j \quad (59)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda (32)'de tanımlanan eşlenik momentum koordinatları

$$\begin{aligned} p_i^x &= m\delta_{ij} \dot{x}^j - \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} s^j + \delta_{ij} r^j, \\ p_i^r &= \delta_{ij} \dot{x}^j, \\ p^s &= 0 \end{aligned} \quad (60)$$

olarak hesaplanır. Bu momentum tanımlarından \dot{x}^i ve \dot{r}^i aşağıdaki şekilde çözülebilir:

$$\dot{x}^i = \delta^{ij} p_j^r, \quad \dot{r}^i = \delta^{ij} (p_j^x - m p_j^r) + \frac{\lambda}{2} \delta^{ik} \epsilon_{kj} s^j, \quad (61)$$

ve diğer momentum $\Phi_i^s = p_i^s = 0$ birincil kısıtlayıcıdır. (33)'de tanımlanan toplam Hamilton fonksiyonu

$$H_T = \delta^{ij} p_i^x p_j^r - \frac{m}{2} \delta^{ij} p_i^r p_j^r + \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \delta^{ik} p_k^r s^j - \delta_{ij} r^i s^j + u^i p_i^s \quad (62)$$

şeklinde ve burada u^i Lagrange çarpanıdır. Birincil kısıtın korunmasından

$$\dot{\Phi}_i^s = \dot{p}_i^s = \{p_i^s, H_T\} = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} \delta^{jk} p_k^r + \delta_{ji} r^j \quad (63)$$

ikincil kısıt

$$\phi_i = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} \delta^{jk} p_k^r + \delta_{ji} r^j$$

elde edilir. Bu kısıtında korunmasından ise

$$\dot{\phi}_i = \{\phi_i, H_T\} = \lambda \epsilon_{ij} s^j + p_i^x - m p_i^r \quad (64)$$

üçüncül kısıt

$$\alpha_i = \lambda \epsilon_{ij} s^j + p_i^x - m p_i^r$$

gelir ve son olarak üçüncül kısıtın korunmasından

$$\dot{\alpha}_i = \{\alpha_i, H_T\} = \lambda \epsilon_{ij} u^j - m \delta_{ij} s^j = 0 \quad (65)$$

Lagrange çarpanı

$$u^i = \frac{-m}{\lambda} \epsilon^{ij} \delta_{jk} s^k$$

olarak belirlenir ve bu u^i 'in toplam Hamilton fonksiyonu (62)'de yazılmasıyla toplam Hamilton fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir:

$$H_T = \delta^{ij} p_i^x p_j^r - \frac{m}{2} \delta^{ij} p_i^r p_j^r + \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} \delta^{ik} p_k^r s^j - \delta_{ij} r^i s^j - \frac{m}{\lambda} \epsilon^{ij} \delta_{jk} s^k p_i^s. \quad (66)$$

Hamilton fonksiyonu (66)'yı kullanarak Hamilton denklemleri

$$\dot{x}^i = \{x^i, H_T\} = \delta^{ij} p_j^r \dot{x}^i = \{x^i, H_T\} = \delta^{ij} p_j^r \quad (67)$$

$$\dot{r}^i = \{r^i, H_T\} = \delta^{ij} p_j^x - m \delta^{ij} p_j^r + \frac{\lambda}{2} \epsilon_{ij} s^j \quad (68)$$

$$\dot{s}^i = \{s^i, H_T\} = -\frac{m}{\lambda} \delta^{ik} \epsilon_{kj} s^j \quad (69)$$

$$\dot{p}_i^x = \{p_i^x, H_T\} = 0 \quad \dot{p}_i^r = \{p_i^r, H_T\} = 0 \quad (70)$$

$$\dot{p}_i^r = \{p_i^r, H_T\} = \delta_{ij} s^j \quad (71)$$

$$\dot{p}_i^s = \{p_i^s, H_T\} = -\frac{\lambda}{2} \epsilon_{ji} \delta^{jk} p_k^r + \delta_{ij} r^j \quad (72)$$

olarak elde edilir. Bunlardan (70) denkleminde p_i^x nin tanımını yazılırsa Euler-Lagrange denklemi (37) elde edilir.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma en genel ikinci mertbe Lagrange fonksiyonlarının (yozlaşmama şartı aramadan) birinci mertbeye indirgenmeleri ve Hamilton analizlerini sunmuştur. İndirgeme süreci 3 farklı yöntemle yapıp karşılaştırılmıştır. Örnek olarak ise Chiral salınacı verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yardımlarını esirgemeyen Oğul Esen'e çok teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Marsden, J. E. ve Ratiu, T. (1998). Introduction to mechanics ve symmetry: a basic exposition of classical mechanical systems. Springer-Verlag New York.
- [2] Dirac, P.A.M. (1964). Lectures on quantum mechanics. Belfer Graduate School of Science, Monograph Series, Yeshiva University, New york.
- [3] Dirac, P. A. (1958). Generalized hamiltonian dynamics. In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical ve Engineering Sciences. 246(1246), 326-332.
- [4] Bergmann, P. G. (1956). Quantization of general covariant field theories. Helv. Phys. Acta, Suppl. 4, 79 – 97.
- [5] Gotay, M. J. ve Nester, J. M. (1979). Presymplectic Lagrangian systems. I: the constraint algorithm and the equivalence theorem. In Annales de l'IHP Physique théorique, 30(2), 129-142.
- [6] Gotay, M. J. ve Nester, J. M. (1980). Generalized constraint algorithm ve special presymplectic manifolds. Geom. Meth. in Math. Phys., Lecture Notes in Mathematics, (775), 78-104.
- [7] Gotay, M. J. Nester, J. M., ve Hinds, G. (1978). Presymplectic manifolds and the Dirac Bergmann theory of constraints. J. Math. Phys., 19(11), 2388-2399.
- [8] M. Ostrogradski, (1850). Mémoires sur les équations différentielles, relatives au problème des isopérimètres. Mem. Acad. St. Petersburg VI, 4 385-517.
- [9] Çağatay Uçgun F., Esen O. ve Gümral H., (2018), Reductions of topologically massive gravity I: Hamiltonian analysis of second order degenerate Lagrangians. J. Math. Phys., 59(1).
- [10] Pons J. M., (1989) Ostrogradski's Theorem for Higher-Order Singular Lagrangians. Lett. Math. Phys. 17(3), 181-189.
- [11] Rashid, M. S. ve Khalil, S. S. (1996). Hamiltonian description of higher order lagrangians. Int. J. of Mod. Phys. A, 11(25), 4551-4559.
- [12] Schmidt, H. J. (1994). Stability ve Hamiltonian formulation of higher derivative theories. Phys. Rev. D, 49(12), 6354.
- [13] Schmidt, H. J. (1995). An alternate Hamiltonian formulation of fourth-order theories ve its application to cosmology. e-print arXiv:gr-qc/9501019.
- [14] Esen O. ve Guha P. (2018), On the geometry of the Schmidt-Legendre transformation. J. of Geom. Mec., 10 (3), 251-291
- [15] Lukierski J., Stichel P. ve Zakrzewski W., (1997) Galilean invariant (2 + 1) dimensional models with a Chern-Simons-like term ve D = 2 noncommutative geometry. Ann. Phys. 260, 224-249.
- [16] Cruz M., Gómez-Cortés R., Molgado A. ve Rojas E., (2016), Hamiltonian analysis for linearly acceleration-dependent Lagrangians. J. Math. Phys., 57, 062903.

Personnel Selection Based on Integrated Multi-Criteria Decision Making Techniques

Entegre Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerine Dayalı Personel Seçimi

Ecenaz DEMİRCİ¹ , Hüseyin Selçuk KILIÇ¹ 

¹Marmara University, Department of Industrial Engineering, 34722, Istanbul, Turkey

Abstract

Personnel selection is the most important process in human resources management discipline since a right selection contributes to other human resources management functions directly. An effective match indicates the quality of human resources department in an establishment. The process of selecting the most matching personnel is regarded as a ‘Multi Criteria Decision Making’ problem because of various criteria (qualitative and quantitative) for specific business positions. Hence, ‘Multi Criteria Decision Making’ techniques are very suitable to solve recruitment problems via finding the optimal candidate for a job position. This paper proposes a model that includes Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Analytical Network Process (ANP) and Elimination and Choice Expressing the Reality (ELECTRE) tools for the first time to overcome this problem. In the first step of the methodology, network relations of the job criteria are identified by DEMATEL method. Afterwards, the network relations are used as inputs in the ANP process and the importance weights of the job criteria are obtained via ANP method. Finally, ELECTRE method is implemented to rank the applicants. In all the steps, expert opinions are utilized and the integrated methodology is implemented in a corporation to show its applicability. Therefore, this study contributes to the literature both theoretically and practically.

Keywords: Personnel selection, DEMATEL, ANP, ELECTRE

Öz

Personel seçimi, doğru bir şekilde yapıldığında, diğer insan kaynakları fonksiyonlarına da katkı sağlayan insan kaynakları yönetim disiplininin önemli bir sürecidir. Uygun personel seçimleri bir işletmenin insan kaynakları bölümünün kalitesini de göstermektedir. Belirli iş pozisyonları için yapılan personel seçimi gerek nicel gerekse de nitel ölçütler içermesinden dolayı “Çok Kriterli Karar Verme” problemi olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, “Çok Kriterli Karar Verme” teknikleri en iyi adayın belirlenmesi noktasında uygun çözümler üretebilmektedir. Bu çalışmada DEMATEL, ANP ve ELECTRE tekniklerinin ilk defa bir arada kullanıldıkları bir metod önerilmektedir. Önerilen metodun ilk adımında personel seçim ölçütleri arasındaki ağ ilişkileri DEMATEL metodu ile belirlenmektedir. Sonrasında, ağ ilişkileri ANP sürecinde girdi olarak kullanılmakta ve ölçüt önem ağırlıkları bulunmaktadır. En son olarak da ELECTRE metodu başvuran adayları sıralamak da kullanılmaktadır. Bütün adımlarda uzman görüşleri alınmış ve önerilen metodun geçerliliğinin gösterilmesi için bir işletmede uygulama yapılmıştır. Böylece, bu çalışma ile literatüre gerek teorik gerekse de pratik katkı sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Personel seçimi, DEMATEL, ANP, ELECTRE

I. INTRODUCTION

In 20th century, human resources management gains more importance since customer demands and competition in the firms increase. Significance of manpower in a company to accomplish the objectives makes human resources management more important. Human resources department of a business has many functions. These are planning, organizing, directing, controlling, recruitment, job analysis, performance appraisal, training, salary administration, personnel research and record. Recruitment is the most critical function among these functions. When human resources department in an organization needs additional workforce,

there are a few alternatives including full scale recruitment and selection process and hiring employees. Recruitment is the process of attracting people on a timely basis, in required numbers and specifications to apply for job positions in an enterprise. Recruitment and personnel choice affect the firms directly and selection procedure is a very critical function of an organization's management. Selecting ambitious and skilled candidates assist organizations to earn success.

In decision making process, a selection is carried out among several alternatives to achieve a specific goal, the optimal choice is determined via various methods. Personnel selection problem is assumed as a kind of Multi Criteria Decision Making (MCDM) problem. MCDM problems include techniques that use more than one criterion to obtain the best solution. However, the opinions of the decision makers (DMs) and this subjective approach make the personnel selection problem more difficult. In addition, the personnel selection problem framework has both qualitative and quantitative criteria. Therefore, MCDM techniques are one of the best methods to cope with the complex structure of the personnel selection problem.

The paper combines three different methods and proposes an integrated methodology for personnel selection. MCDM tools including DEMATEL, ANP and ELECTRE are utilized together for the first time for personnel selection. The reason for using DEMATEL depends on its strength for determining the network relations between the factors. Afterwards, ANP is used since it enables to find the importance weights in a network structure. Finally, ELECTRE technique is utilized depending on its suitability and strength for ranking the alternatives considering outranking relations. Besides the individual superiorities of the techniques, it is also benefited from the synergy of using these three techniques together. However, this paper provides contributions both theoretically by proposing an integrated methodology utilizing three well-known robust techniques for the first time and practically by providing an implementation about personnel selection in industry.

The other parts of this paper are organized as follows: Section 2 presents the literature review including the criteria and methods utilized for personnel selection. In Section 3, the proposed methodology is presented with the techniques including DEMATEL, ANP and ELECTRE. Section 4 involves the implementation of the methodology in an organization and finally conclusion is provided with the references.

II. LITERATURE REVIEW

There are a great number of studies about personnel selection. Papers published after 1999 are studied here. 39 papers

are examined in terms of solution methods, sector and job positions and depicted in Appendix (Table 12). Some of the studies are explained briefly in accordance with the sectors as follows.

In information technology industry, Wu and Lee (2007) applied fuzzy DEMATEL method to find out global manager candidates. Chen and Lee (2010) and Kelemenis and Askounis (2010) used FTOPSIS method to obtain productive results for recruitment. Akhlaghi (2011) implemented rough set exploration system for construction project manager position. Kelemenis et al. (2011) benefited from the advantages of FTOPSIS method with veto threshold. Zhang and Liu (2011) analyzed intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method with GRA to personnel selection problem. Doğan and Önder (2014) applied a combined methodology using AHP and TOPSIS methods. Erdem (2016) implemented AHP in fuzzy environment for junior developer position.

In education sector, Ayub et al. (2009) used FANP method. Kabak and Kazançoğlu (2012) applied FAHP tool. Rouyendegh and Erkan (2013) developed a model using ELECTRE method. Kumar et al. (2013) utilized an integrated technique that involved SAW, WPM, AHP and TOPSIS. Saad et al. (2014) proposed a model using Hamming distance method with subjective and objective weights (HDM-SOW's).

In construction sector, Zavadskas et al. (2008), Shahhosseini and Sebt (2011) and Gilan et al. (2012) proposed methodologies utilizing COPRAS-G (Complex Proportional ASsessment of alternatives with grey relations), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and FAHP, Computing with words (CWW) tools respectively.

In automotive sector, Saremi et al. (2009) used FTOPSIS to improve quality of decision of personnel selection. In addition, Yıldız and Aksoy (2015) implemented AHP technique. In textile sector, Ozdemir (2013) proposed a hybrid methodology using AHP with stochastic dynamic programming and in telecommunication sector, Afshari et al. (2010) combined AHP and ELECTRE tools. Moreover, Efe and Kurt (2018) applied possibility degree based TOPSIS method for the selection of textile personnel in assembly line balancing problem.

On the other hand, there are also studies that are not stated on sectoral basis. Nabeeh et al. (2019) developed an integrated neutrosophic-TOPSIS approach for the selection of customer service manager. Ji et al. (2018) proposed a projection-based TODIM method under multi-valued neutrosophic environments for personnel selection and finally fuzzy axiomatic design principles were applied by Khandekar and

Chakraborty (2016) for the selection of manager in purchase department. Moreover, it is observed that there is not a study which utilizes the combination of DEMATEL, ANP and ELECTRE methods for personnel selection in the literature. Hence, this study is supposed to provide contribution to the literature by filling this gap.

III. THE PROPOSED METHODOLOGY

The methodology proposed in this study consists of four main stages including Preparation, DEMATEL, ANP and ELECTRE techniques. Within the first preparation stage, the criteria that will be used in personnel selection, candidates and the decision makers are determined. In the second stage, DEMATEL is applied to find the network relationship map of the criteria. Afterwards, in the third stage, ANP is applied to obtain the importance weights of the personnel selection criteria. Finally, in the last stage, ELECTRE is applied to rank the candidates. The details of the stages are indicated in Figure 1.

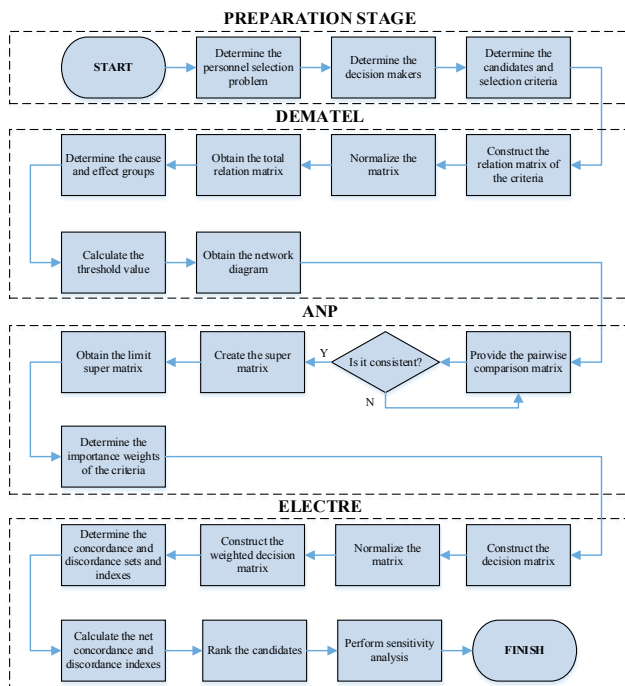


Figure 1 The proposed methodology

3.1 DEMATEL

At the end of 1971, DEMATEL methodology was presented and it was firstly used by the BMI agency of Switzerland (Kiaokjuri et al., 2015). Since then, it has been used in various fields including; determining the key factors affecting

the hospital performance (Afsharkazemi et al., 2013), exploring the key factors of corporate social responsibility (Chen and Chi, 2015), analyzing the social capital indicators (Kiaokjuri et al., 2015) and so on.

The execution of DEMATEL method consists of six steps (Sumrit and Anuntavoranich, 2013):

1. Gathering expert’s opinion and calculating the average matrix
2. Normalizing the initial direct-relation matrix
3. Obtaining the total relation matrix
4. Computing the row and column sums of matrix
5. Setting the value of threshold
6. Constructing the impact-relation map

Figure 1 depicts the algorithm in a detailed manner. Cause and effect relationship chart’s acceptability affects the process, depending on the acceptability degree, steps 5 and 6 can be repeated.

Step 1: Gathering expert’s opinion and calculating the average matrix

M experts and n factors are considered. Factors list that is organized in sets of i and j are asked to experts to express their opinions on the impact degrees the factors having on each other (pairwise comparison, at what level factor i affects factor j). A scale is constructed (e.g. a scale of 0-4; 0 = no influence, 1 = weak direct influence, 2 = moderate direct influence, 3 = strong direct influence, 4 = very strong direct influence). The level to which the expert evaluates factor i influences factor j is denoted as x_{ij} . A $n \times n$ non-negative matrix is constructed for every expert as $X_k = [X_{kij}]$, where k is the evaluating expert number with $1 \leq k \leq m$. The matrix’s mathematical notation is shown in Equation 1.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \dots & 0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

M matrices ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$) are derived from the experts. Every single matrix element is shown as x_{ij} which is the impact degree, i has on factor j. All the diagonal elements of matrices i-are set to zero since DEMATEL method doesn’t assess self-influence of factors.

An average comprehension of the experts’ opinions has to be attained. Initial direct-relation matrix is generated by obtaining the average of the matrix. This matrix can be represented as matrix $Z=[z_{ij}]$ and obtained by the formula in Equation 2.

$$z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ij}^k \tag{2}$$

Step 2: Normalizing the initial direct-relation matrix

The average matrix Z is used to calculate normalized direct relation matrix. Total direct impact on the impact scale of the factor with the most direct impact on the other factors is represented in Equation 3.

$$\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij} \tag{3}$$

The values of all elements in the normalized direct-relation “matrix D” are between [0,1] and the formulas to obtain normalized matrix are depicted in Equation 4.

$$D = \lambda * Z \tag{4}$$

Where λ is shown in Equation 5.

$$\lambda = \text{Min} \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |z_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |z_{ij}|} \right] \tag{5}$$

Step 3: Obtaining the total relation matrix

Total relationship is the direct and indirect relationship between factor pairs. It is assumed that the indirect impact matrix reaches to the null matrix and it is demonstrated in Equation 6.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} D^k = 0 \tag{6}$$

0 is the null matrix and I is an n x n identity matrix. $(I - D)^{-1}$ formulation is shown in Equation 7.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (I + D + D^2 + \dots + D^k) = (I - D)^{-1} \tag{7}$$

Finally, the total relation matrix T is obtained and depicted in Equation 8.

$$T = D(I - D)^{-1} \tag{8}$$

Step 4: Computing row and column sums of matrix

Each column sum and row sum of the matrix T is calculated, r_i denotes the row sum of the *i*th row of matrix T and it represents the sum of direct and indirect impacts of factor *i* on the other factors. In addition, c_j denotes the column sum of the *j*th column of matrix T and it represents the sum of direct and indirect impacts that factor *j* has received from the other factors. The summation, $r_i + c_i$ presents the total impacts given and received, that is, $r_i + c_i$ represents the degree of the significant role that factor *i* plays in the entire system and if $r_i - c_i$ is positive, then factor *i* has an impact on the other factors and a net cause occurs, else if, $r_i - c_i$ is negative, then factor is affected by the other factors and a net receiver occurs.

Step 5: Setting the value of threshold α

Threshold value is determined to remove the effect of elements having minor impact in matrix T. In matrix T, each factor *ij* of matrix T gives information about how factor *i*

influences the factor *j*, if all the information from matrix T was transferred to the Impact-Relation Map (IRM), it would be too complicated. Thus, the aim of elimination of complexity in IRM leads to set a threshold value α for the impact level. Threshold value is calculated by computing the average of elements in the matrix as shown in Equation 9.

Where N is the total number of elements in matrix T

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \tag{9}$$

Step 6: Constructing the impact-relation map (IRM)

This is the final step of the method and it is built by mapping all coordinate sets of $(r_i + c_i, r_i - c_i)$ to display the complicated interrelationship. The factors which have impact value in matrix T greater than the threshold value α are selected and transferred to the IRM, the cause and effect diagram. This chart gives information about the most critical factors and the impact.

3.2 ANP

ANP is introduced by Thomas L. Saaty in 1980. This approach considers interdependencies of factors; impact, dependency and feedback are the basics of ANP. The method not only evaluates alternatives and criteria in selection, but also positive and negative outcomes of interactions of alternatives and criteria. It is a generalized form of AHP and it provides better and more realistic solutions to complex MCDM problems (Saaty, 1994) and has various application areas including location selection for hospitals (Lin and Tsai, 2010), performance measurement (Chen et al., 2012) and so on. ANP presents effective solutions for complex decision problems since the method requires a process to make a correct choice and contains various steps (Saaty and Vargas, 2013).

These are:

1. Defining the problem and constructing the decision model
2. Making pairwise comparisons and calculating local weights
3. Creating supermatrix
4. Ranking global weights

Step 1 – Defining the problem and constructing the decision model

In this step, the decision problem is defined and structured as network. Firstly, the goal of the process is set. Secondly, this goal is divided to clusters (component), factors, criteria and alternatives. Thirdly, by considering dependencies and feedbacks, relations are identified. Creating detailed structures that are capable of describing the problem, is

critical because the validity of the decision is directly related to the structure and relations in the structure. ANP structures the problems as networks, generally a network is related to the effects of an element to other elements. Relations are identified between decision components and elements and a diagram is generated. Components and factors that are located in components constitute the network structure. Furthermore, all variables, criteria, sub-criteria and alternatives are identified. After identifying basic elements of the network, the relations between components and factors, feedbacks and dependencies are analyzed. A factor in a component can have interaction with a factor in another component or a factor in the same component. All these interactions are considered to identify the relations.

Step 2 – Making pairwise comparisons and calculating local weights

Pairwise comparisons are made. 1-9 scale which is introduced by Saaty and also used in AHP is utilized. Pairwise comparisons are made by considering the network and the factors that are related. ANP is based on the interactions of the main factors. Regarding the personal judgement of the decision maker, local priority weights are calculated. Eigenvector is used to obtain the weights. Finally, consistency ratios are determined and inconsistent matrices are checked.

Step 3 – Creating supermatrix

Supermatrix is a matrix which all interactions in the network are presented (Yang et al., 2015). Local priority vectors, which are obtained from pairwise comparisons, are written to the columns of the supermatrix. A supermatrix is a sectional matrix and each part in this matrix shows the relation between two factors in the system. If factors in a cluster don't have influence on other factors in another cluster, then 0 is put to related parts.

There are three types of supermatrix in ANP. These are unweighted or beginning supermatrix, weighted supermatrix and limit supermatrix. Unweighted or beginning supermatrix is obtained by replacing the priority vectors, that are the result of the pairwise comparisons. Weighted supermatrix is obtained by the multiplication of the priority values of the clusters and the eigenvector of the clusters. As a result, column sums of the weighted supermatrix equal to 1 and it turns to a stochastic matrix. Stochastic matrices have convergence property, when stochastic matrices are exponentiated, the values in the same row converge to each other and meet in a limit value (Abastant et al., 2011). Lastly, weighted supermatrix is exponentiated $(2k+1)$ times to get the impacts of factors on each other in long term and it is shown in Equation 10, k is a random large number in the equation.

Limit supermatrix is the result of exponentiating the weighted matrix by a great number of times.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \tag{10}$$

Step 4 – Ranking global weights

Supermatrix determines the weights of the alternatives or factors compared. Values at a specific row of the limit supermatrix show the global priority value of the factor in that row. In selection problem, alternative with the greatest weight is the best alternative and in weighting problem, the factor with the greatest weight is the most important factor that affects the decision process (Saaty, 2008).

3.3 ELECTRE

ELECTRE is a MCDM method and it is developed by a team of European researchers in Consultancy Company SEMA in 1965 (Benayoun and Sussman, 1966).

ELECTRE is based on making a selection among the alternatives by comparing them with respect to the preference ranking. ELECTRE is one of the most applied outranking methods that reflect the decision makers' preferences. In addition, alternatives are compared with respect to the outranking relations and these relations represent dominance among alternatives (Pang et al., 2011).

In this study, ELECTRE is implemented for the personnel selection problem and the execution of ELECTRE method consists of seven steps (Bari and Leung, 2007; Tunca et al., 2015; Yücel and Görener, 2016; Alper and Başdar, 2017):

1. Constructing the decision matrix
2. Normalizing the decision matrix
3. Obtaining the weighted decision matrix
4. Determining concordance and discordance sets
5. Calculating concordance and discordance indexes
6. Comparing outranking alternatives
7. Calculating net concordance and discordance indexes

Step 1 – Constructing the decision matrix

Decision matrix is an initial matrix and is created by the decision maker. Alternatives are placed in the rows and decision criteria are placed in columns as shown in Equation 11.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{11}$$

m symbolizes number of alternatives, n symbolizes number of criteria and a_{ij} symbolizes the evaluation score of m th alternative with respect to n th criterion.

Step 2 – Normalizing the decision matrix

Decision matrix is normalized by using the following two formulas for profit and cost criteria respectively and are shown in Equations 12 and 13.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \text{ for all } i \text{ and } j \tag{12}$$

$$x_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{a_{kj}}\right)^2}} \text{ for all } i \text{ and } j \tag{13}$$

As a result, the following normalized decision matrix is found as in Equation 14.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{14}$$

Step 3 – Obtaining the weighted decision matrix

Importance of criteria can differ thus Y matrix arises. Weights of criteria (Wi) should be specified by the decision maker and then normalized X matrix is multiplied by Wi as indicated in Equation 15 and V_{ij} weighted decision matrix is obtained and shown in Equation 16.

$$V_{ij} = W_j X_{ij}, \sum_{j=1}^n W_j = 1 \tag{15}$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & \dots & w_n x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & \dots & w_n x_{mn} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Step 4 – Determining concordance and discordance sets

Y matrix is processed to obtain the concordance and discordance sets. Decision points are compared with respect to the criteria. For every pairwise alternative comparison, criteria are divided to two different sets. In a concordance set, Ap and Aq (for all p, q and p ≠ q) Ap alternative is chosen instead of Aq alternative and it is shown in Equation 17.

$$C(p,q) = \{j | V_{pj} \geq V_{qj}\} \tag{17}$$

If Ap alternative is worse than Aq alternative, a discordance set is created as in Equation 18.

$$D(p,q) = \{j | V_{pj} < V_{qj}\} \tag{18}$$

In ELECTRE, each concordance set has a corresponding discordance set.

Step 5 – Calculating concordance and discordance indexes

Concordance and discordance indexes are utilized to assess the relationship of the elements or objects. Concordance index shown by C(a,b) indicates that if a is as better

as b or not. On the other hand, discordance index shown by D(a,b) indicates the degree of certain preference of b to a. Concordance sets are used to create concordance matrix (C). The elements of matrix C are gathered by the formula in Equation 19.

$$C_{pq} = \sum_{j \in C_{pq}} W_j \tag{19}$$

C_{pq} concordance index can be easily calculated. For example if $C_{12} = \{1,4\}$ then the value C_{12} element is $W_1 + W_4$. C matrix is obtained as shown in Equation 20.

$$C = \begin{bmatrix} - & \dots & c_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & - \end{bmatrix} \tag{20}$$

By using discordance set, discordance matrix (D) is obtained. The discordance matrix elements are obtained by the formula indicated in Equation 21.

$$D_{pq} = \frac{\max_{j \in D_{pq}} |v_{pj} - v_{qj}|}{\max_{v_j} |v_{pj} - v_{qj}|} \tag{21}$$

D matrix is formed and depicted as in Equation 22.

$$D = \begin{bmatrix} - & \dots & d_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & - \end{bmatrix} \tag{22}$$

Step 6 – Comparing outranking alternatives

After calculating concordance and discordance indexes, their elements are checked in a specified way and the alternatives which are inappropriate are eliminated. Greatness of concordance (C_{pq}) and smallness of discordance (D_{pq}) indexes determine how much Ap alternative outranks Aq. Firstly, average of C and average of D (C^* and D^*) are calculated for this, if $C_{pq} \geq C^*$ and $D_{pq} < D^*$, then Ap alternative is chosen instead of Aq alternative. The alternatives selected via ELECTRE method constitute kernel (K) which is created by considering the following two conditions (Tzeng and Huang, 2011).

An alternative in K doesn't outrank another alternative in K.

An alternative that isn't in K is worse than at least one alternative in K, in the ranking of preference.

Step 7 – Calculating net concordance and discordance indexes

In case of existence of more than one alternative in kernel, net concordance and discordance indexes determine the alternative. They show which alternative outranks the others. The alternative which has the greatest value with respect to the net concordance index and similarly the smallest value with respect to the net discordance index is the solution set.

Hence, C_p s are ranked in descending order and D_p D_p s are ranked in ascending order and net concordance and discordance indexes are calculated by the formulas shown in Equations 23 and 24.

$$C_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{kp} \tag{23}$$

$$D_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{kp} \tag{24}$$

Ultimately, the final ranking is obtained by selecting the greatest “C” and the smallest “D” value. Moreover, in case, there is a difference between the rankings in concordance and discordance indexes, as Bari and Leung (2007) state, the average of rankings can be obtained to get a final ranking.

IV. THE APPLICATION OF THE PROPOSED METHODOLOGY FOR ENGINEER SELECTION

The proposed methodology is applied in an industry for engineer selection. The organization which the application is carried out is mainly related to rubber part manufacturing. Since 1959, the company is a manufacturer of rubber parts for the industry. At the present time, the company produces rubber mixing, door bellows, gasket, inlet, outlet hoses, rubber metal bonded anti-vibration parts, grommets for wiring and cable harness systems, brake diaphragms and various engineering devices. In the organization, personnel selection application is conducted via a multi-stage process; in the first stage, a job interview is made with the candidates that meet the job advertisement requirements via phone by making an evaluation based on personality, technical skills and foreign language, whereas, in the second stage, conduction of exams (candidates score under 70 points are eliminated) and in the third stage, a job interview is made with the related department manager and manager’s decision becomes the final decision. In the existing system, the related department manager does not use a specific system instead decides intuitively. In the proposed new approach, the first two stages remain the same however, in the third stage, the proposed methodology is applied. Hence the decisions are performed via a scientific framework. The related steps of the proposed methodology are provided in the following sections.

4.1 Preparation Stage

Within the preparation stage, the personnel selection criteria are determined via obtaining the views of human resource expert in the company and literature review and finalized as follows:

- Education (At least having bachelor degree in industrial, mechanical, mechatronics or material

engineering)

- Experience
- Personality and Personal Skills
- Technical Skills and Requirements (Being a good MS Office User, Knowing IATF 16949, Kaizen, 5S quality systems)
- Foreign Language (Speaking and writing well in English or German)
- Vocational Flexibility (Being free to travel domestic or abroad)
- Exam Results (Points from the exam performed by the firm)

Moreover, there are seven candidates to be evaluated at the end of the pre-evaluation stages. The candidates are named as Cnd1, Cnd2,...,Cnd7.

4.2 DEMATEL Stage

In the second stage of the proposed methodology, DEMATEL technique is utilized so as to obtain the network relation map (NRM) which is used as an input in the ANP stage. The human resource expert’s opinion is gathered to obtain decision matrix for DEMATEL. A scale is constructed between 0 and 4 (0 = no influence, 1 = weak direct influence, 2 = moderate direct influence, 3 = strong direct influence 4=very strong direct influence). The expert’s opinion for seven criteria is displayed as in Table 1. For example, education criterion weakly affects experience criterion, education criterion doesn’t affect vocational flexibility criterion, education criterion moderately affects personality and personal skills criterion, education criterion strongly affects exam results criterion and education criterion very strongly affects technical skills and requirements criterion.

Table 1 Initial direct relation matrix of the case

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
1-Education (Cr1)	0	1	2	4	3	0	3
2-Experience (Cr2)	1	0	2	4	3	1	3
3-Personality and Personal Skills (Cr3)	2	2	0	3	1	3	2
4-Technical Skills and Requirements (Cr4)	3	3	3	0	0	0	4
5-Foreign Language (Cr5)	3	0	1	1	0	3	2
6-Vocational Flexibility (Cr6)	0	0	1	0	0	0	0
7-Exam Results (Cr7)	3	3	2	3	2	0	0

This initial direct relation matrix is normalized regarding DEMATEL steps and normalized matrix is shown in Table 2.

Table 2 Normalized direct relation matrix of the case

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
1 - Education (Cr1)	0.000	0.067	0.133	0.267	0.200	0.000	0.200
2 - Experience (Cr2)	0.067	0.000	0.133	0.267	0.200	0.067	0.200
3 - Personality and Personal Skills (Cr3)	0.133	0.133	0.000	0.200	0.067	0.200	0.133
4 - Technical Skills and Requirements (Cr4)	0.200	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000	0.267
5 - Foreign Language (Cr5)	0.200	0.000	0.067	0.067	0.000	0.200	0.133
6 - Vocational Flexibility (Cr6)	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000
7 - Exam Results (Cr7)	0.200	0.200	0.133	0.200	0.133	0.000	0.000

After the normalized matrix, the total relation matrix T is calculated and shown in Table 3.

Table 3 Total relation matrix

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
1 - Education (Cr1)	0.572	0.528	0.622	0.886	0.570	0.274	0.815
2 - Experience (Cr2)	0.637	0.468	0.628	0.889	0.572	0.338	0.818
3 - Personality and Personal Skills (Cr3)	0.586	0.511	0.436	0.739	0.403	0.402	0.662
4 - Technical Skills and Requirements (Cr4)	0.756	0.671	0.706	0.732	0.453	0.276	0.902
5 - Foreign Language (Cr5)	0.510	0.276	0.371	0.467	0.248	0.342	0.498
6 - Vocational Flexibility (Cr6)	0.039	0.034	0.096	0.049	0.027	0.027	0.044
7 - Exam Results (Cr7)	0.739	0.638	0.632	0.862	0.539	0.277	0.662

Table 4 Row and column sums of total relation matrix

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7	r_i	c_j	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$
Cr1	0.572	0.528	0.622	0.886	0.570	0.274	0.815	4.267	3.841	8.108	0.426
Cr2	0.637	0.468	0.628	0.889	0.572	0.338	0.818	4.349	3.126	7.475	1.223
Cr3	0.586	0.511	0.436	0.739	0.403	0.402	0.662	3.739	3.490	7.229	0.249
Cr4	0.756	0.671	0.706	0.732	0.453	0.276	0.902	4.497	4.624	9.121	-0.126
Cr5	0.510	0.276	0.371	0.467	0.248	0.342	0.498	2.712	2.813	5.525	-0.101
Cr6	0.039	0.034	0.096	0.049	0.027	0.027	0.044	0.316	1.936	2.252	-1.620
Cr7	0.739	0.638	0.632	0.862	0.539	0.277	0.662	4.349	4.400	8.750	-0.051

Normalized initial direct relation matrix is multiplied by the matrix which is obtained by subtracting normalized initial direct relation matrix from identity matrix and that result is inverted. The row and column sums are calculated and shown in Table 4.

Each row and column are summed. In addition, row and column sums are also added up and column sums are subtracted from the row sums. These r_i+c_j and r_i-c_j values show the impact relations in DEMATEL method.

Threshold value is calculated as by dividing sum of all elements to number of elements and obtained as $\alpha= 0.494$. Numbers which are bigger than the threshold value are in bold as indicated in Table 5. However, there are two exceptions including 0.402 and 0.096. Since there are no selected values in the row and column “Cr6”, these values which are the biggest ones in their rows and columns are chosen as proposed by Wu et al. (2011). Hence in case there are no values bigger than the threshold value in any row or column, the biggest one in the related row or column is chosen so as to utilize the related row or column (Wu et al., 2011).

Table 5 The values that are used in ‘Network Relationship Map’

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
Cr1	0.572	0.528	0.622	0.886	0.570	0.274	0.815
Cr2	0.637	0.468	0.628	0.889	0.572	0.338	0.818
Cr3	0.586	0.511	0.436	0.739	0.403	0.402*	0.662
Cr4	0.756	0.671	0.706	0.732	0.453	0.276	0.902
Cr5	0.510	0.276	0.371	0.467	0.248	0.342	0.498
Cr6	0.039	0.034	0.096*	0.049	0.027	0.027	0.044
Cr7	0.739	0.638	0.632	0.862	0.539	0.277	0.662

The related NRM is obtained with respect to bold values which are depicted in Figure 2.

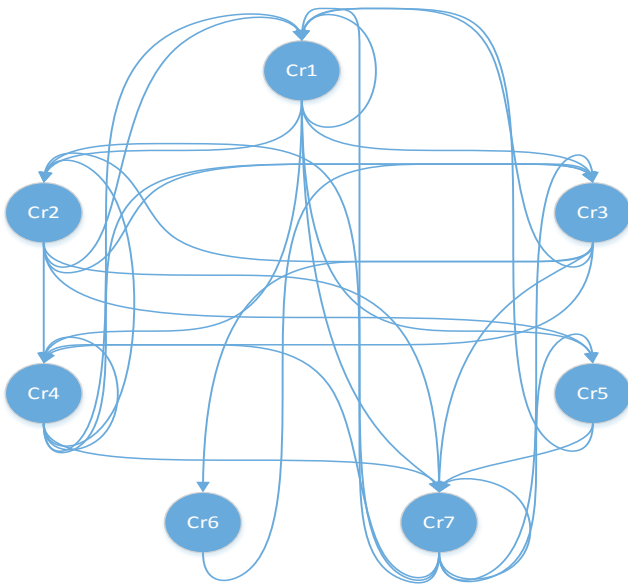


Figure 2 Network relation model of the whole case

4.3 ANP Stage

After obtaining the network relation map as a result of DEMATEL method, ANP technique is utilized considering this map. The pairwise comparisons are performed by the human resource expert and the eigenvectors are obtained. For clarifying this process, it is focused on one of the criteria and the related operations are explained. The considered criterion is the third criterion which is “Personality and Personal Skills”. Regarding the network relation map, it is seen that the third criterion affects “Education”, “Experience”, “Technical Skills and Requirements”, Vocational Flexibility” and “Exam Results”. Hence, the pairwise comparison is performed between these five criteria with respect to “Personality and Personal Skills” as indicated in Table 6.

Table 6 The pairwise comparisons with respect to “Personality and Personal Skills”

	Cr1	Cr2	Cr4	Cr6	Cr7
Education (Cr1)	1	2	1	1	1
Experience (Cr2)	1/2	1	1	1	2
Technical Skills and Requirements (Cr4)	1	1	1	2	3
Vocational Flexibility (Cr6)	1	1	1/2	1	3
Exam Results (Cr7)	1	1/2	1/3	1/3	1

After performing the required steps in ANP, the eigenvector is obtained as [0.224, 0.188, 0.269, 0.205, 0.111] with a consistency ratio of 0.065 which is under 0.10. The similar steps are performed for the other pairwise comparisons and

shown in Appendix (Table 13). Finally, the limit matrix is formed as shown in Table 7. Hence, these values will be used as criteria importance weights in the ELECTRE method.

Table 7 The limit matrix of the case

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
Cr1	0.2933	0.2933	0.2933	0.2933	0.2933	0.2933	0.2933
Cr2	0.2015	0.2015	0.2015	0.2015	0.2015	0.2015	0.2015
Cr3	0.1669	0.1669	0.1669	0.1669	0.1669	0.1669	0.1669
Cr4	0.1499	0.1499	0.1499	0.1499	0.1499	0.1499	0.1499
Cr5	0.0553	0.0553	0.0553	0.0553	0.0553	0.0553	0.0553
Cr6	0.0343	0.0343	0.0343	0.0343	0.0343	0.0343	0.0343
Cr7	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990

4.4 ELECTRE Stage

Having the criteria importance weights as a result of the ANP method, the steps of ELECTRE method are executed to get the ranking of the candidates. The scorings of the seven candidates (Cnd1,...,Cnd7) with respect to the seven criteria are depicted in Table 8.

Table 8 ELECTRE decision matrix of the case

	Educa-tion	Persona- lity and Expe- rience Skills	Technical Skills and Require- ments	Foreign Lan- guage	Voca- tional Flexi- bility	Ex a m Results
Cnd1	100	100	80	85	100	100
Cnd2	97	100	80	85	100	100
Cnd3	97	100	80	75	100	95
Cnd4	97	100	90	85	100	80
Cnd5	100	100	80	70	65	100
Cnd6	100	100	80	75	70	100
Cnd7	100	100	50	70	50	100

Using Equation 12 in ‘Methods’ Part, initial matrix is normalized. An example for normalization calculation of one of the matrix elements (x11) is shown as follows:

$$x_{11} = \frac{100}{\sqrt{100^2 + 97^2 + 97^2 + 97^2 + 100^2 + 100^2 + 100^2}} = 0.383$$

Normalized ELECTRE decision matrix is given in Table 9

Table 9 Normalized ELECTRE decision matrix of the case

	Educa- tion	Persona- lity and Expe- rience Skills	Technical Skills and Require- ments	Foreign Lan- guage	Voca- tional Flexi- bility	Exam Results
Cnd1	0.383	0.378	0.465	0.398	0.435	0.378
Cnd2	0.371	0.378	0.372	0.398	0.435	0.378
Cnd3	0.371	0.378	0.372	0.348	0.384	0.378

Cnd4	0.371	0.378	0.419	0.423	0.410	0.378	0.421
Cnd5	0.383	0.378	0.372	0.348	0.333	0.378	0.053
Cnd6	0.383	0.378	0.372	0.373	0.359	0.378	0.079
Cnd7	0.383	0.378	0.233	0.348	0.256	0.378	0.105

Afterwards, each value in the normalized ELECTRE decision matrix is multiplied by the related criterion importance weight and the weighted decision matrix of the case is obtained and shown in Table 10. The first element x11 (0.112) is obtained by multiplying 0.383 by the importance weight of the first criterion which is 0.293.

Table 10 Weighted decision matrix of the case

	Education	Personality and Personal Skills	Experience	Technical Skills and Requirements	Foreign Language	Vocational Flexibility	Exam Results
Cnd1	0.112	0.076	0.078	0.060	0.024	0.013	0.052
Cnd2	0.109	0.076	0.062	0.060	0.024	0.013	0.052
Cnd3	0.109	0.076	0.062	0.052	0.021	0.013	0.049
Cnd4	0.109	0.076	0.070	0.063	0.023	0.013	0.042
Cnd5	0.112	0.076	0.062	0.052	0.018	0.013	0.005
Cnd6	0.112	0.076	0.062	0.056	0.020	0.013	0.008
Cnd7	0.112	0.076	0.039	0.052	0.014	0.013	0.010

As explained in the methodology part, the concordance and discordance indexes are obtained and shown in Appendix (Table 14). Regarding the outranking relations, the graph is drawn as in Figure 3.

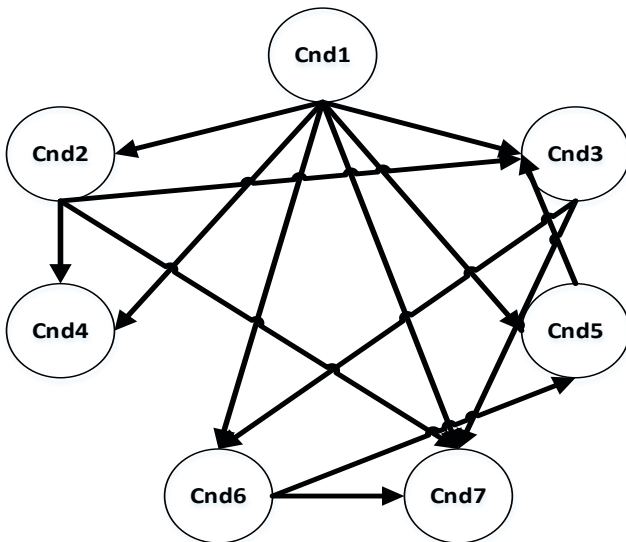


Figure 3 The outranking relations of candidates

Considering the graph, the best candidate is clear and it is candidate 1. However, a complete ranking is not obtained. Hence, the net concordance and discordance indexes are

calculated and average rankings are used to clarify the final ranking. Moreover, for the clarification of steps, the operations for finding C1 and D1 are clearly provided as follows:

$$C1 = (C12 + C13 + C14 + C15 + C16 + C17) - (C21 + C31 + C41 + C51 + C61 + C71)$$

$$(1+1+0.85+1+1+1) - (0.540+0.236+0.385+0.529+0.529+0.529) = 3.103$$

$$D1 = (D12 + D13 + D14 + D15 + D16 + D17) - (D21 + D31 + D41 + D51 + D61 + D71) = 3.103$$

$$(0+0+0.358+0+0+0) - (1+1+1+1+1+1) = - 5.642$$

All of the net concordance (Net Cp) and discordance (Net Dp) values of the candidates are obtained and indicated in Table 11 with the average rankings.

Table 11 Net concordance and discordance values of candidates

Candidate	Net Cp Value	Cp Rank	Net Dp Value	Dp Rank	Average of Cp and Dp Ranks	Final Rank
1	3,1032	1	-5,6419	1	1	1
2	-0,1192	4	-3,0262	2	3	3
3	-1,741	7	-0,4462	4	5.5	6
4	0,5026	2	-2,1054	3	2.5	2
5	-0,7026	5	3,9833	6	5.5	5
6	0,2058	3	1,8467	5	4	4
7	-1,2488	6	5,3897	7	6.5	7

Regarding the average of ranking values, the candidates from best to worst can be listed. However, there is a tie between Cnd3 and Cnd5 and this tie is broken considering the outranking relation between these candidates. Hence, the final ranking is determined as Cnd1, Cnd4, Cnd2, Cnd6, Cnd5, Cnd3 and Cnd7. Moreover, sensitivity analysis is performed for the “education” and “experience” which are the two most important criteria having half of the total criteria importance weight. As seen in Figures 4 and 5, it is observed that the winner “Candidate 1” does not change.

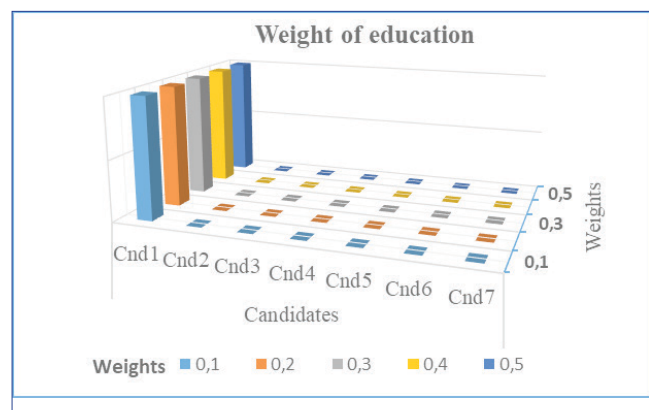


Figure 4 Sensitivity analysis on the weight of “education”

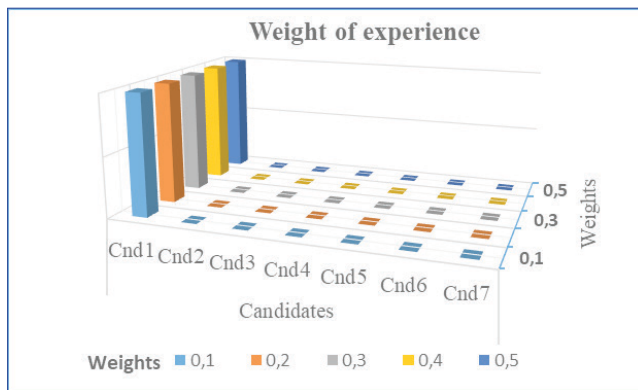


Figure 5 Sensitivity analysis on the weight of “experience”

V. CONCLUSION

Personnel selection is one of the touchstones of an organization. False selections can lead to capital loss, time loss, lower productivity, more injuries at work. Therefore, finding the best candidates for a company is a very critical issue.

This paper proposes a new methodology that combines three distinct tools; DEMATEL, ANP and ELECTRE.

Firstly, DEMATEL method is utilized to find out the predetermined personnel selection criteria (determined by literature review and expert opinions) relations and criteria relation map is developed. Secondly, ANP technique is used to determine the importance weights of the criteria. Finally, the applicants are ranked by ELECTRE tool. Developed methodology is implemented in a firm in automotive industry to gain validity. In addition, this methodology isn't sector-specific. Although, this methodology is only applied in automotive sector, it can be generalized and applied to all sectors including various decision making problems such as supplier selection, project selection and software selection. Moreover, with the application of the proposed methodology, a systematic approach will be provided for the real life decision making problems. Thus, this paper contributes to the literature by introducing a new methodology and applying it in industry for personnel selection problem. In this new methodology, different decision problems and different sectors can be used for implementation for future studies of this subject. Moreover, the proposed integrated methodology can be enhanced with fuzzy approaches.

APPENDIX

See Tables 12, 13 and 14

Table 12 Literature review table about personnel selection

AUTHORS (YEAR)	SOLUTION METHOD	JOB POSITION
Yaakob and Kawata (1999)	Fuzzy number approach with linguistic variables	Worker
Tsao and Chu (2001)	Fuzzy set theory with multi-criteria approach	Industrial engineer
Seol and Sarkis (2005)	AHP	Internal auditor
Dağdeviren and Yüksel (2007)	ANP	Unstated
Wu and Lee (2007)	FDEMATEL	Global manager
Zavadskas et al. (2008)	COPRAS-G (Complex Proportional ASsessment of alternatives with grey relations)	Project manager
Ayub et al. (2009)	FANP	Post lecturer
Saremi et al. (2009)	FTOPSIS	TQM Consultant
Wang (2009)	TOPSIS	R&D personnel
Afshari et al. (2010)	AHP, ELECTRE	Unstated
Aksakal and Dağdeviren (2010)	ANP and DEMATEL	Industrial engineer
Chen and Lee (2010)	Interval type 2 FTOPSIS	System analysis engineer
Dursun and Karsak (2010)	2-tuple linguistic representation model with TOPSIS	Industrial engineer
Kelemenis and Askounis (2010)	FTOPSIS	CIO
Akhlaghi (2011)	Rough set exploration system	Construction project manager
Kelemenis et al. (2011)	FTOPSIS with veto threshold	Middle level manager
Keršulienė and Turskis (2011)	ARAS-F and SWARA	Architect
Shahhosseini and Sebt (2011)	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and FAHP	Project manager, technician, engineer, laborer
Zhang and Liu (2011)	Intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method with GRA	System Analysis Engineer
Baležentis et al. (2012)	Fuzzy MULTIMOORA with linguistic reasoning and group decision-making	Unstated
Gilan et al. (2012)	Computing with words (CWW)	Project Management Engineer
Kabak and Kazançoğlu (2012)	FAHP	Academic personnel
Roy et al. (2012)	DEMATEL and AHP	Unstated
Aksakal et al. (2013)	DEMATEL and TOPSIS	General Manager
Fathi et al. (2013)	Logarithmic fuzzy preference programming and TOPSIS methods	Human resources manager
Kumar et al. (2013)	SAW, WPM, AHP and TOPSIS	Asst. Prof.
Ozdemir (2013)	AHP with stochastic dynamic programming	Marketing Dept.
Rouyendegh and Erkan (2013)	Fuzzy ELECTRE	Academic personnel
Yu et al. (2013)	GHFPWA and GHFPWG, hesitant fuzzy sets	Sales engineer
Bogdanovic and Miletic (2014)	AHP and PROMETHEE	Employee (Informatics department)
Doğan and Önder (2014)	AHP and TOPSIS	Sales consultant
Eroglu et al. (2014)	ORESTE	Accountant officer, marketing officer
Keršulienė and Turskis (2014)	ARAS-F and AHP	Chief accountant officer
Saad et al. (2014)	Hamming distance method with subjective and objective weights (HDMSOW's)	Lecturer
Safari et al. (2014)	TOPSIS and Hungary assignment algorithm	Unstated
Yıldız and Aksoy (2015)	AHP	A group of engineers
Erdem (2016)	FAHP	Junior developer
Khandekar and Chakraborty (2016)	Fuzzy axiomatic design	Deputy Manager (Middle)
Özder et al. (2016)	ANP and PROMETHEE	Academic staff

Table 13 ANP pairwise comparisons

Pairwise comparison matrix with respect to "Education" (C.R.: 0.067)							Weight	Pairwise comparison matrix with respect to "Experience" (C.R.: 0.095)							Weight
1	2	3	4	5	7			1	3	4	5	7			
1	1	1	3	3	3	5	0.2857	1	1	2	1	7	2	0.3523	
2	1	1	4	4	4	5	0.3379	3	½	1	2	1	1	0.1907	
3	1/3	1/4	1	1	5	4	0.1556	4	1	1/2	1	2	2	0.2118	
4	1/3	1/4	1	1	1	3	0.0994	5	1/7	1	½	1	½	0.0952	
5	1/3	1/4	1/5	1	1	3	0.0800	7	1/2	1	1/2	2	1	0.1498	
7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1	0.0412								
Pairwise comparison matrix with respect to "Personality and Personal Skills" (C.R.: 0.065)							Weight	Pairwise comparison matrix with respect to "Technical Skills and Requirements" (C.R.: 0.078)							Weight
1	2	4	6	7				1	2	3	4	7			
1	1	2	1	1	1		0.2246	1	1	1	2	3	1	0.2685	
2	½	1	1	1	2		0.1887	2	1	1	2	2	4	0.3087	
4	1	1	1	2	3		0.2698	3	1/2	½	1	2	2	0.1785	
6	1	1	1/2	1	3		0.2055	4	1/3	1/2	½	1	2	0.1293	
7	1	1/2	1/3	1/3	1		0.1112	7	1	1/4	1/2	1/2	1	0.1148	
Pairwise comparison matrix with respect to "Foreign Language" (C.R.: 0)							Weight	Pairwise comparison matrix with respect to "Exam Results" (C.R.: 0.095)							Weight
1	7							1	2	3	4	5	7		
1	1	3					0.7500	1	1	1	1	1	1	5	0.1954
7	1/3	1					0.2500	2	1	1	3	1	2	2	0.2482
								3	1	1/3	1	4	2	2	0.2192
								4	1	1	1/4	1	1	2	0.1376
								5	1	½	1/2	1	1	2	0.1271
								7	1/5	1/2	1/2	1/2	½	1	0.0723

Table 14 Concordance and discordance indexes for personnel selection case

C(p,q)	Concordance index	C(p,q) >= Cavg	D(p,q)	Discordance index	D(p,q) < Davg	CNDp >> CNDq
C(1,2)	1.000	YES	D(1,2)	0.000	YES	CND1 >> CND2
C(1,3)	1.000	YES	D(1,3)	0.000	YES	CND1 >> CND3
C(1,4)	0.850	YES	D(1,4)	0.358	YES	CND1 >> CND4
C(1,5)	1.000	YES	D(1,5)	0.000	YES	CND1 >> CND5
C(1,6)	1.000	YES	D(1,6)	0.000	YES	CND1 >> CND6
C(1,7)	1.000	YES	D(1,7)	0.000	YES	CND1 >> CND7
C(2,1)	0.540	NO	D(2,1)	1.000	NO	NO
C(2,3)	1.000	YES	D(2,3)	0.000	YES	CND2 >> CND3
C(2,4)	0.683	YES	D(2,4)	0.745	YES	CND2 >> CND4
C(2,5)	0.706	NO	D(2,5)	0.072	YES	NO
C(2,6)	0.706	NO	D(2,6)	0.076	YES	NO
C(2,7)	0.706	YES	D(2,7)	0.081	YES	CND2 >> CND7
C(3,1)	0.236	YES	D(3,1)	1.000	NO	NO
C(3,2)	0.696	NO	D(3,2)	1.000	NO	NO
C(3,4)	0.628	NO	D(3,4)	1.000	NO	NO
C(3,5)	0.706	NO	D(3,5)	0.076	YES	NO
C(3,6)	0.557	YES	D(3,6)	0.090	YES	CND3 >> CND6
C(3,7)	0.706	YES	D(3,7)	0.086	YES	CND3 >> CND7
C(4,1)	0.385	NO	D(4,1)	1.000	NO	NO
C(4,2)	0.845	YES	D(4,2)	1.000	NO	NO

C(4,3)	0.900	YES	D(4,2)	0.698	NO	NO
C(4,5)	0.706	NO	D(4,5)	0.092	YES	NO
C(4,6)	0.706	NO	D(4,6)	0.100	YES	NO
C(4,7)	0.706	NO	D(4,7)	0.108	YES	NO
C(5,1)	0.529	NO	D(5,1)	1.000	YES	NO
C(5,2)	0.696	NO	D(5,2)	1.000	NO	NO
C(5,3)	0.845	YES	D(5,3)	1.000	YES	CND5>>CND3
C(5,4)	0.529	NO	D(5,4)	1.000	NO	NO
C(5,6)	0.696	NO	D(5,6)	1.000	NO	NO
C(5,7)	0.900	YES	D(5,7)	0.224	NO	NO
C(6,1)	0.529	NO	D(6,1)	1.000	NO	NO
C(6,2)	0.696	NO	D(6,2)	1.000	NO	NO
C(6,3)	0.845	YES	D(6,3)	1.000	NO	NO
C(6,4)	0.529	NO	D(6,4)	1.000	NO	NO
C(6,5)	1.000	YES	D(6,5)	0.000	YES	CND6 >>CND5
C(6,7)	0.900	YES	D(6,7)	0.112	YES	CND6 >>CND7
C(7,1)	0.529	NO	D(7,1)	1.000	NO	NO
C(7,2)	0.529	NO	D(7,2)	1.000	NO	NO
C(7,3)	0.679	NO	D(7,3)	1.000	NO	NO
C(7,4)	0.529	NO	D(7,4)	1.000	NO	NO
C(7,5)	0.778	YES	D(7,5)	1.000	NO	NO
C(7,6)	0.628	NO	D(7,6)	1.000	NO	NO
Cavg	0.722		Davg	0.569		

REFERENCES

- [1] Abastant, F., Bottero, M., & Lami, I.M., (2011). Using the ANP for ranking the critical issues of a transport decision problem: The Italian section of CODE24. In Proceeding of the International symposium on the Analytic Hierarchy Process
- [2] Afshari, A.R., Mojahed, M., Yusuff, R.M., Hong, T.S., & Ismail, M.Y., (2010). Personnel selection using ELECTRE. Journal of Applied Sciences(Faisalabad), 10(23), 3068-3075.
- [3] Afsharkazemi, M.A., Manouchehri, J., Salarifar, M., & Nasiripour, A.A., (2013). Key factors affecting the hospital performance: a qualitative study using fuzzy logic. Quality & Quantity, 47(6), 3559-3573.
- [4] Akhlaghi, E., (2011). A rough-set based approach to design an expert system for personnel selection. World Academy of Science, Engineering and Technology, 54, 202-205.
- [5] Aksakal, E., & Dağdeviren, M., (2010). ANP ve DEMATEL Yöntemleri İle Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(4).
- [6] Aksakal, E., Dağdeviren, M., Eraslan, E., & Yüksel, İ., (2013). Personel selection based on talent management. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 73, 68-72.
- [7] Alper, D., & Başdar, C., (2017). A Comparison of TOPSIS and ELECTRE Methods: An Application on the Factoring Industry. Business and Economics Research Journal, 8(3), 627.
- [8] Ayub, M., Kabir, M. J., & Alam, M.G.R., (2009). Personnel selection method using analytic network process (ANP) and fuzzy concept. In 2009 12th International Conference on Computers and Information Technology (pp. 373-378). IEEE.
- [9] Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W.K., (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. Expert Systems with applications, 39(9), 7961-7967.
- [10] Bari, F., & Leung, V., (2007). Application of ELECTRE to network selection in a heterogeneous wireless network environment. In 2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (pp. 3810-3815). IEEE.
- [11] Benayoun, R., Roy, B., & Sussman, B., (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de travail, 49.
- [12] Bogdanovic, D., & Miletic, S., (2014). Personnel evaluation and selection by multicriteria decision making method. Economic computation and economic cybernetics studies and research, 48(3), 179-196.
- [13] Chen, F.H., & Chi, D.J., (2015). Application of a new DEMATEL to explore key factors of China's corporate social responsibility: evidence from accounting experts. Quality & Quantity, 49(1), 135-154.
- [14] Chen, S.M., & Lee, L.W., (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. Expert systems with applications, 37(4), 2790-2798.

- [15] Chen, S. H., Wang, P.W., & Lee, H.T., (2012). Performance measurement considering the interdependence of evaluators and criteria. *Quality & Quantity*, 46(1), 103-115.
- [16] Dağdeviren, M., & Yüksel, İ., (2007). Personnel selection using analytic network process. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(11), 99-118
- [17] Doğan, A., & Önder, E., (2014). İnsan Kaynakları Temin ve Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanılması ve Bir Uygulama (Using Multi Criteria Decision Techniques in Recruiting and Selection of Human Resources and an Application). *Journal of Yasar University*, 9(34), 5796-5819.
- [18] Dursun, M., & Karsak, E.E., (2010). A fuzzy MCDM approach for personnel selection. *Expert Systems with applications*, 37(6), 4324-4330.
- [19] Efe, B., & Kurt, M., (2018). A systematic approach for an application of personnel selection in assembly line balancing problem. *International Transactions in Operational Research*, 25(3), 1001-1025.
- [20] Erdem, M.B., (2016). A Fuzzy Analytical Hierarchy Process Application in Personnel Selection in IT Companies: A Case Study in a Spin-off Company. *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 331-334.
- [21] Eroğlu, E., Yıldırım, B.F., & Özdemir, M., (2014). Çok Kriterli Karar Vermede "Oreste" Yöntemi ve Personel Seçiminde Uygulanması. *Istanbul Management Journal*, 25(76).
- [22] Fathi, M.R., Javadin, S.R.S., Behrooz, A., & Sadeghi, M.R., (2013). Human resource manager selection based on logarithmic fuzzy preference programming and TOPSIS methods. *International Journal of Human Resource Studies*, 3(2), 14.
- [23] Gilan, S.S., Sebt, M.H., & Shahhosseini, V., (2012). Computing with words for hierarchical competency based selection of personnel in construction companies. *Applied Soft Computing*, 12(2), 860-871.
- [24] Ji, P., Zhang, H.Y., & Wang, J.Q., (2018). A projection-based TODIM method under multi-valued neutrosophic environments and its application in personnel selection. *Neural Computing and Applications*, 29(1), 221-234.
- [25] Kabak, M., & Kazançoğlu, Y., (2012). Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Öğretmen Seçimi ve Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 95-111.
- [26] Kelemenis, A., & Askounis, D., (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. *Expert systems with applications*, 37(7), 4999-5008.
- [27] Kelemenis, A., Ergazakis, K., & Askounis, D., (2011). Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2774-2782.
- [28] Keršulienė, V., & Turskis, Z., (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645-666.
- [29] Keršulienė, V., & Turskis, Z., (2014). A hybrid linguistic fuzzy multiple criteria group selection of a chief accounting officer. *Journal of Business Economics and Management*, 15(2), 232-252.
- [30] Khandekar, A.V., & Chakraborty, S., (2016). Personnel selection using fuzzy axiomatic design principles. *Business: Theory and Practice/Verslas: Teorija ir Praktika*, 17(3), 251-260.
- [31] Kiakojuri, D., Shamshirband, S., Anuar, N.B., & Abdullah, J., (2015). Analysis of the social capital indicators by using DEMATEL approach: the case of Islamic Azad University. *Quality & Quantity*, 49(5), 1985-1995.
- [32] Kumar, D.S., Radhika, S., & Suman, K.N.S., (2013). MADM methods for finding the right personnel in academic institutions. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 6(5), 133-144.
- [33] Lin, C.T., & Tsai, M.C., (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. *Quality & Quantity*, 44(2), 375-390.
- [34] Nabeeh, N.A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H.A., & Aboelfetouh, A., (2019). An Integrated Neutrosophic-TOPSIS Approach and Its Application to Personnel Selection: A New Trend in Brain Processing and Analysis. *IEEE Access*, 7, 29734-29744.
- [35] Özdemir, A., (2013). A two-phase multi criteria dynamic programming approach for personnel selection process. *Problems and Perspectives in Management*, 11(2), 98-108.
- [36] Özder, E.H., Bedir, N., & Eren, T., (2016). Academic Staff Selection With ANP & Promethee Method: A Case Study in Turkey. In *Proceedings of Academics World International Conference, Dubai, UAE (Vol. 5)*.
- [37] Pang, J., Zhang, G., & Chen, G., (2011). ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine. *JSW*, 6(5), 894-900.
- [38] Rouyendegh, B.D., & Erkan, T.E., (2013). An application of the fuzzy electre method for academic staff selection. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 23(2), 107-115.
- [39] Roy, B., Misra, S.K., Gupta, P., & Goswami, A., (2012). An integrated DEMATEL and AHP approach for personnel estimation. *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security*, 2(6), 1206-1212.
- [40] Md Saad, R., Ahmad, M.Z., Abu, M.S., & Jusoh, M.S., (2014). Hamming distance method with subjective and objective weights for personnel selection. *The Scientific World Journal*, 1-9.
- [41] Saaty, T.L., (1994). *Fundamentals of Decision-Making and Priority Theory with the AHP*. RWS Publications, Pittsburg, PA, USA
- [42] Saaty, T.L., (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.

- [43] Saaty, T.L., & Vargas, L.G., (2013). Decision Making with the Analytic Network Process. International Series in Operations Research & Management Science, 2nd edition, Springer
- [44] Safari, H., Cruz-Machado, V., Sarraf, A.Z., & Maleki, M., (2014). Multidimensional personnel selection through combination of TOPSIS and Hungary assignment algorithm, 5(1), 42-50
- [45] Saremi, M., Mousavi, S.F., & Sanayei, A., (2009). TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 36(2), 2742-2749.
- [46] Seol, I., & Sarkis, J., (2005). A multi-attribute model for internal auditor selection. Managerial Auditing Journal, 20(8), 876-892.
- [47] Shahhosseini, V., & Sebt, M.H., (2011). Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects. Scientia Iranica, 18(2), 163-180.
- [48] Sumrit, D., & Anuntavoranich, P., (2013). Using DEMATEL method to analyze the causal relations on technological innovation capability evaluation factors in Thai technology-based firms. International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies, 4(2), 81-103.
- [49] Tsao, C.T., & Chu, C.T., (2001). Personnel selection using an improved fuzzy MCDM algorithm. Journal of Information and Optimization Sciences, 22(3), 521-536.
- [50] Tunca, M.Z., Aksoy, E., Bülbül, H., & Ömürbek, N., (2015). AHP Temelli TOPSIS ve ELECTRE Yöntemleri İle Muhasebe Paket Programı Seçimi. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 53-71.
- [51] Tzeng, G.H., & Huang, J.J., (2011). Multiple attribute decision making: methods and applications. Chapman and Hall/CRC.
- [52] Wang, D., (2009). Extension of TOPSIS method for R&D personnel selection problem with interval grey number. In 2009 International Conference on Management and Service Science (pp. 1-4). IEEE.
- [53] Wu, H.Y., Lin, Y.K., & Chang, C.H., (2011). Performance evaluation of extension education centers in universities based on the balanced scorecard. Evaluation and Program Planning, 34(1), 37-50.
- [54] Wu, W.W., & Lee, Y.T., (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. Expert systems with applications, 32(2), 499-507.
- [55] Yaakob, S.B., & Kawata, S., (1999). Workers' placement in an industrial environment. Fuzzy sets and systems, 106(3), 289-297.
- [56] Yang, C.L., Yuan, B., & Huang, C.Y., (2015). Key determinant derivations for information technology disaster recovery site selection by the multi-criterion decision making method. Sustainability, 7(5), 6149-6188.
- [57] Yıldız, S.M., & Aksoy, S., (2015). A Study on Personnel Selection with Analytic Hierarchy Process. AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 15(1), 59-83.
- [58] Yu, D., Zhang, W., & Xu, Y., (2013). Group decision making under hesitant fuzzy environment with application to personnel evaluation. Knowledge-Based Systems, 52, 1-10.
- [59] Yücel, M.G., & Görener, A., (2016). Decision making for company acquisition by ELECTRE method. International Journal of Supply Chain Management, 5(1), 75-83.
- [60] Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Tamošaitienė, J., & Marina, V., (2008). Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria. Technological and Economic Development of Economy, 14(4), 462-477.
- [61] Zhang, S.F., & Liu, S.Y., (2011). A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection. Expert Systems with Applications, 38(9), 11401-11405.

Structural and Seasonal Differences of Syconia in Dioecious *F. carica* L.

Dioik *F. carica* L.'da Sikonyumların Yapısal ve Mevsimsel Farklılıkları

Özlem AYTÜRK¹ 

¹ *Maltepe Üniversitesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 34857, İstanbul, Türkiye*

Abstract

This research is part of the first quantitative, detailed study on the syconia in dioecious *Ficus carica*. Syconia were collected to research the phenology and sexual speciality of fig trees. Asynchronous syconium production was observed at a population level. They occurred three times yearly: in spring (December to March), in summer (July to September) and in autumn season (september to November). Syconium structure chart out quite differently; a syconium consists of a receptacle, scale-like bracts surrounding the ostiole and flowers. Male, gall or female flowers bear into syconium, which are located on the inside surface of the syconium. We have been investigated the syconium in spring, summer and autumn periods. The morphological differences of gall and female flowers in spring and summer are obvious whereas the male flowers do not show any differences. *F. carica* found out variation in the fruits (syconium) to his survival. In this paper, time of formation and development of syconium have been investigated and compared.

Keywords: Dioecious tree, *Ficus carica*, phenology, syconia, sexual differentiation.

Öz

Bu araştırma, diok *Ficus carica*'nın sikonyumları üzerine yapılan ilk detaylı ve kantitatif çalışmanın bir parçasıdır. İncir ağaçlarının fenolojisini ve cinsel özelliklerini araştırmak için sikonyumlar toplandı. Asenkron sikonyum oluşumu popülasyon düzeyinde gözlemlendi. Sikonyumların yılda üç kez meydana geldikleri görüldü: ilkbaharda (aralık-mart), yaz aylarında (temmuz-eylül) ve sonbaharda (eylül-kasım). Sikonyumun yapısı oldukça farklı bir oluşum sergiler; ostiolü çevreleyen pul benzeri brakteler, reseptakulum ve çiçeklerden oluşur. Erkek çiçekler, sikonyumun iç yüzeyinde bulunan doku üzerinde oluşurlar. Sikonyumlar ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde incelendiğinde ilkbahar ve yaz aylarında gal ve dişi çiçeklerin morfolojik farklılıklar gösterdiği oysa ki erkek çiçeklerde hiçbir farklılığın olmadığı açıktır. Sonuç olarak *F. carica*'da sikonyumlar hayatta kalmak için değişiklikler oluşturmuşlardır. Bu çalışmada sikonyumların oluşumu ve gelişim zamanları araştırılmış ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Diok ağaç, *Ficus carica*, fenoloji, sikonyumlar, eşeyssel farklılaşma.

I. INTRODUCTION

The 900-odd species of *Ficus* [1, 2, 3] establish the most clear of the widespread genera of tropical plants [4]. *Ficus carica* L. (Moraceae) is very important species because over 700 type of *Ficus* spp. worldwide are mutualistically associated with extremely host-specific fig wasps (*Blastophaga psenes*, Agaonidae) for pollination [5, 6, 7]. In the *Ficus* species, particularly in *F. carica*, complicated reproductive biology; flower morphology, pollination and the details of the wasp behavior have been studied in general conditions [8, 9, 10, 11].

The fig tree produces enclosed inflorescences (syconia), commonly called figs. *F. carica* are discernible as a genus by the syconium, a original covered inflorescence which also functions like a pseudocarp [12]. It has a cycle involving three flowers morphs [long-styled female, short-styled female (gall), male] located in the syconium. Approximately one-half of all fig species are gynodioecious, while the rest are monoecious, with both male and female flowers in an individualistic syconium. Latest studies, specially in phylogenetics, has advanced our understanding of the models of evolution and

coevolution of *Ficus* sp and wasps. Combined studies of this model system presently providing excellent opportunities to investigate general issues [13, 14, 15].

Syconia make real many important tasks. For example, it conserve flowers and wasp (*Blastophaga psenes*). The other task, syconia produce semiochemicals that attract only the specific fig wasp pollinator to the flowers via an ostiole [16], an entrance pore that is filled with a whorl of bracts that screen out most other insects [17, 18, 19]. Actually, it serves to genetic diversify of *F. carica*. Syconia are considered to be key plant resources in tropical rainforests owing to their heavy and sustained production, supply food for a range of frugivores (particularly birds) along periods of fruit shortage [4, 20].

In this paper, we tried to find out the answers of the following questions: What are the models of syconium form phenology of Fig ? How are syconia modify to construct its phenology and development to suitable the life cycle of its pollinating wasp, as discovered in another “fig-wasp” mutualisms ?

II. MATERIAL AND METHODS

We collected syconium (inflorescence of fig) in natural environment, from Göztepe Campus of Marmara University (Istanbul / Turkey), as of October 2011 until June 2014. In four generation, syconium traits observation altogether 500 syconia were sampled during this study. Syconia in the all-phase were collected.

2.1. Stereomicroscope Analysis

Firstly, female and male syconium were morphologically analysed. We dissected the syconia and observed it under a digital stereomicroscope (Olympus 970931). In these syconia, the short-styled female flowers (gall), male flowers and female flowers were checked and photographed using a digital camera (KAMERAM software). The lengths of syconium parts; flower, receptacle and brakte were measured by stereomicroscope and the examples were prepared for light microscopy and SEM analysis.

2.2. Light Microscopy Analysis

For light microscopy analysis, the material was fixed in FAA (37% formaldehyde:acetic acid: ethanol:dH2O, 10:5:50:35) solution and after that placed in a vacuum desiccator to simplify the penetration of the fixative into the tissues. After dehydration in a graded series of ethanol, the material was embedded in paraffin. The sample blocks were sectioned at

3–8 µm by Leica RM2235 rotation microtome and examples were spotted with Delafield’s hematoxylin stain. Development of syconium parts were revealed step by step with light analysis in the both male and female trees.

2.3 Sem Analysis

For SEM analysis, the plant material was fixed in 2.5% glutaraldehyde in 50 mM cacodylate buffer, pH 7.0 and then dehydrated with an increasing ethanol gradient: from 70% up to 100%. After that, the sample for drying was kept in various percentages of ethanol-HMDS solution at room temperature. Then, it was covered with 11nm of gold by using an automated sputter coater and then analyzed with a SEM (JEOL JMS-59 10LV). Development of syconium was showed with SEM analysis in the both male and female trees.

III. RESULT

In the figs, trees are two morphs; male and female. There were adequate degrees of both synchrony and asynchrony among the female and male trees to maintain pollinator production. The trees bear syconia throughout the year and they occurred three times yearly: in spring season (December to March), summer season (July to September) and in autumn season (september to December) (Tablo 1). The female and male fig trees initiate producing new syconia while unripe syconia of the former crop were still on the trees.

Table 1. The time of the syconia formation in male and female trees of *Ficus carica* L.

Sex of tree	Spring			Summer			Autmun		
	march	april	may	jun	july	august	sep-tem-ber	octo-ber	novem-ber
male	4. week				4. week		*		
female		1. week			1. week		*		

* The new syconium does not occur. But, the old syconia from the previous period starts to develop.

3.1. Periods of syconium formation in male and female trees

In both fig trees, bear three floral forms in the syconia; gall, male (on the male tree) and female (on the female tree). Fig wasp (*Blastophaga psenes*) also called fig insect is deposited inside the gall flower structure.

3.1.1. Spring season (December to March)

In male trees, new male syconia (nm-sp) buds occur in the fourth week of March. Alongside, numerous and expanded old male syconia (om-sp) buds located keep in since that time that bear during the previous summer period. The gall flowers of these om-sp carry the wasp larvae in this stage. While in a few gall flowers have endosperm or embryo, male flowers have pollen (Tablo 2). The nm-sp buds expand from July to August and are protected on the tree until the fertilization time of female flowers (nf-su) while the om-sp buds fall from on the trees before the month of August (Figure 1).

In the female trees, female spring syconia (nf-sp) buds occur in the first week of April. Numbers of nf-sp are almost up to the nm-sp. The nf-sp continue to develop during the summer. Also, female trees as male have old female syconia (of-sp) buds that expands beginning in July at the previous summer period. Number of the of-sp are quite a few, unlike om-sp. The nf-sp and of-sp become empty and abscise as nm-sp of the previous summer male trees, before the month of August (Figure 1). While in a few female flowers have endosperm, embryo or seed, these syconia do not carry male flowers hence there are no pollen (Tablo 2).

causing the formation of edible fruits. While in a few gall flowers have endosperm or embryo, male flowers have pollen like the spring season (Tablo 2). The formation of pollen grains in the nm-su of summer and spring periods and their numbers are very few unlike the om-sp. They are not used for fertilization (Figure 1).

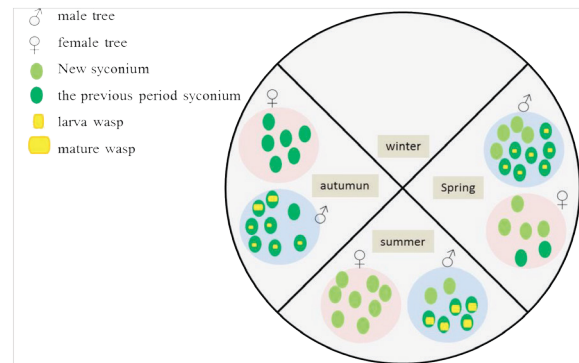


Figure 1. The expression of product variability in a year in the male and female syconia.

Table 2. The products of the syconia in the male and female trees during the whole year.

months	march april		Jun july		september october	
	Sex of tree					
bear in syconium	♂	♀	♂	♀	♂	♀
wasp	larva		ergin		*	
Pollen	++		+++		+	
Embryo sac	+	+	+	+	+	-
Endosperma	+	+	+	+	+	-
Seed	-	+	-	++	+(rare)	+

* The larvae become adults around in the most of syconium, the same time other some syconia are to produce larvae same on the male tree.

3.1.2. Summer season (July to September)

In the male trees, new summer syconia (nm-su) again occur in fourth week of July. Numbers of the nm-su buds are less than male trees of the spring time. The nm-su buds continue form until the end of summer of the this year but they are not mature, only located keep on these trees. Also, remaining from the spring the nm-sp and om-sp are still located keep on this tree in this period. When the om-sp of spring reach to walnut size the female wasps mature into the gall flowers. When the nm-su reach size of hazelnuts, the female wasps leave their eggs into the gall flowers. The female wasps lead to collect pollen of om-sp and female trees

In the female trees, new syconium (nf-su) buds again occur so long before from the male trees, in the first week of July. Unlike male trees, the female trees bears more syconia than the spring. A few female flowers have endosperm, embryo or seed like the spring season (Tablo 2). The nf-su continue to grow during the summer, and they expand and reach a state where edible fruit will form at the end of summer. The nf-su are fertilized by the pollen grains that created on om-sp of male trees in the spring.

3.1.3. Autumn season (September to December)

In the male trees, the new syconia buds do not occur. But there are two types syconia on these trees: 1. few mature syconia that carrying adult wasp, 2. large number of immature syconia carrying wasp larvae. In this period, immature nm-su start to develop. While immature nm-su stay on the male tree during the winter, mature nm-su fall before Spring (Tablo 2).

In the female trees, In this period, new syconia buds do not occur on female trees as the male trees. In October, all syconia fallen so, no Spring syconia in female trees unlike men trees (Tablo 2).

3.2. Formation and Development of the Syconium

The morphology of the syconia were identified by using stero – and light microscopy. Development differences of male and female syconia were investigated through the

usage of scanning electron microscopy (SEM) and light microscopy analysis.

Syconia buds start to develop around the eyes on the in male and female trees and on the leaf seats (Figure 2a,b). In the apical meristem stage in the male and female syconium (presyconium) are very small ($\sim 4.1 \pm 0.7$ mm) and dark green (Figure 2b).

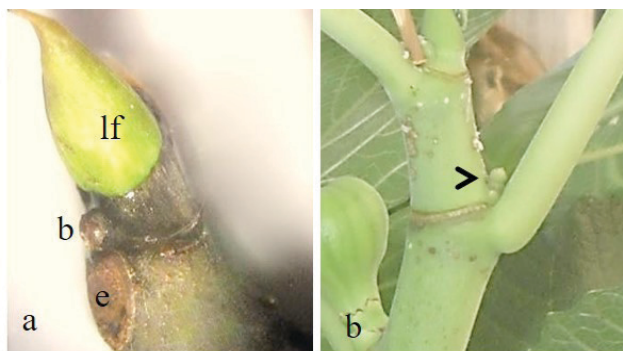


Figure 2a. The growth location of consisting syconia in the trees*. **b.** The flowers that in the apical meristem stage into young syconium (arrow)*. e. eye, b. flower or leaf bud, lf. leaf bud. * male syconia were only shown in here because of male and female syconia exhibited similar morphology all these stages.

In both fig trees, a syconium includes the receptacle tissue, stamp (brakte) and flowers (female or male and gall). In the male and female syconium, receptacle bear the big fleshy structure piece of syconium. In the female and male syconia, bracts are located on at the base of syconium and they set up the opening named ostiol in the middle of bracts.

Young syconium stage (before fertilization)

In the early stages (apical meristem exists), the receptacle is flat when it bears flowers, the thickness is 0.8 ± 0.3 mm (Figure 3a-c; 4a). The outward facing it surrounds a hard cover (Figure 3a-c) when the syconia were tightly closed with ostiolar bracts (Figure 3a-c; 4b,c; 5a; 6a-c). The syconium cavity is nearly full of bracts. Dimension of ostiol clearance is the same in the male and female syconia. Flowers are arrayed throughout receptaculum wall in the male and female

syconium (Figure 4d,e) and are quite small according to bracts (Figure 3a-c; 5b; 6d). In the male and female syconia have different flowers in sex and in arrangement. Newly formed syconia swelling quickly, female flowers grow in female syconia also male and gall flowers develop in male syconia (Figure 3a-c). Male flowers are formed near the ostiol and gall flowers are formed on the whole surface of the receptacle (Figure 3d; 5c). Also, there are only female flowers that covering the entire surface in the female syconium (Figure 3e,f; 6e). In the outer epidermis of the covering, with the development of syconia pointed-single-celled and multicellular hairs are seen in the male and female syconia (Figure 3e,f; 6f).

3.2.2. Mature syconium stage

In this stage, syconium color changes from dark green to light green. The syconium cavity is not narrow in this phase (Figure 3g). In the male and female, the receptacle is pit and deepen with the development of syconia (Figure 3g, h). While flowers develops in the receptaculum, the receptaculum thickness reaches about three times, 2.4 ± 0.5 mm. Bracts sliding upper pole of the syconium and surrounded the ostiol up to the mature flowers stage (Figure 3h). Also, in the female syconium close to fertilization ostiol clearance even more grow. The numerous female (Figure 3i) or gall flowers (Figure 3j) cover most of the inner surface of the syconium. The gall flowers in the syconia become mature while male flowers (Figure 3k) develop quickly into the visible form. Male flowers mature, producing pollen in male syconia. Simultaneously, Female flowers are receptive to pollen in this stage. The female syconia become soft, fleshy (Figure 3l) and attractive to wasps.

3.2.3. Old syconium stage

The syconium become green, with cream spots on the superficial. At the later stage of the stage, syconia become green-yellow and eventually abscise from trees. The mean of syconium diameter of the female flower stage was 10.4 ± 0.3 cm, and arrived 8.8 ± 0.2 cm of the gall flower phase. Ostiole is relatively loose.

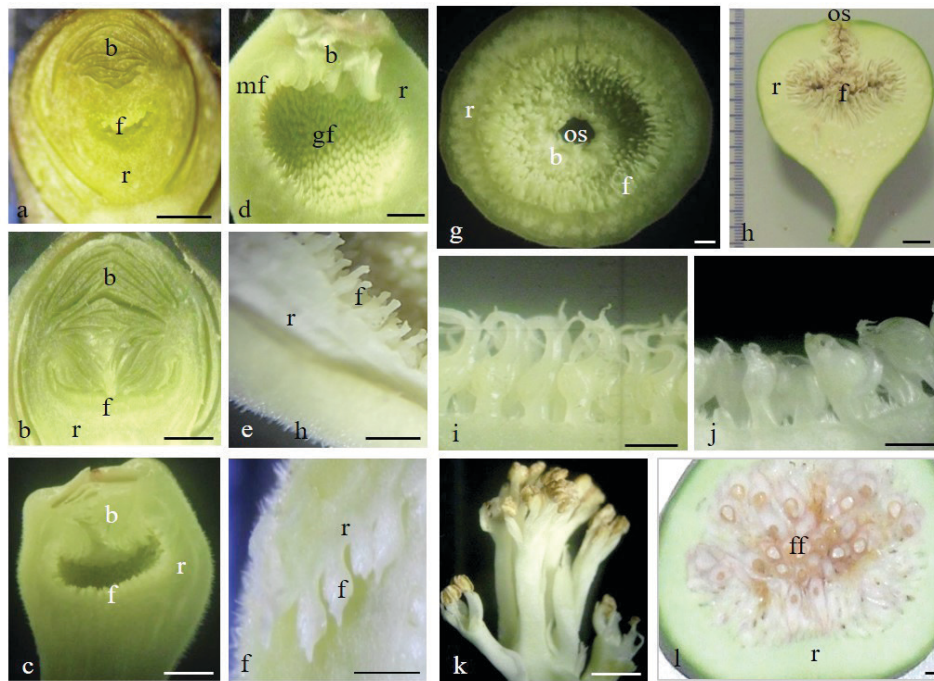


Figure 3. Stereomicrographs show orientation of receptaculum, bracts and flowers of a syconium* at the different stages of development. Longitudinal (a-d, h-k) and transversal (e-g,l) sections. a-d; Apical meristem (a), floral meristem (b), initiation of stamens or carpel (c) in the flowers cover most of the inner surface of the female syconium. d. mature flower stages; male flowers are formed near the ostiol and gall flowers are formed on the whole surface of the receptacle. e, f. Flowers are arrayed throughout receptaculum wall, g,h. Bracts sliding upper pole of the syconium and surrounded the ostiol up to the mature flowers stage. i-k. Mature flowers; female (i), gall (j), male (k). l. The numerous female flowers after fertilization. b. bract, f. flower, ff. female flower, gf. gall flower, mf. male flower, os. ostiole, r. receptaculum. Scale bar, 1 mm. * male syconia were only shown in here (except Figure 3d) because of male and female syconia exhibited similar morphology all these stages.

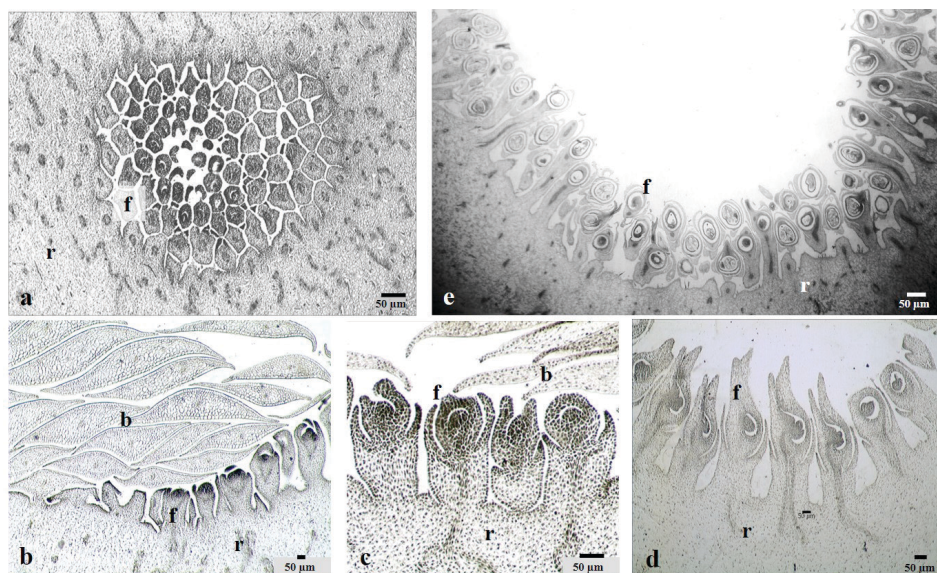


Figure 4. The light microscopy pictures show orientation of receptaculum, bracts and flowers of a syconium* at the different stages of development. a. floral meristem stage, b. initiation of carpel in the flowers; bracts tightly surrounded the ostiol up to, c. the pistil initiation of flower stage and bracts, d, e. Flowers are arrayed throughout receptaculum wall. b. bract, f. flower, r. receptaculum. * male syconia were only shown in here (except Figure 4b) because of male and female syconia exhibited similar morphology all these stages.

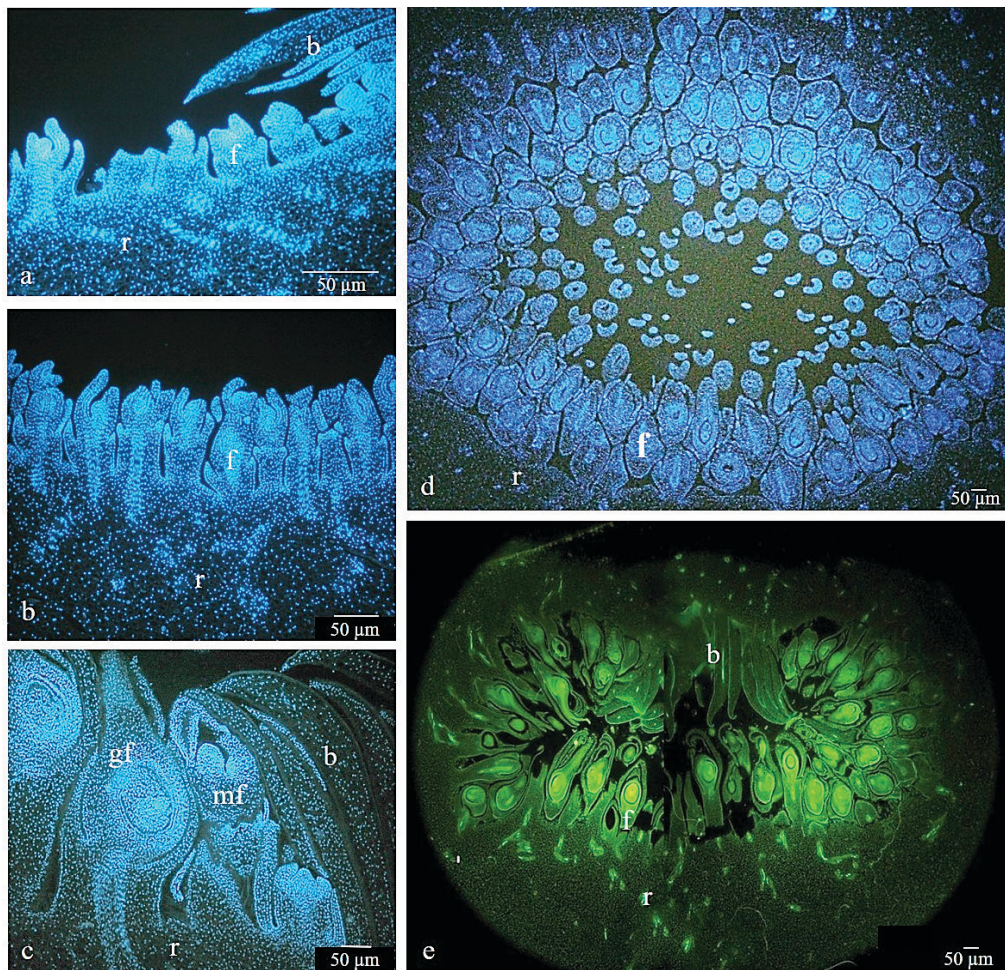


Figure 5. Fluorescence micrographs show orientation of receptaculum, bracts and flowers of a syconium* at the different stages of development. a. floral meristem stage (flowers under the bracts), b. initiation of carpel in the flowers on the whole surface of the receptacle c. Bracts sliding upper pole of the syconium and surrounded the ostiole up to the mature flowers stage, d. male flowers are formed near the ostiole and gall flowers are formed on the whole surface of the receptacle, e. Flowers are arrayed throughout receptaculum wall, f. Bracts tightly surrounded the ostiole up to the after fertilization. b. bract, f. flower, gf. gall flower, mf. male flower, os. ostiole, r. receptaculum. * male syconia were only shown in here (except Figure 5c) because of male and female syconia exhibited similar morphology all these stages.

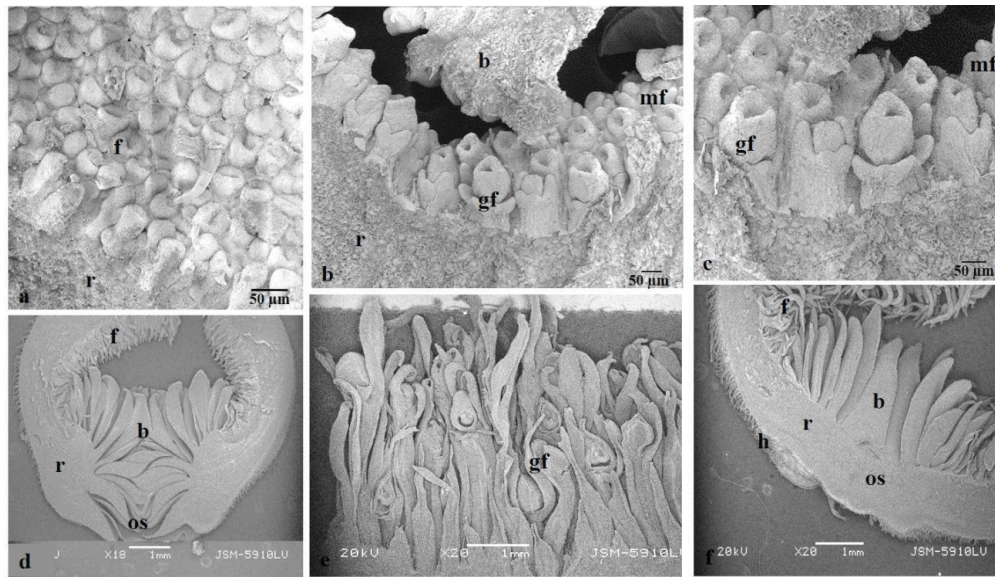


Figure 6. Scanning Electron (SEM) micrographs show orientation of receptaculum, bracts and flowers of a syconium* at the different stages of development. a. floral meristem stage, b. initiation of carpel in the flowers; male flowers are formed near the ostiol and gall flowers are formed on the whole surface of the receptacle c. With higher magnification of the marked portion of b. d. Bracts sliding upper pole of the syconium and surrounded the ostiol up to the mature flowers stage, e. Flowers are arrayed throughout receptaculum wall, f. Bracts tightly surrounded the ostiol up to the after fertilization. b. bract, f. flower, gf. gall flower, mf. male flower, os. ostiole, r. receptaculum. * male syconia were only shown in here (except Figure 6b, 6c) because of male and female syconia exhibited similar morphology all these stages.

IV. DISCUSSION

The diversity of dioecious figs and the plenty of ways in which sex differentiation has formed, makes suggesting ways in which dioecy may have evolve well easy [21, 22]. In Fig. (Moraceae) there are two breeding structures: monoecy is the ancestral status but almost half the 750 odd species are functionally dioecious plant [23]. *Ficus carica* story brings to mind many questions in Plant Embryology. This research is an effort to know the questions. In this work, trees were observed throughout the year and that result obtained, yes, *F. carica* is good example “ the plenty of ways ”.

According to Galil and Eisikovitch [24], for the understanding of the life history of each syconium should be observed separately. In the previous study, Janzen [25] mentioned from the difference between male and female tree syconia. Furthermore, we observed like Janzen [25] two neighboring syconium may differ from each other considerably; in both male and female syconium support the hypothesis that selection for sexual specialization has strongly influenced the reproductive biology of this species.

We observed *F. carica* bears syconium throughout the year. Syconia were produced asynchronously on the trees of

male and female, and there were adequate grades of both synchrony and asynchrony among female and male plants to protect pollinator generation along the year. In addition, we observed that female and male trees started producing new syconia while immature syconia of the previous crop were still on the trees. Galil – Eisikovitch [24] observed a similar situation; as usual in the genus *Ficus* the syconium is precisely protogynous and there is an interval of several weeks between the maturation of the female and that of the male flowers.

In the light of the results taken from our previous study [7] we can say that, the summer period is more important than the other two periods. In *F.carica*, male trees released most wasps and pollen from mature male syconia in the summer season, during peak production of receptive female syconia. Because, the male flowers bear pollen in three periods but they have made too much the number of pollen during the summer and the pollen of this period provides insemination.

According to our, investigation number of the male syconia are quite a few, unlike female syconia in *F. carica* in the summer. Also, female trees only product edible syconium

in this period. The our findings confirm to that knowledge, according to Patel and McKey [26], duration of developing phase was longer in female syconia of this species than in male syconia, very likely because they need a longer period of investment in a fleshy fruit. According to our observations, a good example of synchronization is the time of fertilization in the female flowers and the collecting time the pollen by the wasp in the male flowers that are parallel to each other.

In this study the duration of each stage in *F. carica* was defined by dissecting the syconium and identifying the characteristics of the female and male syconium. In *F. carica*, the male and female trees produced more syconia in the summer and autumn season than in the spring. In the spring, the male and female trees occur a few new syconia and after a while they fall. In this period, the male and female syconia do not form edible fruit or pollen does not occur. Why does this syconia occur ?, according to us, may be that is the answer of this question; the new syconia do to task as a new home for the larvae of the adult wasp of the old syconia.

There is a difference in spring and summer male figs and the time process for becoming available for receiving eggs and being pollinated. In the spring, male figs usually produce more wasps than summer male figs, do because of the better and more available resources of the spring figs compared to the summer. This suggest that the male fig wasp population is much more active and larger in the spring period. As the result of, the spring and summer male figs have a cycle related to each other as to maximize resources and output of figs and wasps.

These our results, it is important because of have similarities with results of Kjellberg et al. [27]. Cox [28] has obtained a result, ‘such dioecious, sex differentiation may affect numerous characters, including structure of flowers and syconium, phenology, seed and fruit traits related to dispersal, or even physiological differences related to niche partitioning’. This study is one of the few on syconium in dioecious *Ficus carica* L. Previous studies examined reproductive success of dioecious. This research expands the observations previously. In this paper, time of formation and development of syconium have been investigated and compared. This research is part of the first quantitative, detailed, study on the syconia in dioecious *F. carica*. More over our data provide the possibility for further studies of the syconium of *Ficus carica* in female and male trees. For example, trees of *F. carica* are dependent on the wasps arriving from neighboring individuals is important result for experiments.

V. CONCLUSIONS

This paper show that, such a *Ficus carica* syconium structure brings to mind many questions in dioecious. Our study is an tried to locate guide questions. For example, that is an important question: Fig are very diverse, and both monoecious and dioecious groups include a wide array of species. Until more species have been studied, and we have a obvious picture of the phylogenetic correlations between them, it is difficult to reliably establish correlated characters. Or, for example, syconium structure of *F. carica* is a marvelous fruit; it has reinvented the multiple-ovuled ovary and many-seeded fruit however in a dioecious fig tree, *F. carica*, the fig wasp population can be maintained successfully within an male tree. Our findings support similar result but, all of our findings is limited a few another study. Moreover, this study may provide constructive suggestions for the conservation of biodiversity, because fig-wasp obligate mutual relationship.

REFERENCES

- [1] Monselise, S.P., Figue, Fr., Feige, Ger., Fico, It., Higo, Sp., & Julian, C.C. (2018). Handbook of Fruit Set and Development. Chapter Fig, Pages 14.
- [2] Datwyler, S.L., & Weiblen, G.D. (2004). On the origin of the fig: phylogenetic relationships of Moraceae from *ndhF* sequences. *Am J Bot*, 91, 767–777.
- [3] Corner, E.J.H. (1962). The classification of Moraceae. *Gard. Bull. Straits Settle – ment*, 19, 187-252.
- [4] Janzen, D.H. (1979a). How to be a Fig. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 13-51.
- [5] Ji, L., Zhe, W., Li, C., Tinglin, Z., Qinwei, G., Jian X., Li, J., Qunfeng, L., Sanwen, H., & Zhengguo, L. (2014). Transcriptome comparison of global distinctive features between pollination and parthenocarpic fruit set reveals transcriptional phytohormone cross-talk in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Cell Physiol*, 55(7), 1325.
- [6] FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006). FAOSTAT agricultural data.
- [7] Berg, C.C. (2003). Flora Malesiana precursor for the treatment of Moraceae 1: The main subdivision of *Ficus*: the subgenera. *Blumea*, 48, 167-178.
- [8] Aytürk, Ö. (2016). Comparison of Female, Gall and Male Flower Development with Microscopic and Molecular Techniques in Dioecious *Ficus carica* L. PhD, Marmara University, Istanbul, Turkey.
- [9] Flaishman, M.A., Rodov, V., & Stover, E. (2008). The fig: botany, horticulture, and breeding. *Horticultural Rev-Westport Then N Y.*, 34, 113.
- [10] Stover, E., Aradhya, M., Ferguson, L., & Crisosto, C.H. (2007). The fig: overview of an ancient fruit. *Hortscience*, 42, 1083–1087.

- [11] Ramirez, W. (1977). A new classification of ficus. *Annals of the missouri botanical garden*, 64, 296-310.
- [12] Rosianski, Y., Freiman, Z.E., Cochavi, S.M., Yablovitz, Z., Kerem, Z. & Flaishman, M.A. (2016). Advanced analysis of developmental and ripening characteristics of pollinated common-type fig (*Ficus carica* L.). *Sci Hortic*, 198, 98–106.
- [13] Freiman, Z.E., Rosianskey, Y., Dasmohapatra, R., Kamara, I., & Flaishman, M.A. (2015). The ambiguous ripening nature of the fig (*Ficus carica* L.) fruit : a gene expression study of potential ripening regulators and ethylene-related genes. *J Exp Bot*, 66, 3309–3324.
- [14] Yu, D.W. (2001). Parasites of mutualisms. *Biological Journal of the Linnean Society*, 72, 529–546.
- [15] Herre, E.A. (1999). In *Laws Governing Species Interactions? Encouragement and Caution from Figs and their Associates.* (Keller L ed) pp,209–237, Princeton University Press.
- [16] Ware, A.B., & Compton, S.G. (1994). Responses of fig wasps to host plant volatile cues. *Journal of Chemical. Ecology*, 20, 785-802.
- [17] Bronstein, J.L. (1988a). Mutualism, antagonism, and the fig-pollinator interaction. *Ecology*, 69, 1298-1302.
- [18] McKey, D. (1989). Population biology of figs: Applications for conservation. *Experientia* 45, Birkh/iuser Verlag, CH-4010 Basel/Switzerland.
- [19] Bronstein, J.L. (1988b). Predators of fig wasps. *Biotropica*, 20, 215-219.
- [20] Verkerke, W. (1989). Structure and function of the fig. *Experientia* (Basel), 45, 612-622.
- [21] Sutton, T.L., DeGabriel, J.L., Riegler, M., & Cook, J.M. (2017). Local coexistence and genetic isolation of three pollinator species on the same fig tree species. *Heredity*, 118, 486–490.
- [22] Shuker, D.M., & Simmons, L.W. (2014). *The Evolution of Insect Mating Systems.* Oxford University Press, Oxford, U.K.
- [23] Wang, B., Geng, X.Z., Ma, L.B., Cook, J.M., & Wang, R.W. (2014). A trophic cascade induced by predatory ants in a fig-fig wasp mutualism. *Journal of Animal Ecology*, 83, 1149–1157.
- [24] Galil, J., & Eisikovitch, D. (1974). Further studies on pollination ecology in *Ficus sycomorus* L. Pocket filling and emptying by *ceratosolen arabicus* magr. *New phytologist*, 73, 515-528.
- [25] Janzen, D.H. (1979b). How many babies do figs pay for babies?. *Biotropica*, 11, 48-50.
- [26] Patel, A., & McKey, D. (1998). Sexual specialization in two tropical dioecious figs. *Oecologia*, 115, 391–400.
- [27] Kjellberg, L.F., Gouyon, P.H., Ibrahim, M., Raymond, M., & Valdeyron, G. (1987). “The Stability of the Symbiosis between Dioecious Figs and Their Pollinators: A Study of *Ficus carica* L and *Blastophaga psenes*”. *Evolution*, 41(4), 693–704.
- [28] Cox, P.A. (1981). Niche partitioning between sexes of dioecious plants. *Am. Nat.*, 117, 295-307.