

Epoksi Reçine-MgO Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Pin On Disk Abrasiv Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Vahdettin KOÇ^{1**}, Mehtap DEMİREL^{2b}

¹Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

²Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

¹vkoc@adiyaman.edu.tr, ²mdemirel@adiyaman.edu.tr

(Geliş/Received: 23/09/2017;

Kabul/Accepted: 21/12/2018)

Özet: Bu çalışmada; epoksi reçine içerisine farklı oranlarda MgO (1/1.5, 1/2.0 ve 1/2.5 oranında Epoksi/MgO) ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Hacimsel olarak karıştırılan bütün kompozit malzemeler plastik kalıplara dökülerek oda sıcaklığında 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Farklı kompozisyonlarda üretilen kompozit malzemelerin aşınmaya karşı davranışlarını belirlemek amacıyla pin on disk kuru aşınma testi yapılmıştır. Farklı yüklerde yapılan (10-30N) aşınma testleri sonucu MgO bileşiğinin epoksi malzemenin aşınma özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı oranlarda MgO ilave edilerek üretilen kompozit malzemeler ile takviyesiz epoksinin aşınma sonuçları kıyaslandığında, en iyi sonucun 2.5/1 oranında MgO/Epoksi içerikli kompozit malzemenin elde edildiği gözlenmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin takviyesiz epoksiye göre daha iyi sonuç verdiği ve genel olarak MgO miktarı arttıkça sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Farklı yüklerde yapılan (10-30N) aşınma testi sonucu, aşınma yükü arttıkça bütün malzemelerde sürtünme katsayısının düştüğü gözlenmiştir. Aşınma sırasında aşındırıcı pimin kompozit malzemeye temas ettiği yerdeki sıcaklık değerlerine bakıldığında ise aşınma yükü arttığında aşındırıcı pim ve malzemeler arasındaki sürtünme arttığı için sıcaklığın yükseldiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Polimer Matrisli Kompozit Malzeme, MgO, Aşınma.

Produced of Epoxy Resin-MgO Polymer matrix Composite Materials and Investigation of Pin On Disc abrasive Wear Properties

Abstract: In this study; composite materials were produced by adding MgO (1/1.5, 1/2.0 and 1/2.5 of Epoxy/MgO) to the epoxy resin at different ratios. All composite materials, which were mixed volumetrically, were poured into plastic molds and left to dry at room temperature for 24 hours. A pin-on-disk dry wear test was conducted to determine wear behavior of composite materials produced in different compositions. The effects of the MgO composition on the wear properties of the epoxy material after the wear tests on different loads (10-30N) were determined. It is observed that the best result is obtained from composite material containing MgO / Epoxy at a ratio of 2.5/1 when the composite materials produced by adding MgO at different ratios are compared with the wear results of epoxy without reinforcement. It was also found that composite materials gave better results than unreinforced epoxies, and friction coefficient values decreased as the amount of MgO increased. As a result of the wear test (10-30N) made at different loads, the friction coefficient of all materials decreased as the wear load increased. When the temperature values at the point where the abrasive pin contacts the composite material during wear, it is determined that the temperature increases because the friction between the abrasive pin and the materials increases when the wear load increases.

Key words: Polymer matrix composite material, magnesium oxide, wear.

1. Giriş

Bilim ve teknolojinin hızla ilerlediği günümüz şartlarında yeni malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Özellikle birkaç farklı özelliğe sahip malzemelerin özelliklerini tek bir malzemede toplamayı sağlayan kompozit malzemeler bu alanda büyük avantaj sağlamıştır. Son yıllarda özellikle hafifliğinden ve kolay şekillendirilebilirliğinden dolayı polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel alanda kullanımı artmış ve geleneksel malzemelerin yerini almıştır[1].

Ayrıca, kaplama, dolgu malzemesi alanında günümüzde çok farklı kompozit malzeme çeşidi ve üretim yöntemleri mevcut olup, polimer matrisli kompozit malzemeler (PMK) en çok kullanılan kompozit malzemelerden bir tanesi olmuştur. Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak hafif oldukları ve şekillendirilebilirlikleri yüksek olduğu için epoksi, poliester, plastik ve selüloz gibi malzemeler tercih edilmektedir[2-4]. Takviye malzemesi olarak da dayanımları yüksek olduğu ve hafif olduğu için genellikle SiC, SiO₂, Al₂O₃, ve MgO gibi malzemeler tercih edilmektedirler [5,6]. Kompozit malzemelerde takviye elemanı

* Sorumlu yazar: vkoc@adiyaman.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9510-8302, ² 0000-0003-2362-314X

olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kılcal kristaller, kırılmış ve parçacıklı seramikler kullanılabilir[7]. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır[7]. Termoset bir yapıya sahip olan epoksi reçineler ise, çekme ve basma dayanımları ve korozyon dirençleri yüksek, elektrik iletkenliği düşük olup termal ve boyutsal kararlılıkları yüksek, işleme prosesi kolaydır [8-11]. Fakat yanabilirlikleri ve kırılabilirlikleri yüksek olduğu için kullanım alanı kısıtlıdır[12-13]. Epoksi reçineleri; üstün özellikleri ile deniz, otomotiv, havacılık, inşaat endüstrisinde ve kaplama, yapıştırıcı, yalıtım malzemesi, kompozit malzemelerde matris olarak birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[14-20].

Polimer matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri kompozit malzemeyi oluşturan bileşiklerin özelliklerine ve aralarında oluşan yüzey özelliklerine bağlıdır. Ayrıca matris ve takviyenin türü, takviyenin dağılımı, takviye hacim oranı, şekli, matris ve takviyenin sertliği kompozit malzemenin aşınma özelliklerini etkileyen kriterlerdir [2]. Epoksi reçine matrisine takviye malzemesi olarak ilave edilen Titanyum dioksit, silika, kil ve alümina gibi inorganik bileşiklerin epoksinin özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir [21]. Epoksi matrisli ve inorganik bileşik takviyeli kompozit malzemelerin özellikle aşınma özellikleri ile ilgili bilgi oldukça az bulunmaktadır [22,23]. Özellikle epoksi matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemelerin aşınma özelliklerine dair pek bir bilgi bulunmamaktadır. Farklı malzemeler üzerine yapılan pin on disk aşınma testleri incelendiğinde, Ni₃Al-Boron intermetalik bileşiğinin yüksek sıcaklık dayanımı, iyi sertlik ve mukavemetinin yanında, farklı sıcaklıklarda (25-450 °C) aşınma dirençlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir [24].

Yapılan çalışmada, epoksi matris içine farklı oranlarda MgO (Ağırlıkça % 50, 60 ve 70) ilave edilmiş ve pin on disk aşınma özellikleri incelenmiştir. Pin on disk aşınma testi için farklı yükler (10-30N) uygulanırken, aşınma sırasında pin ve malzeme arasındaki sıcaklık farkları da incelenip, aşınma üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Yapılan çalışmada takviyesiz epoksi malzeme ile epoksi matris ve farklı oranlarda MgO takviyeli (%ağ.50-70) kompozit malzemelerin her birinden birer tane olmak suretiyle 4 farklı malzeme üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretimi için %ağırlıkça hesaplamalar kullanılmıştır. Bu nedenle epoksi (EP100) matrise farklı oranlarda MgO takviye (%ağ.50-70) bileşiği ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Ayrıca malzemelerde sertleşmeyi sağlamak için epoksi miktarına bağlı olarak ağırlıkça farklı oranlarda epoksi sertleştiricisi (EP385H) ilave edilmiştir. Epoksi sertleştirici miktarı malzemelerde kullanılan epoksi miktarına göre ayarlanmıştır ve epoksi miktarı düştükçe epoksi sertleştirici miktarı da düşürülmüştür. Kompozit malzemelerin üretimi için Epoksi/MgO/Epoksi Sertleştiricisi ağırlıkça yüzde oranları ve malzeme kodları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Kompozit malzemelerde kullanılan kimyasalların konsantrasyon oranları

Malzeme	Epoksi (%)	MgO (%)	Epoksi Sertleştiricisi (%)
Takviyesiz Epoksi	70	-	30
MgO1.5	30	50	20
MgO2.0	25	60	15
MgO2.5	20	70	10

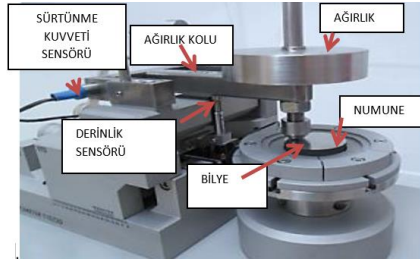
Tablo 1'de oranları belirtilen kompozit malzemeler mikserlerde mekanik olarak karıştırıldıktan sonra dikkörtgen şeklinde silikon kalıplar içine dökülerek 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Ayrıca malzemenin tam bir mukavemet kazanmasını sağlamak için oda şartlarında 36 saatlik kürü süresinde bekletilmiştir.

2.2. Metalografik İnceleme

Takviyesiz epoksi ile Epoksi matrisli ve MgO takviyeli kompozitlerin metalografik incelemeleri Leica marka optik metal mikroskobunda yapılmıştır. Bütün malzemelerin metalografik işlemlerinden biri olan parlatma işlemi yapıldıktan sonra mikroyapı görüntüleri 50 büyütmede çekilmiştir.

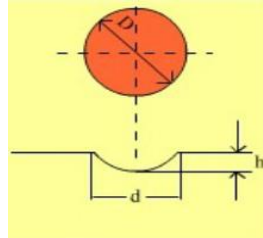
2.3. Aşınma Deneyi

Bütün malzemelere uygulanan pin on disk aşınma testi için sabit 300rpm kayma hızı ve 300 m kayma mesafesi uygulanırken, farklı sürtünme kuvveti değerleri (10N, 20N ve 30N) kullanılmıştır. 10N-30N kuvvet aralığında yapılan aşınma deneyleri için her bir malzemeden birer tane kullanılmıştır. Tek malzeme üzerinde 3 aşınma deneyi yapıp sonuçlar alınmıştır. Böylece her malzemenin 3 farklı yükte aşınma testine tabi tutulması sonucu toplamda 12 pin on disk aşınma testi yapılmıştır. Aşınma sırasında 6mm çapında çelik bilye (Cr6) kullanılmakta olup, Şekil 2.1 de farklı yüklerde yapılan aşınma testi için kullanılan cihazın resmi verilmektedir. Aşınma cihazı olarak Tribometre T10/20 cihazı kullanılmıştır. Ayrıca Sürtünme testi yolu sıcaklıkları TESTO 875-1i marka model termal kamera cihazı ile belirlenmiştir. Termal kamera cihazı ile her 100m de malzeme aşınma temas noktasında sıcaklık ölçümleri yapılarak farklı yüklerde sürtünmenin etkisiyle sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Bununla birlikte sıcaklığın malzemenin sürtünme katsayısına etkileri belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Deneysel aşınma test cihazı.

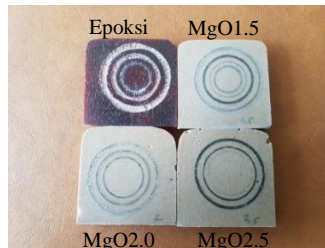
Şekil 2.2’de epoksi matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemelerine farklı yüklerde uygulanan aşınma testi sonrası iz derinliğini hesaplamak için kullanılan formülde hangi harfin neyi ifade ettiğini gösteren şematik görüntüsü verilmektedir. Bunun için optik mikroskop altında sürtünme iz genişlikleri belirlendikten sonra, $h = (D - \sqrt{D^2 - d^2}) / 2$ formülü ile de iz derinlikleri hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Aşınma testlerinde kullanılan aşınma derinliği hesaplama yöntemi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Küçük makine parçaları imalatında, zemin döşemelerinde, kaplamalarda, yapıştırıcı, tekstil makineleri sanayisi gibi birçok sektörde epoksi malzeme kullanılmaktadır [14-20]. Yaptığımız çalışmada, epoksi malzemeye farklı oranlarda MgO bileşiği ilave edilerek, MgO’ün epoksi malzeme üzerindeki aşınma etkisini görmek amacıyla farklı yüklerde (10-30N) aşınma testi yapılmıştır. Aşınma testi sonrası sürtünme katsayısı değerleri ve aşınma izleri ile aşınma sırasında malzemelerin sıcaklıkları ölçülerek malzemelerin aşınmaya karşı tepkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

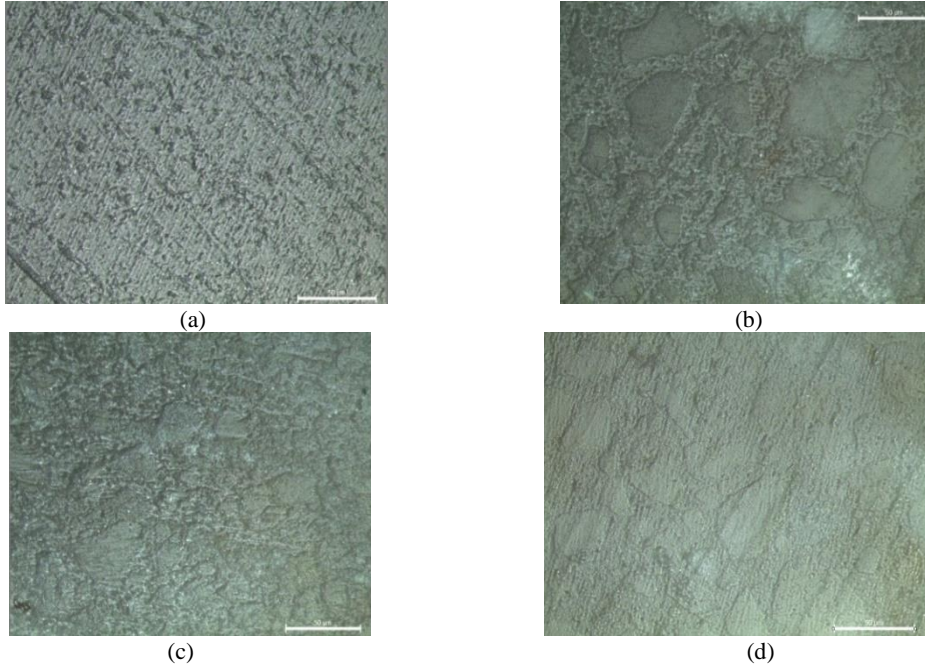


Şekil 3.1. Bütün malzemelerin aşınma testi sonrası görüntüsü.

Şekil 3.1’de epoksi malzeme matrisli ve farklı oranlarda MgO (Ağırlıkça %50-70) takviyeli kompozit malzemelerin farklı yükler (10-30N) altında yapılan pin on disk aşınma test izlerini vermektedir. Bütün malzemelere uygulanan aşınma yükleri içten dışa doğru artırılarak uygulanmaktadır. Şekil 3.1 de bütün malzemelerin aşınma izlerine bakıldığında, yükün artması ile birlikte izin genişliğinin arttığı gözlenmektedir.

3.1. Aşınma testi öncesi Optik Mikroskop Görüntüleri

Bütün deney malzemelerinin üretim sonrası 50 büyütmede alınan optik mikroskop görüntüleri Şekil 3.2.(a-d) de verilmektedir.

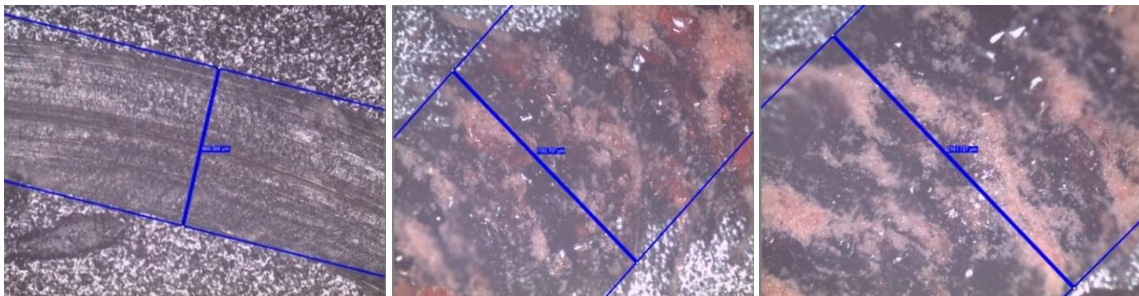


Şekil 3.2. Deney malzemelerinin aşınma deneyi öncesi 50X büyütmede optik mikroyapı görüntüleri (a) Takviyesiz Epoksi, (b) MgO1.5, (c) MgO2 ve MgO2.5.

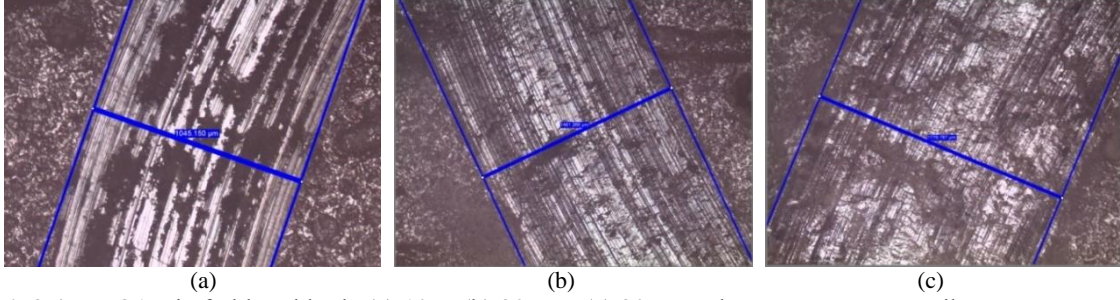
Takviyesiz epoksi ile epoksi matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemelerin aşınma deneyi öncesi optik mikroskopta 50X büyütmedeki görüntüleri Şekil 3.2.(a-d) de verilmektedir. Yapılan mikroskobik incelemeler sonucu, bütün kompozit malzemelerde MgO takviyesinin homojen dağılımı gözlenirken, MgO miktarı arttıkça görüntülerdeki dağılımında arttığı Şekil 3.2.(b-d) de gözlenmektedir.

3.2. Aşınma Testi Sonrası Optik Mikroskop Görüntüleri

Şekil 3.3.(a-c) epoksi malzemenin 10N-30N yükler altında yapılan aşınma testi sonrası optik mikroskopta çekilen aşınma iz görüntüleri görülmektedir. Aşınma testi sonrası alınan görüntülerden, yük arttıkça iz genişliğinin arttığı ve hatta 30 N yükte epoksi malzemenin parçalandığı gözlenmektedir.

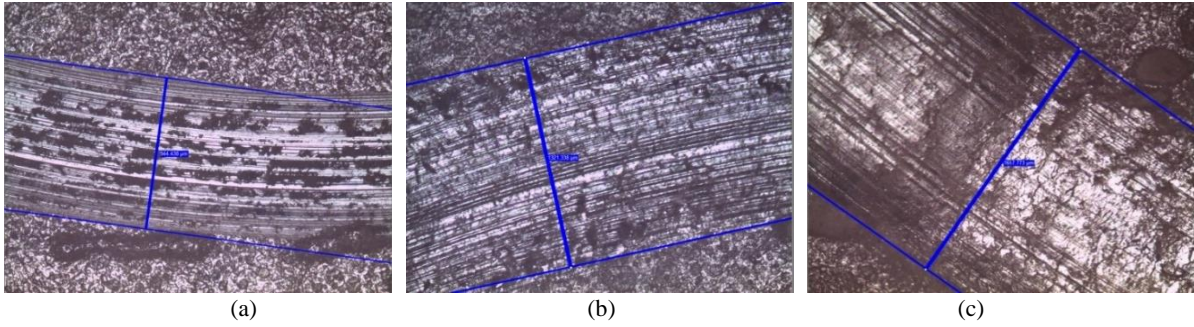


(a) (b) (c)
Şekil 3.3. Epoksinin farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası 5X büyütmede optik mikroyapı görüntüleri.



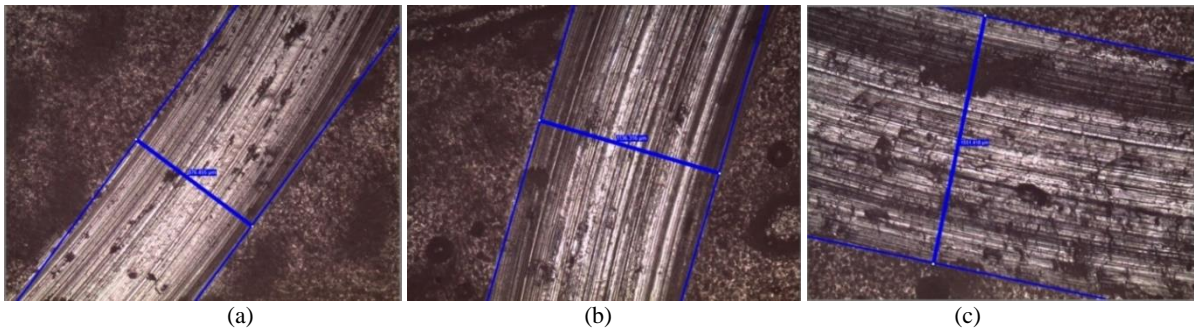
(a) (b) (c)
Şekil 3.4. MgO1.5 in farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri

Polimer matrisli kompozit malzemeler üretilirken polimerlerin makromoleküler zincirlerin histeretik hareketi ile kompozitlerin tribolojik davranışları etkilenebilir[25]. Bununla birlikte polimer matrisli kompozitlerin viskoelastik yapısından dolayı aşınma deneylerinde kompozitlerin sürtünme katsayıları ve aşınma oranları düşebilir[25]. Polimer matris (Epoksi) kullanılarak yapılan çalışmada, ağırlıkça %50 MgO ve %30 Epoksi içerikli malzemenin (MgO1.5) farklı yükler altındaki aşınma testi sonrası iz görüntüleri Şekil 3.4.(a-c)'de verilmektedir. Yapılan incelemeler sonucu, MgO1.5 kompozit malzemenin Epoksi malzemeden çok daha ince iz genişliği verdiği için, daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir. Ayrıca aşınma yükü miktarı arttıkça aşınma izlerinin daha net görüldüğü ve iz genişliğinin arttığı da belirlenmektedir.



(a) (b) (c)
Şekil 3.5. MgO 2.0 in farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri.

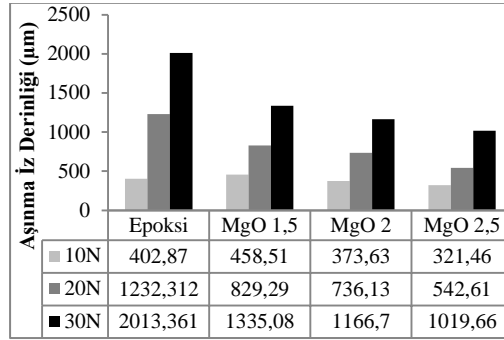
Şekil 3.5.(a-c) ağırlıkça %60 MgO ve %20 epoksi içerikli kompozit malzemenin aşınma testi sonrası optik mikroskop görüntülerini vermektedir. MgO 2.0 malzemesinde aşınma yükü arttıkça iz genişliğinin arttığı gözlenirken, aşınma sonucu kopan parçaların malzemeye batarak tutunduğu ve yağlayıcı özelliği gördüğü gözlenmektedir.



(a) (b) (c)
Şekil 3.6. MgO2.5 in farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri.

MgO 2.5 kompozit malzemesi %70 MgO, %20 Epoksi ve %10 sertleştirici içerikli olup 10N-30N yükler altında yapılan pin on disk aşınma testi sonrası aşınma izi optik görüntüleri Şekil 3.6.(a-c)'de verilmektedir. Her malzeme için tek iz kullanılmakta olup, optik görüntüler sonucu, yük arttıkça iz genişliğinin arttığı, fakat iz çizgilerinin ise incelendiği belirlenmiştir.

Bütün malzemeler kıyaslandığında, en geniş aşınma izinin epoksi malzemeden elde edildiği ve MgO bileşiğinin epoksinin aşınma izini azalttığı gözlenmiştir. Kompozit malzemelerde ise, MgO ilavesi ile birlikte iz genişliğinin az olmasına bağlı olarak en iyi sonucu MgO2.5 malzemesinden elde edildiği Şekil 3.4.(a-c) ve Şekil 3.6.(a-c)'de tespit edilmiştir.



Şekil 3.7. Aşınma sonrası malzemelerin aşınma derinliği grafiği.

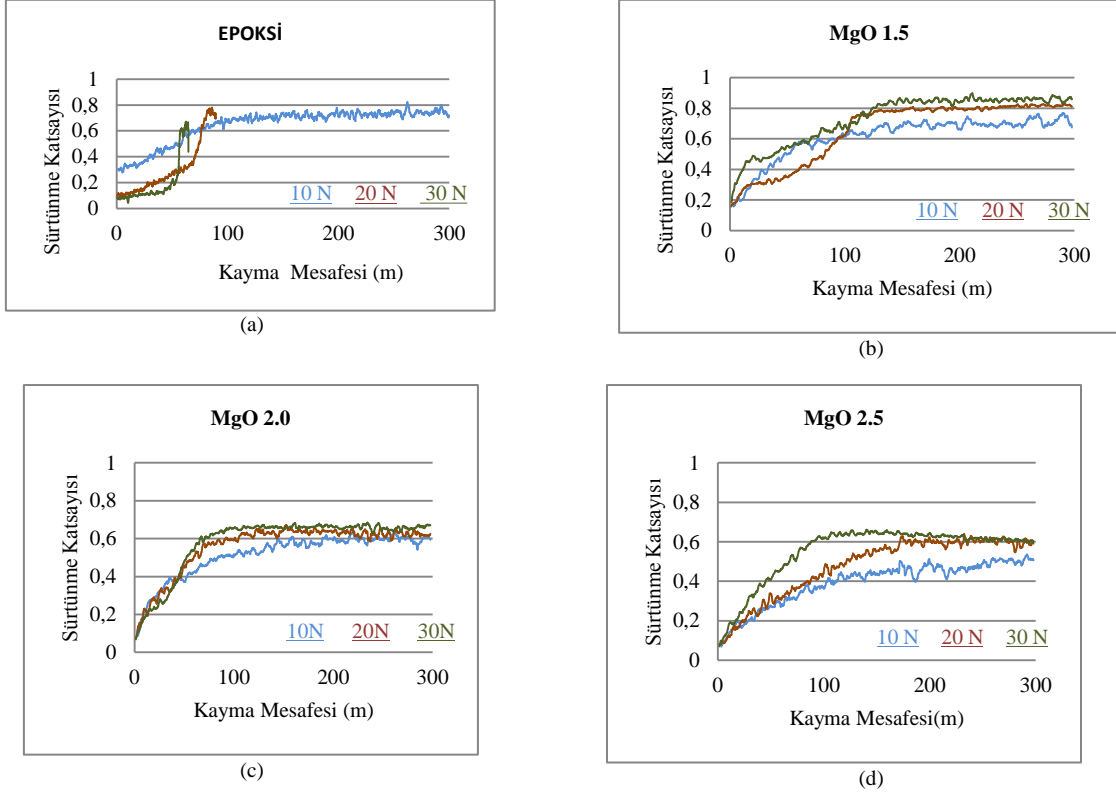
Şekil 3.7. farklı yükler altında yapılan aşınma testi sonrası bütün malzemelerin aşınma derinlik değerlerini vermektedir. Bütün malzemelerin 10N-30N yük altında yapılan aşınma testi sonrası aşınma iz derinliği hesaplandığında, yük arttıkça aşınma iz derinliğinin arttığı görülmektedir. Ayrıca en yüksek aşınma iz derinliği 30N da Epoksi malzemenin aşınma iz derinliğinde gözlenirken (2013,361µm), en düşük aşınma iz derinliğinin de MgO2.5 malzemesine 10N'da uygulanan aşınma testi sonrası aşınma iz derinliğinde (321,46µm) gözlenmektedir. Bu sonuçlara bağlı olarak MgO miktarı arttıkça aşınma derinliğinin düşmesiyle birlikte aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir.

3.2. Aşınma Testi Sonrası Sürtünme Katsayısı-Kayma Mesafesi Grafikleri

Takviyesiz Epoksi malzeme ile Epoksi matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemeler üzerine farklı yüklerde (10N-30N) yapılan aşınma deneyi sonrası malzemelerin sürtünme katsayıları hesaplanarak toplamda 12 test sonucu elde edilmiş ve sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafiği Şekil 3.8.(a-d) de verilmiştir. Epoksi malzemenin 20N ile 30N'da yapılan aşınma testi hariç 10N'luk epoksi aşınma testinde ve kompozit malzemelerin bütün yüklerdeki aşınma testlerinde malzemeler Sürtünme katsayısının bulunduğu bir ilk alıştırma aşaması sergilemekte ve sürtünme katsayısı maksimum bir değere yükseldikten sonra sabit bir seviye de devam etmektedir. Literatür incelemelerine bakıldığında, sol jel üretim yöntemi kullanılarak yapılan Epoksi-MgO-SiO₂ hibrit kompozit malzemeye düşük yükte yapılan pin on disc aşınma deneyi sonrası MgO'nun epoksinin aşınma direncini arttırdığı belirlenmiştir [25]. Ayrıca dolgunsuz polimerlerin metallere daha düşük aşınma davranışı sergilediği ve polimerlere takviye malzemesi ilave edilerek aşınma direncinin artırılabilirliği de belirlenmiştir[26,27]. Yapılan çalışmada, farklı oranlarda MgO (Ağırlıkça%10-30) epoksi malzemeye ilave edilip hem MgO'nun etkileri incelenmiş hem de farklı aşınma yükleri (10-30N) uygulanarak malzemelerin aşınma dirençleri incelenmiştir. Pin on disk aşınma deneyi sonrası epoksi malzemenin 10N yük altında 300m'lik kayma mesafesini tamamladığı fakat 20N ve 30N yük altında aşınmayı tamamlayamadığı ve 50m den sonra epoksi malzemenin yüksek oranda deforme olduğu gözlenmektedir. Kompozit malzemelerde ise MgO'in epoksinin aşınma direncini arttırdığı ve 300 m kayma mesafesine sahip aşınma testini bütün yüklerde tamamladığı belirlenmiştir. Ayrıca bütün malzemelerde aşınma yükü arttıkça sürtünme katsayısının arttığı da Şekil 3.8.(a-d) de görülmektedir.

Epoksi malzeme ile yapılan aşınma testi sonrası, 10 N yükte ilk 90 m'de sürtünme katsayısı 0,3 değerlerinden başlayarak 0,7 değerine kadar yükselmiştir. 90 m ile 300 m kayma mesafesi değerine kadar ise $\pm 0,1$ hassasiyetinde 0,7 sürtünme katsayısı değerinde stabil olarak devam etmiştir (Şekil3.8a). 20 N yükte sürtünme katsayısı ilk 75 m'de 0,1 den başlayarak 0,35 sürtünme katsayısı değerine ulaşmış, daha sonrada 5 m'lik yolda sürtünme katsayısı 0,35'den 0,7'ye yükselmiştir. Kayma mesafesi 80m'ye yükseldiğinde kayma yolu deforme olarak aşınma daha fazla sürdürülememiştir (Şekil3.8a). 30N'luk yük altında epoksi malzemeye

yapılan aşınma testinde ise, ilk 50 m’de sürtünme katsayısı 0,1 den başlayarak 0,2 sürtünme katsayısı değerine ulaşmış, daha sonrada 5 m’lik yolda sürtünme katsayısı aniden 0,2’den 0,6’ya yükselip kayma yolu deforme olup aşınma testine devam edilememiştir(Şekil3.8a). Epoksi malzemenin farklı yüklerde yapılan aşınma testinde ilk alıştırma aşamasındaki kayma mesafesi 20N ile 30N’da 75 m’nin altında tamamlanmış iken 10N’da 100m’de tamamlanmıştır.



Şekil 3.8.Epoksi, MgO 1.5, MgO2.0 ve MgO2.5 malzemelerin farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi değerleri.

Epoksi matrisli ve %50 MgO takviyeli kompozit malzemenin bütün yüklerde benzer görüntü verdiği Şekil 3.8b’de gözlenmiştir. Bütün yüklerde MgO1.5 malzemesi 0.2 sürtünme katsayısı değerinde deney başlarken, yük arttıkça malzemenin ilk alıştırma aşaması kayma mesafesinin ve sürtünme katsayısı değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Aşınma testi stabil aşamaya geçtiğinde ise yük arttıkça sürtünme katsayısının arttığını ve en yüksek sürtünme katsayısı değerini 0,8-0,9 değeri ile 30N’da yapılan aşınma testinden elde edildiği tespit edilmiştir.

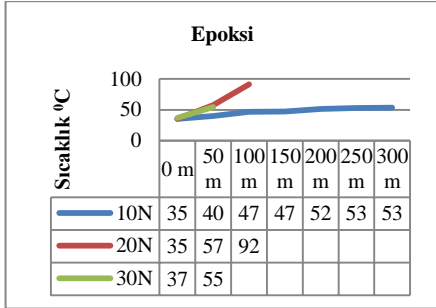
Şekil 3.8c’de Epoksi matrisli ve %60 MgO takviyeli kompozit malzemenin MgO1.5 ile benzer bir görüntü verdiği belirlenmiştir. Fakat ilk alıştırma aşamasından sonra MgO2.0 malzemesi MgO1.5 kompozit malzemesine göre daha düşük sürtünme katsayısı değeri (0,7) verdiği gözlenmiştir.

MgO2.5 kompozit malzemesi epoksi matrisli ve %70 MgO takviyeli olup, pin on disk aşınma testi sürtünme katsayısı-kayma mesafesi (m) grafiği Şekil 3.8d’de verilmektedir. Yapılan inceleme sonucu kompozit malzemelerin hepsinin benzer grafik şekli verdiği gözlenirken MgO miktarı arttıkça ilk alıştırma aşamasından sonra sürtünme katsayısı değerinin düştüğü Şekil 3.8b-Şekil 3.8d de gözlenmektedir. Buna bağlı olarak MgO2.5 malzemesinin sürtünme katsayısı değeri 0,6’da seyir ettiği Şekil 3.8d’ de belirlenmiştir.

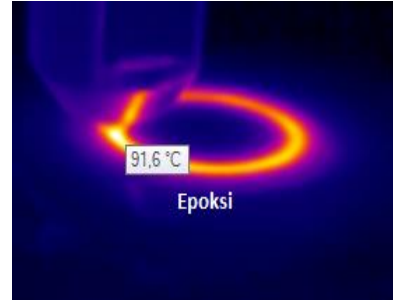
Farklı yüklerde yapılan pin on disk aşınma testlerinde bütün malzemelerin her birinde 0-300m arasında farklı kayma mesafelerinde aşındırıcı bilye ile malzeme temas noktasından sıcaklık ölçümü alınmıştır. Her bir deney malzemesi için farklı yükler (10N-30N) altında her 50m de bir kayma mesafesinde sıcaklık ölçümü yapılmış ve 12 farklı sonuç elde edilerek Şekil 3.9(a)-Şekil 3.12(a) de verilen grafiklere dönüştürülmüştür. Alınan sıcaklık noktalarının resim örnekleri ve grafikleri Şekil 3.9(a,b)-Şekil 3.12(a,b) de verilmektedir.

Epoksi malzemenin 10N-30N’luk yüklerde yapılan aşınma testinde farklı kayma mesafelerinde alınan sıcaklık değerleri Şekil 3.9(a,b) de gösterilmektedir. Epoksi malzeme 10N’da yapılan aşınma testinde 300m’lik kayma mesafesini tamamlamakta olup her 50m’de alınan sıcaklık değerinin arttığı ve 35,1-53,2°C aralığında

değiştirdiği belirlenmiştir. Epoksi malzeme 20N ile 30N'da 300 m'lik kayma mesafesini aşırı deformasyondan dolayı tamamlayamamıştır. Bu malzemenin aşınmayı tamamlayamama nedenlerinden bir tanesinin de sıcaklığın aşırı yükselmesine bağlı olarak deformasyonu hızlandırması olduğu da Şekil 3.9(a,b) de görülmektedir.

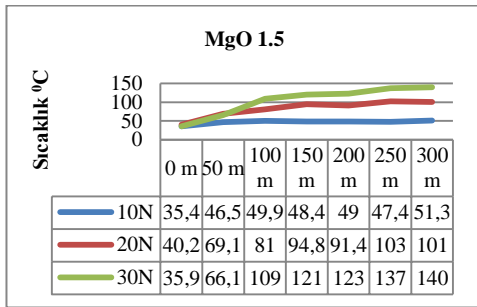


(a)

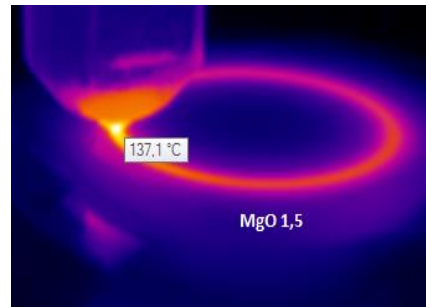


(b)

Şekil 3.9. Epoksinin farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası Sürtünme katsayısı- Kayma mesafesi değerleri.

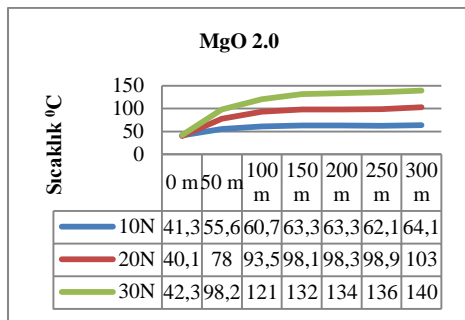


(a)

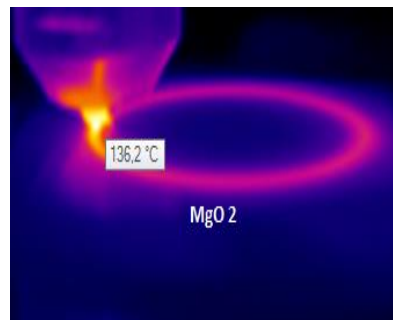


(b)

Şekil 3.10. MgO 2,5 farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası Sürtünme katsayısı- Kayma mesafesi değerleri.

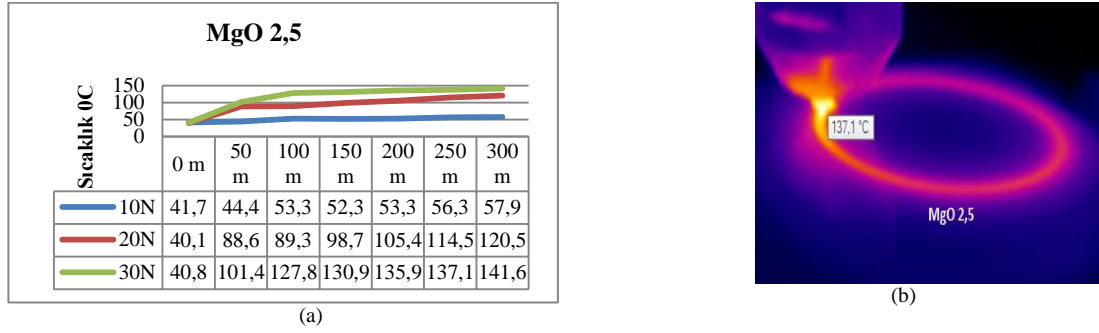


(a)



(b)

Şekil 3.11. MgO 2,5 farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası Sürtünme katsayısı- Kayma mesafesi değerleri.



Şekil 3.12. MgO 2,5 farklı yüklerde (a) 10N, (b) 20N ve (c) 30N yapılan aşınma sonrası Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi değerleri.

MgO1.5, MgO2.0 ve MgO2.5 kompozit malzemelerde aşınma sırasında alınan sıcaklık ölçüm resim örnekleri ve sıcaklık dağılım grafikleri Şekil 3.10(a,b) ve Şekil 3.12(a,b) de verilmektedir. Yapılan incelemeler sonucu bütün kompozit malzemelerin benzer grafikler verdiği ve aşınma yükü arttıkça sıcaklıkların arttığı gözlenmiştir. Ayrıca kompozit malzemeler aynı kayma mesafesinde bir birine yakın sonuçlar verirken, MgO miktarı arttıkça aşınma temas noktasında sıcaklığın eser miktarda yükseldiği belirlenmiştir. Bu yükselişe rağmen kompozit malzemelerde sıcaklık değerleri aşınma iz derinliği ve sürtünme katsayısı ile karşılaştırıldığında, ters orantılı olduğu ve sıcaklık arttıkça aşınma iz derinliği ve sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Aşınma sırasında artan yük ile birlikte sürtünme arttığı için malzemenin sıcaklığı artmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte malzemenin kopan parçalar yüzeye yapışıp yağlayıcılık özelliği gördüğü ve MgO miktarı arttıkça da yağlayıcılık özelliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle MgO ilavesi ve miktarındaki artış ile birlikte aşınma iz derinliği ve sürtünme katsayısının düşmesine bağlı olarak MgO'nun epoksinin aşınma direncini arttırdığı ispatlanmaktadır.

4. Sonuçlar

Epoksi malzeme ve Epoksi matrisli MgO takviyeli kompozit malzemeler ile yapılan pin on disk aşınma testi sonrası;

- Aşınma deneyi öncesi bütün deney malzemelerinin optik mikroskoptaki görüntülerinden MgO bileşikleri görülürken, MgO takviye miktarı arttıkça MgO dağılımının da arttığı gözlenmiştir.
- Bütün malzemelerde aşınma yükü arttıkça, aşınma iz derinliğinin de arttığı belirlenmiştir.
- Farklı yüklerde yapılan aşınma testi sonucu MgO içerikli kompozit malzemelerin epoksi malzemelere göre çok iyi sonuç verdiği ve MgO miktarı arttıkça aşınma iz genişliğinin azaldığı gözlenmiştir.
- Kompozit malzemelerin aşınma testi sonrası iz genişliği en az olanın MgO2.5 olmasına bağlı olarak, en iyi sonucu da MgO2.5 malzemesinin verdiği tespit edilmiştir.
- Bütün deney malzemelerinin sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında, takviyesiz epoksinin sürtünme katsayısı değerinin bütün kompozit malzemelerden yüksek olduğu ve MgO miktarı arttıkça sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.
- Epoksi malzemenin aşınma deneyi sırasında 10N'luk yükte 300m'lik kayma mesafesini tamamlarken, 20N, 30N'luk yüksek yüklerde deformasyona uğradığı için 50m ve 75m'den sonra aşınma testini tamamlayamadığı gözlenmiştir. MgO takviyeli kompozit malzemelerde ise bütün yüklerde 300m'lik kayma mesafesini tamamladığı belirlenmiştir. Bu nedenle MgO'nun epoksinin aşınma direncini arttırdığını göstermektedir.
- Kompozit malzemelerde kullanılan MgO'nun miktarı arttıkça yağlayıcılık özelliğinin arttığı gözlenmiştir. Yağlayıcılığın artması ile birlikte aşınma iz derinliği ve sürtünme katsayısının düşmesine bağlı olarak MgO'nun epoksinin aşınma direncini arttırdığı gözlenmiştir.
- Bütün malzemelerin aşınma testi sırasında alınan sıcaklık ölçümlerinden aşınma yükü arttıkça sıcaklığın yükseldiği gözlenmiştir. Ayrıca MgO'nun epoksi malzemeye ilave edilmesi ve MgO miktarının artması ile birlikte sıcaklığın eser miktarda yükselmesine rağmen aşınma derinliğinin ve sürtünme katsayısının düşmesine bağlı olarak, MgO takviye malzemesinin epoksinin aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Rout A, Satapathy A. Analysis of dry sliding wear behaviour of rice husk filled epoxy composites using design of experiment and NN. *Procedia Engineering* 2012; 38: 1218-1232.
- [2] Zum Gahr KH. *Microstructure and Wear of Materials*. Elsevier 1987; Amsterdam.
- [3] Bahadur S, Zheng Y. Mechanical and tribological behaviour of polyester reinforced with short glass fibers, *Wear* 1990; 137, 251-266.
- [4] Xing XS, Li RKY. Wear behavior of epoxy matrix composites filled with uniform sized sub-micron spherical silica particles, *Wear* 2004; 256(1-2): 21-26.
- [5] Pul M, Çalın R, Çıtak R Şeker U. Düşük takviyeli MgO-Al kompozitlerin vakumlu infiltrasyonunda takviye oranının infiltrasyon davranışına etkisi. *Politeknik Dergisi* 2009; 12- 3: 173-177.
- [6] Dhandapani SP, Jayaram V, Surappa MK. Growth and microstructure of Al₂O₃-SiC-Si(Al) composites prepared by active infiltration of silicon carbide preforms, *Acta Met. Ma* 1994; 42: 649-656.
- [7] Ateş E, Aztekin K. Parçacık ve fiber takviyeli polimer kompozitlerin yoğunluk ve basma dayanımı özellikleri, *J Fac Eng Arch Gazi Univ* 2011; 26(2): 479-486.
- [8] Deveci H. Mechanical and thermal properties of a novel composite prepared with epoxy resin and lateritic ore. *Polymer Composites* 2013; 34 (8), 1375-1381.
- [9] Zhang J, Qi S. Mechanical, thermal, and dielectric properties of aluminum nitride/glass fiber/epoxy resin composites, *Polymer Composites* 2014; 35 (2): 381- 385.
- [10] Mavani, SI, Mehta NM, Parsania PH. Synthesis, fabrication, mechanical, electrical, and moisture absorption study of epoxy polyurethane-jute and epoxy polyurethane-jute-rice/wheat husk composites, *Journal of Applied Polymer Science* 2007; 106 (2): 1228-1233.
- [11] Soroush A, Rezaie Haghighat H, Sajadnia SH. Thermal and mechanical properties of polysulfide/epoxy copolymer system: the effect of anhydride content, *Polymers for Advanced Technologies* 2014; 25 (2): 184-190.
- [12] Zhou Y, Feng J, Peng H, Qu H, Hao J. Catalytic pyrolysis and flame retardancy of epoxy resins with solid acid boron phosphate, *Polymer Degradation and Stability* 2014; 110: 395-404.
- [13] Li X, Kang H, Shen J, Zhang L, Nishi T. Ito K. Miscibility, intramolecular specific interactions and mechanical properties of a DGEBA based epoxy resin toughened with a sliding graft copolymer, *Chinese Journal of Polymer Science* 2015; 33 (3): 433-443.
- [14] Xue Y, Jin X, Fan Y, Tian R, Xu X, Li J, Lin J, Zhang J, Hu L, Tang C. Large-scale synthesis of hexagonal boron nitride nanosheets and their improvement in thermal properties of epoxy composites. *Polymer Composites* 2014; 35 (9): 1707-1715.
- [15] Li X, Ni C, Ma F, Yao B, Zhu C. Preparation of poly(N-butyl acrylate-coglycidyl methacrylate) and its application in enhancement of epoxy resin. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2014; 53 (3): 262-267.
- [16] Ding G, Fu J, Dong X, Chen L, Jia H, Wenqi Y, Shi L. Preparation and properties of polyhedral oligomeric silsesquioxane/epoxy hybrid resins. *Polymer Composites* 2013; 34: 1753-1760.
- [17] Ma A, Wu Y, Chen W, Wu X. Preparation and properties of multi-walled carbon nanotubes/carbon fiber/epoxy composites. *Polymer Composites* 2014; 35 (11): 2150-2153.
- [18] Devaraju S, Vengatesan MR, Selvi M, Song JK, Alagar M. Hyperbranched polysiloxane-based diglycidyl ether of bisphenol a epoxy composite for low k dielectric application. *Polymer Composites* 2013; 34 (6): 904-911.
- [19] Zotti A, Borriello A, Martone A, Antonucci V, Giordano M, Zarrelli M. Effect of sepiolite filler on mechanical behaviour of a bisphenol A-based epoxy system. *Composites Part B: Engineering* 2014; 67: 400-409.
- [20] Yekani Fard M, Raji B, Chattopadhyay A. The ratio of flexural strength to uniaxial tensile strength in bulk epoxy resin polymeric materials. *Polymer Testing* 2014; 40: 156-162.
- [21] İbtihal A, Ahmed A and Manal F. Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With silica (quartz) and Alumina Particles. *The Iraqi Journal For Mechanical and Material Engineering* 2011; 3(11): 486-505.
- [22] Visconti IC, Langella A, Durante M. The wear behaviour of composite materials with epoxy matrix filled with hard powder. *Appl Comp Mater* 2001; 8: 179-189.
- [23] Rong MZ, Zhang MQ, Liu HM. Zeng Microstructure and tribological behavior of polymeric nanocomposites. *Ind Lubric Tribol* 2001; 53 (2): 72-77.
- [24] Solmaz MY, Kelestemur MH. Wear behavior of boron-doped Ni₃Al material at elevated temperature. 2004; *Wear* 257(9-10):1015-1021
- [25] Shi G, Zhang MQ, Rong MZ, Wetzel B, Friedrich K. Friction and wear of low nanometer Si₃N₄ filled epoxy composites. *Wear* 2003; 254: 784-796.
- [26] Al-Rawi K R, Abd-Ulwahid MZ. Wear and mechanical properties of epoxy/MgO-SiO₂ hybrid nanocomposites. *Iraqi Journal of Physics* 2015; 13-26: 58-63.
- [27] Unal H, Sen U, Mimaroglu A. Abrasive Wear Behavior of Polymeric Materials. *Materials and Design* 2005; 26: 705-710.
- [28] Solmaz MY, Muratoğlu M, Eroğlu M. Al₂O₃ Partikülleriyle takviyelendirilmiş polyester matrisli kompozitin abrasiv aşınma davranışının incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

Atık Taş Tozları ile Üretilen Harçların Dayanım ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması

Nusret BOZKURT^{1*}, Erden Ozan KARACA²

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye

*¹ nbozkurt@beu.edu.tr, ² eozankrc@gmail.com

(Geliş/Received: 04/11/2017;

Kabul/Accepted: 21/12/2018

Özet: Bu çalışmada, atık taşlardan elde edilen tozların çimento teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bu kapsamda dayanım ve durabilite özellikleri belirlenmiştir. Bitlis yöresinden temin edilen 3 farklı taş atıkları toz halinde öğütülmüş ve elde edilen bu taş tozlarının puzolanik etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla Bitlis-Ahlat yöresi pomza taşı tozu (BPT), Bitlis-Güroymak ve Bitlis-Ahlat yöresi ignimbirit tozları (GTT, ATT) hazırlanan harç numuneler içerisinde %0, %10, %20 ve %40 oranlarında çimentoya ağırlıkça ikame edilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu numuneler 7, 28 ve 90 gün standart su kürü sonrasında basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrasonik ses geçirgenlik deneylerine tabi tutularak dayanım özelliklerine bakılmıştır. Durabilite özelliklerinin belirlenmesinde yüksek sıcaklık ve donma-çözünme deneyleri uygulanmıştır. Bir kısım numunelere 200, 400, 600 ve 800 °C’de ayrı ayrı yüksek sıcaklık deneyi ve diğer kısım numunelere ise 90 çevrim donma-çözünme deneyi uygulanarak bu deneyler sonrası basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrasonik ses geçirgenlik değerlerine bakılmış sonuçlar kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çimento teknolojisi, atık taş tozu, katkı malzemeleri.

The Investigation of Strength and Durability Properties of Mortars Produced with Waste Stone Dusts

Abstract: In this study, it was investigated the use of waste stone dusts as additive material in cement technology and determined the strength and durability properties. Three different stone wastes obtained from Bitlis region were ground into dusts and it was investigated whether or not these stone dusts obtained had pozzolanic effect. For this purpose, Bitlis-Ahlat pumice stone dust (BPT), Bitlis-Güroymak and Bitlis-Ahlat region ignimbrite dusts (GTT, ATT) were added to the prepared cement-mortar samples with 0%, 10%, 20% and 40%. Afterwards, these samples were subjected to compressive strength, flexural tensile strength and ultras-sound pulse velocity tests after 7, 28 and 90 days of standard water curing. High temperature and freeze-thaw tests were applied to determine the durability characteristics. The results were compared with the control samples by applying the high-temperature test separately at 200, 400, 600 and 800 °C and the 90-cycle freeze-thaw test for the other part of the samples.

Key words: Cement technology, waste stone dust/powder, additive materials.

1. Giriş

Artan şehirleşmeyle birlikte gelişen endüstri beraberinde çevresel atıkların da artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma ile atıkların beton ve çimento endüstrisinde kullanılmasının araştırılmasıyla, endüstriye geri kazandırılması ve olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması hedeflenmektedir. Bitlis yöresinin pomza ve ignimbirit yönünden zengin oluşu, hali hazırda pomzanın beton teknolojisinde kullanılması, yine Ahlat yöresinden elde edilen ignimbiritin yapı malzemesi olarak kullanılması, bu malzemelerin atıklarının da tekrar çimento ve beton endüstrisinde kullanılıp kullanılmayacağıyla ilgili çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Yazıcıoğlu ve Demirel [1], puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında beton basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, doğal puzolanların portland çimontosu içinde kütlece belirli oranlarda yer değiştirilerek, betonun dayanımına yaptığı katkı incelenmiş ve pomza kaynaklı puzolanik aktivitenin ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıktığı ancak çimentonun kütlece pomzayla yer değiştirmeden kaynaklı azalması betonun dayanımının düşmesinde de etkili olabileceği vurgulanmıştır. Ahlat yöresi ignimbirit atıklarının taş unu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırıldığı Erdal ve Şimşek [2]’in çalışmalarında ise, %5 oranında çimento içine eklenmesinin, eklenmemiş numuneye kıyasla benzer basınç ve çekme değerleri verdiği görülmüştür. Kütlece eklenen bu taş unu miktarının %25 olması halinde ise bu betonların eğilme dayanımlarının %37, basınç dayanımlarının da %30 oranında azaldığı saptanmıştır. İgnimbirit üzerine yapılan bu çalışma sonucunda da kütlece %5 oranında eklenen taş ununun beton içerisine eklenmesinin, hem bu atıkların çevreye verdiği zararın azaltılmasında, hem çimento kullanımının azaltılması neticesinde

* Sorumlu yazar: nbozkurt@beu.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-3737-8205, ² 0000-0003-1111-1710

çimento üretiminin çevresel zararlarının azaltılması yönünde etkili olabileceği vurgulanmıştır. Yine beton üretiminde en pahalı malzeme olan çimentonun yerine atık olarak karşımıza çıkan taş unlarının kullanılmasının maliyet noktasında fayda sağlayacağı belirlenmiştir. Nevşehir pomzasıyla ilgili yapılan bir çalışmada, pomza agregalarından hazırlanmış beton örnekleri 7, 14, 28 ve 90 günlük olarak hazırlanmış ve bu örnekler tek eksenli basma ve çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak bu pomzanın sahip olduğu dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Hafif betonların binalarda ölü yükü azalttığı ve zemine daha az yük uygulandığı için binanın depreme daha dayanıklı hale gelmesine sebep olması pomzanın önemini artırmakta ve pomzanın etkisiyle binalarda ısı ve ses yalıtımının sağlanması ve maliyette de fayda sağlayacağı belirtilmiştir [3]. Khyaliya ve diğ. [4] yaptıkları çalışmada mermer atıklarının harç numunelerinde agrega olarak kullanımının uygunluğunu araştırmışlardır. Bunun için harç numunesi karışımında farklı yüzdelik oranlarda kum ile ikame edilmiştir. Sonuç olarak mermer atıklarının %25 ve %50 oranlarında kum yerine güvenli bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Ana Matos ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmada ise çimento içerisine ikame edilen atık cam tozuyla oluşturulmuş harç numunelerinin durabilite özellikleri araştırılmıştır. Bunun için öğütülen atık cam parçaları çimento ile %10, %20 ve %40 oranlarında ikame edilmiştir. Elektron mikroskopuyla yapılan gözlem ile yoğun jel tabakasına iyi bir şekilde kapsüllenmiş cam partiküllerinin betonun dayanımını artırıcı etken olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak atık cam tozunun inşaat teknolojisinde sürdürülebilirlik açısından olumlu etkisinin olduğu belirtilmiştir. Kallel ve diğ. [6] kum yıkama atıkları ile yapılan harç numunelerin dayanıklılığını araştırdıkları çalışmada ise; kum yıkama işlemi sonucu ortaya çıkan kaolinit bakımından zengin endüstriyel atık puzolanik malzeme olarak kullanılmıştır. %0, %10 ve %30 oranlarında atık içeren numuneler HCl ve Na₂SO₄ çözeltileri içerisinde dayanıklılık yönünden incelenmiştir. Sonrasında yapılan deneyler sonucunda ise %10 oranında atık malzeme içeren harç numunelerinin her iki çözeltide de en yüksek dayanıklılığı gösterdiği belirtilmiştir.

Lu ve diğ. [7] ise içecek şişelerinden elde edilen atık cam tozu ve cam parçaları içeren çimento esaslı harçların taze haldeki özelliklerini incelemişlerdir. Burada atık cam tozu, harçların priz süresini daha düşük bir hidrasyon ısıyla kısalttığı görülmüştür. Bununla birlikte cam tozunun boyutu çimento ile aynı boyuta indirildiğinde harçların işlenebilirliğinin ve sertleşmesinin kontrol numuneleriyle benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca cam tozunun %20 oranında çimento ile ikamesi numunenin mukavemetini artırmıştır. Ez-Zaki ve diğ. [8] tarafından çimento ve kum ile kısmi olarak yer değiştirilen atık malzemeler ile daha ekonomik ve çevre dostu harç geliştirilmesi araştırılmıştır. Atık malzeme olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Atık malzemeler %20, 40 ve 60'lık oranlarda kullanılarak farklı tür harçlar üretilip incelenmiştir. Sonuç olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu malzemenin ısı geçirgenliğini düşürmüş ve yalıtım işlerinde kullanılabilen ortaya koyulmuştur. Atık silis camı ile üretilen alkali aktif çimento harcı üzerinde ise başka bir çalışma yapılmıştır [9]. Bunun için atık cam uçucu kül-cüruf harcı içinde ince agrega olarak kullanılmıştır. Deney sonuçları cam kırıntısı miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığını göstermektedir. Aynı doğrultuda, mekanik özelliklerin ve yüksek sıcaklığa karşı direncin arttığı da belirlenmiştir.

Kabeer ve diğ. [10] mermer bloklarının kesilmesi ve şekillendirilmesi sırasında ortaya toz malzemelerin hem endüstriye geri kazandırılması için, hem de doğal kaynak kullanımına bağlılığı azaltmak için bir araştırma yapmışlardır. Bu amaçla mermer tozlarını çimento harçları içerisindeki geleneksel nehir kumu yerine kullanmışlardır. Yapılan deney sonuçları, harçlar içerisinde nehir kumuyla %20 oranında ikame edilen mermer tozlarının kullanılabilmesini göstermiştir. Böylece çevresel kirliliğin önüne geçilebileceğini, doğal kaynakların tüketiminin yavaşlatılmış olacağını ve mermer endüstrisinin daha sürdürülebilir olacağını belirtmişlerdir. Dang ve diğ. [11] tarafından agrega olarak atık kil tuğla kullanılan harçların özellikleri incelenmiştir. Tuğla parçalarının agrega olarak beton içerisinde kullanılmasıyla daha çevreci bir üretim amaçlanmıştır. Farklı dane boyutları ve su muhteva oranlarıyla oluşturulan numuneler üzerinde makroskopik ve mikroskopik testler gerçekleştirilmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde tuğla parçalarının 0-5 mm arası dane boyutunda kullanılmasının harç mukavemetini artırdığı görülmüştür. Xu ve diğ. [12] tarafından agrega ve mineral katkı maddesi olarak diatomit, uçucu kül ile hazırlanan harçlar incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde diatomitler ile hazırlanan harçların basınç ve eğilme dayanımlarının büyük ölçüde arttığını, uçucu kül ilavesiyle hazırlanan harçların da eğilme mukavemet değerlerinde iyileşmeler görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca diatomit kullanılarak hazırlanan numunelerin asit ve sülfat dayanımlarında artışlar olduğu görülmüştür.

Norambuena-Contreras ve diğ. [13], metalik atık içeren çimento esaslı harçların elektriksel ve termal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, atık malzeme olarak çelik lifler ve çelik talaşları harç içinde kullanmışlardır. Harçlar üzerinde hacimsel, elektriksel ve termal deneyler yapılmıştır. Harç numunelere 7 ve 28 günlük iki farklı kür yaşı uygulanmıştır. Sonuçlar; metalik atıkların çimento bazlı harçların gözenekliliğini arttırmayı sağladığını göstermiştir. Ayrıca metalik atıkların, metalin türüne ve miktarına bakılmaksızın harçların

elektrik direncini ve ısı iletkenliğini değiştirebileceğini göstermişlerdir. Kür süresinin ise herhangi bir değer üzerine etkisi gözlemlenmemiştir. řimonová ve diğ. [14] atık cam tozu ile çimento esaslı harçların mekanik kırılma parametrelerini araştırmışlardır. Bu amaçla çimento yerine kütlece %5, 10, 15 ve 20 oranlarında öğütölmüş atık laboratuvar borosilikat camı kullanılmıştır. 4x4x16 cm'lik kiriş numuneler halinde oluşturulan numuneler 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süresinden sonra eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak numunelerin basınç mukavemetlerinde %12-33, eğilme mukavemetlerinde de %6-15'lik artış olduğu belirlenmiştir. Gil ve diğ. [15] ise çalışmalarında odun talaşı atıklarıyla katkılanırlmış harçların mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Bu amaçla ağırlıkça sırasıyla %0, 0,5, 1 ve %3'lük talaş ilaveli harçlar hazırlanmış ve 7, 30, 90 günlük kürler uygulanmıştır. Talaşların yapışma davranışlarını görebilmek amacıyla elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Sonuç olarak %0.5 talaş kullanılan numunelerin mukavemetinin arttığı görölmüştür. Ayrıca mikroskop incelemesiyle %0.5 ve %1 oranlarında talaş kullanımının iyi bir yapışma özelliği gösterdiği gözlemlenmiş, bu da malzemenin çatlama sonrası davranışı üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini vurgulamışlardır. Younes ve diğ. [16] çimento harcı kompozitlerinin üretiminde pirinç kabuğu küllü, atık cam parçalarının kullanılmasını araştırmışlardır. Hazırladıkları numunelere 3, 7, 28, 60 ve 90 günlük standart su kürü uygulamışlardır. Sonuçlar hem atık camın hem de pirinç kabuğu küllünün tüm harç örneklelerinde basınç dayanımı değerlerini iyileştirdiği ve hidrasyon süresini arttırdığı göstermiştir. Gözeneklilik ve su emme kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde azalmalar görölmüştür. Basınç dayanımında en fazla artış %5'lik pirinç kabuğu küllü numunede olmuştur.

Bu çalışmada, Bitlis yöresinde bims blok üretiminde kullanılan pomza taşı agregasından geriye kalan toz malzeme ile Bitlis-Güroymak ve Ahlat yöresinde kesme taş olarak yoğunlukla kullanılan ignimbirit atık tozları çimento ve dolayısı ile beton teknolojisinde puzolonik etkisi olup olmadığı ve dayanım-durabilite özellikleri belirlenmiştir.

2. Malzeme ve Metot

Deneyisel çalışmada Elazığ Çimenteaş Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42,5 N tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri ve standartta verilen sınır değerler Tablo 1'de sunulmuştur [17]. Çalışmada kullanılan atık toz malzemelerin kimyasal özellikleri ise Tablo 2' de verilmiştir. Kullanılan atık taş tozları çimento ile yer değiştirildiğinden malzeme boyutu olarak 63 µm'den geçen malzemeler seçilmiştir. Çalışmada harç oluşturmak için Limak Trakya Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiş olan CEN tipi standart deney kumu kullanılmış olup bu kumun tane büyüklük analiz raporu Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 1. CEN-1 42,5 Portland çimentosu özellikleri.

Analiz sonuçları	TİP I 42.5 N	TS EN 197-1:2002 [4]
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4	>= 20,0
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,0	62,5 >= X >= 42,5
SO ₃ (%)	2,6	<= 3,5
MgO (%)	2,1	<= 5,0
CI (%)	0,007	<= 0,1
Kızdırma Kaybı (%)	1,7	<= 5,0
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3	<= 5,0
Özgöl yüzey (cm ² /g)	3749	
Priz Başlancı (dakika)	161	>= 60,0
Priz Sonu (saat)	04:20	
Hacim Sabitliği (mm)	0,4	<= 10,0
Serbest Kireç (%)	0,5	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)		-
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29,6	-

Çimento, standart deney kumu ve atık toz malzemelerin deneyisel çalışmalarda kullanılacak miktarları hesaplanıp tüm malzemeler tek seferde ve optimum miktarda temin edilerek laboratuvar koşullarında saklanmıştır. İlk

olarak çalışmamıza uygun harç karışım hesapları yapılarak deneme karışımları dökülmüştür. Deneme harç karışımlarının uygunluğu çimento-harç yayılma tablası deney düzeneği ile tespit edilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan taş tozlarının kimyasal özellikleri.

İçerik	Açık Renkli Ahlat Taşı	Koyu Renkli Ahlat Taşı	Pomza Tozu	Güroymak Taşı
SiO ₂	64,01	64,05	69,08	62,30
Al ₂ O ₃	16,68	15,33	13,32	17,50
Fe ₂ O ₃	4,91	4,9	4,97	4,0
CaO	1,64	2	0,71	1,30
MgO	0,24	0,53	0,14	0,26
Na ₂ O	5,51	5,46	5,28	-
Diğer	7,01	7,28	6,5	14,16

Tablo 3. CEN standart kumu tane büyüklük dağılımı.

Tane Büyüklük Dağılımı Kare Göz Açıklığı (mm)	Standart	Analiz Sonuçları
2,00 mm	%0,00	%0,00
1,60 mm	%7 ± 5	%7,06
1,00 mm	%33 ± 5	%32,69
0,50 mm	%67 ± 5	%67,90
0,16 mm	%85 ± 5	%87,32
0,08 mm	%99 ± 1	%99,42
Rutubet	%0,20	%0,13

2.1. Taze harç deneyleri

Yayılma tablası deney düzeneği ile taze haldeki harcın su içeriğinin yani işlenebilirliğinin anlaşılması için yapılmıştır. İlgili Türk Standartları uyarınca [18,19] hazırlanan harç numuneleri kesik koni içerisine, önce yarısına kadar harç doldurularak özel çubuğuyla 15 kez şişlenmiş, aynı işlem koninin kalan yarısı içinde yapılarak doldurulmuştur. Deneyin uygulanması, koni kaldırıldıktan sonra aletin üst kısmının ancak belirli bir yüksekliğe kadar yükselip düşmesini sağlayan kolu, her iki saniyede bir düşüş yapacak şekilde 15 kez çevrilerek numunenin yayılması esasına dayanır [18]. Bu şekilde uygulama sonucu, yayılmış numunenin çapı farklı yerlerinden ölçülerek ortalaması alınmış ve tüm numunelerin aynı işlenebilirlik ile birbirine denk su içeriğinde olması sağlanmıştır. Daha sonra, harç numuneler 40x40x160 mm boyutlarındaki metal kalıplar içerisine yerleştirilerek otomatik şok masası yardımı ile hazırlanan tüm numunelerin eşit olarak kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sağlanmıştır. Otomatik kontrollü bu alet önceden ayarlanabilen düşüş sayısına dakikada 60 düşüş yapabilecek özelliğe sahiptir [20]. Bu çalışmada alete her kalıp için 10 düşüş yaptırılarak harç numunelerinin kalıba hava boşluğu kalmaksızın yerleşmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Kıvamları ve içerikleri belirlenen harç karışım içerikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Harç karışım içerikleri.

İçeriği	Çimento (gr)	Kullanılan toz (gr)	Kum (gr)	Su (gr)
Kontrol (K)	450	0	1350	250
%10 BPT	405	45	1350	250
%20 BPT	360	90	1350	249
%40 BPT	270	180	1350	247
%10 ATT	405	45	1350	250
%20 ATT	360	90	1350	248
%40 ATT	270	180	1350	245
%10 GTT	405	45	1350	250
%20 GTT	360	90	1350	246
%40 GTT	270	180	1350	245

2.2. Dayanım deneyleri

Ultrasonik ses geçirgenlik (USG) cihazı vasıtasıyla deney numunesine zarar vermeden dayanım özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Numune içerisine gönderilen ultrasonik ses dalgalarının, numunenin bir yüzünden diğer yüzüne ulaşana kadar geçen sürenin ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu dalga hızı ile numunenin basınç dayanım özellikleri elde edilmektedir [21]. Bu deney, kür süreleri dolan numunelerin mekanik deneylere tabi tutulmalarından önce uygulanmıştır. Deney sırasında numunenin bir ucundan gönderilen ses dalgalarının diğer uca ulaşmasına kadar geçen süre belirlendikten sonra dalga hızı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada; V ultrasonik ses dalgalarının hızı, S ses dalgalarının gönderildiği numunenin iki ucu arasındaki mesafe (m), t ses dalgalarının numunenin gönderildiği uçtan alındığı uca varıncaya kadar geçen zaman (mikro saniye) [7,8].

USG deneyi sonrasında numunelere öncelikle üç noktalı eğilme çekme deneyi uygulanmış ve sonrasında ise basınç mukavemeti deneyi uygulanmıştır. Burada birbirine paralel, aralarında 10 cm mesafe olan iki destek/mesnet mili üzerine, numunelerin pürüzsüz yüzeyi gelecek şekilde yerleştirilmiş prizmatik harç numuneler üzerine orta noktadan dik ve diğer millere paralel olarak gelen yükleme mili vasıtasıyla saniyede 50 N'luk yük uygulayacak şekilde yüklenmiştir. Deney aletindeki millerin çapı 10 mm'dir. Deney, numunenin kırılmasıyla sonuçlanmış ve bilgisayar vasıtasıyla kırılma anındaki eğilme çekme mukavemeti belirlenmiştir. Basınç mukavemeti deneyi, 2400 N/sn üniform yükle yüklenerek kırılmış ve maksimum gerilmeler kaydedilmiştir [22,23].

2.3. Durabilite deneyleri

Yüksek sıcaklık deneyi 90 günlük standart su kürüne tabi tutulmuş harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş olup, yüksek sıcaklık fırınında sırasıyla 200, 400, 600 ve 800°C'lerde sıcaklıklar uygulanmış ve sıcaklık uygulanmayan numuneler ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toplam deney süresi, hedef sıcaklığa tırmanma, hedef sıcaklıkta bekleme ve soğuma süresi olarak hesaplanmış ve 3 saat olarak belirlenmiştir. Deney sonrası soğuyan numunelerin önce USG deneyi ölçümleri alınmış, ardından eğilme çekme deneyi ve basınç deneyi yapılmıştır.

Donma-çözünme deneyinde 28 günlük standart kür yaşını dolduran harç numunelerine 90 gün boyunca donma-çözünme çevrimi uygulanmıştır. Deney standartlarda verilen döngü şartlarına uygun olarak ve tüm harç serileri için aynı şartlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir [24]. Donma-çözünme döngüleri, sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C'ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C'de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C'ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C'de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C'ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu şekilde 90 döngü uygulanmıştır. Deney süresi bittikten sonra uygulanan bu çevrim sonucu numunelerin yüksek sıcaklık deneyinde olduğu gibi USG deneyi sonuçlarına, eğilme çekme mukavemeti ve basınç mukavemeti sonuçlarına bakılmıştır. Bu sonuçlar da donma-çözünme çevrimi süresince kür havuzunda bekletilen ve donma-çözünme çevrimi uygulanmamış diğer numunelerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

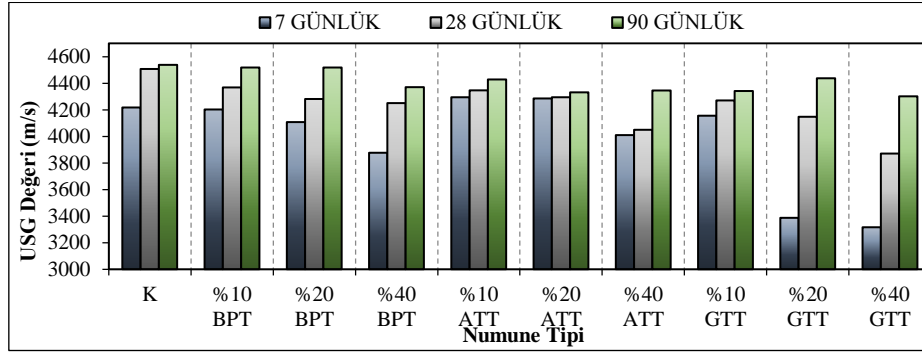
3. Bulgular ve Tartışma

Kür süreleri ve katkı tiplerine göre harç numunelerden elde edilen USG deney sonuçları Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1 incelendiğinde, elde edilen sonuçların basınç mukavemet sonuçlarını teyit eder nitelikte olduğu söylenebilir (Şekil 2). Burada kür yaşının artması ile doğal olarak her serinin kendi içinde ses hızının arttığı görülmektedir. Bu durum hazırlanan numunelerin normal şekilde mukavemet kazandığını ifade etmektedir. Numunelerin 7-90 gün kür süresince 3300-4550 m/sn arasında USG hızı sonuçları sergilediği görülmektedir. Bu sonuç ise, kaliteli bir numunenin hazırlandığını göstermektedir [21]. Katkı tiplerine göre USG sonuçları irdelendiğinde 28 güne kadar her katkı tipinde, katkı oranının artmasıyla USG hızında düşüş görülürken 90 gün kür sonrasında K (katkısız kontrol) serisine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Bu durum tüm katkı tiplerinin %20 katkı oranına kadar sergilenirken, %40'luk atık toz ilavesi her seri için

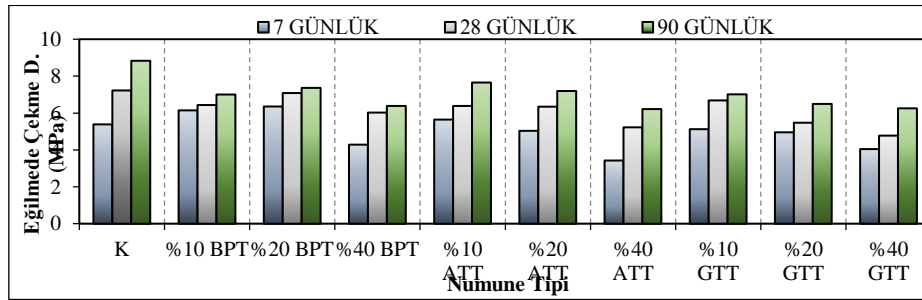
kontrole göre ortalama %4.4 oranında düşük çıkmıştır. USG hızı deneyinde, kullanılan atık tozlar açısından en iyi sonuçlar BPT numunelerinden alınırken en kötü sonuçlar ise ATT numunelerinden alınmıştır.

Tüm harç numunelerin eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarının birlikte sunulduğu Şekil 2 incelendiğinde, tüm harç numunelerinin kür süresinin artmasıyla mukavemetlerinde de normal olarak beklendiği şekilde artış gözlenmiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımını erken yaşlarda BPT katkılı numuneler gösterirken ileri yaşlarda ise K sergilemiştir. Ancak bu tip katkıların kullanıldığı harç numune serilerinde eğilme-çekme mukavemetinden ziyade basınç mukavemeti daha önemli olduğu için sonuçların basınç mukavemetinde daha farklı olması beklenmiştir. Katkılı numuneler kendi aralarında incelendiğinde kür süresinin standart artmasıyla beraber eğilme mukavemetlerinde doğrusal bir artış gözlenmiştir. Burada her katkı tipi birbirine yakın eğilmede çekme mukavemeti sergilemiştir. Bu ise olağan bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla kullanılan katkıların harç numunelerinin eğilmede çekme mukavemetlerinin aşırı derece artırıcı bir etkisinin olmadığı literatürden de bilinmektedir. Yine de sonuçlar kendi aralarında değerlendirildiklerinde 7 günlük yaş en yüksek eğilmede çekme mukavemetini BPT numuneleri göstermiştir. En önemli sonuç olarak %20 katkıya kadar bu tozların harç katkısı içinde kullanılabilmesi gözlenmiştir. Ayrıca yine her katkıli seri kendi içinde değerlendirildiğinde BPT serilerinde %20 ye kadar mukavemet artışı gözlenirken, ATT ve GTT miktarının harçlar içerisinde artışı ile ise eğilme mukavemetinde düşüş gözlenmiştir.

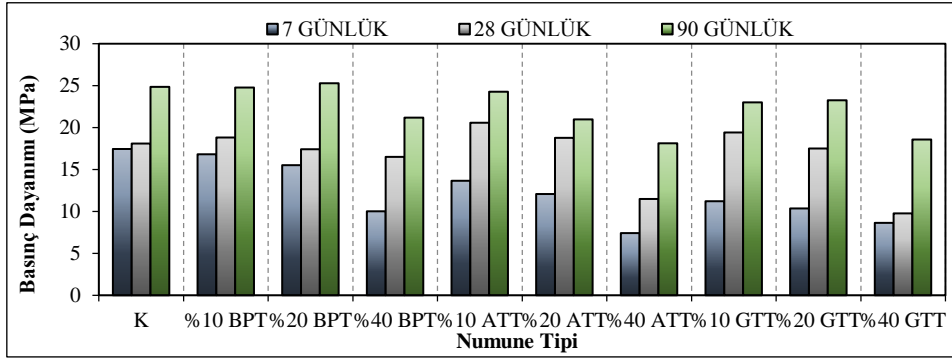
Basınç mukavemeti deney sonuçlarının birlikte sunulduğu Şekil 3 incelendiğinde harç numunelerinin kür süresinin artmasıyla basınç mukavemetinin de normal olarak arttığı gözlenmiştir. Basınç mukavemeti yönünden en yüksek sonuçlar BPT katkılı numunelerden elde edilmiştir. BPT sonuçları katkısız numunelerle karşılaştırıldığında %10 ve %20 BPT katkılı numunelerin kontrol numunelerine çok yakın basınç mukavemeti sergilediği gözlenirken özellikle %20 BPT katkılı seride 28 gün ve sonrası mukavemetlerinin katkısız numunelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu ise BPT katkısının puzolonik bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. %40 gibi yüksek bir oranda katılan BPT katkısının basınç dayanımı sonuçları erken yaşlarda çok düşük olmasına rağmen 28 ve 90 günlük yaşları katkısız numunelere oldukça yakın sonuçlar vermiştir. 90 günlük kür sonrası %40 BPT serisi kontrole göre yalnızca %14.7 oranında daha düşük çıkmıştır. ATT serilerinde ise %10 katkı ilavesi K serisine oldukça yakın mukavemet özellikleri sergilerken %20 katkı ilavesi K serisinden %15 kadar düşük çıkmıştır. Ancak GTT %20 katkı ilavesine kadar çimento içinde katkı maddesi olarak kullanılabilmesi söylenebilir.



Şekil 1. 7,28 ve 90 günlük numunelerin USG hızı deneyi sonuçları.



Şekil 2. 7,28 ve 90 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.

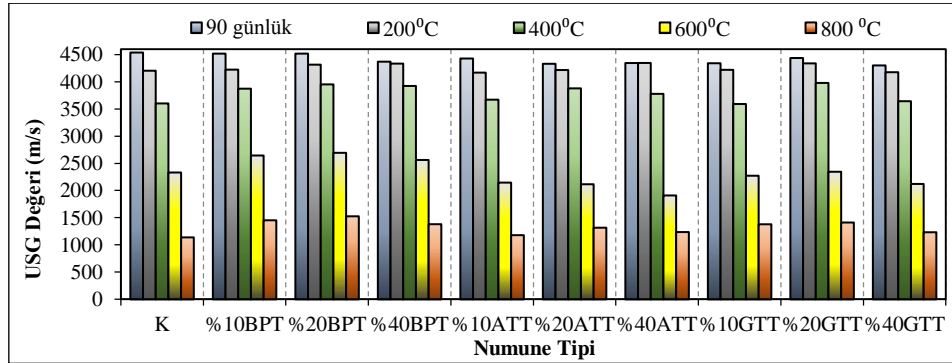


Şekil 3. 7, 28 ve 90 günlük numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları.

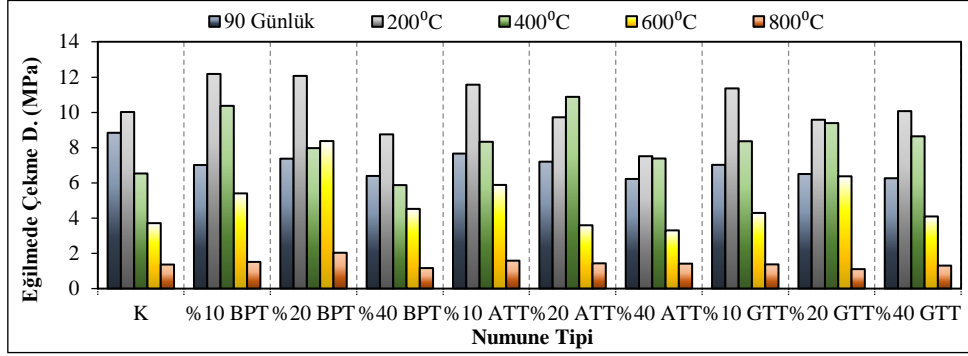
Yüksek sıcaklık deneyi sonrası elde edilen USG hızı sonuçlarının sunulduğu Şekil 4 incelendiğinde her tip harç için sıcaklığın artması ile hızlarda düşüş kaydedilmiştir. Bu sonuç uygulanan sıcaklığın artması ile içyapıda bozulmaların artmasını, çatlak oluşumu sebebi ile boşlukların geliştiği ve buna bağlı olarak mukavemetin zayıfladığını ortaya koymaktadır. Çünkü boşlukta ses geçiş hızı yavaşlamaktadır [21]. Yine de 200 °C sonrası elde edilen geçiş hızlarının her seri için kendi kontrolüne çok yakın olduğu söylenebilir. Bunun sebebi, 200 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde içsel bozulmaların yüksek seviyelerde olmadığı bir göstergesi olarak açıklanabilir. Şekil 4'te en dikkat çekici sonuç BPT katkılı serilerin yüksek sıcaklıklarda daha iyi sonuçlar sergilediğidir. Bu da bir volkanik boşluklu malzeme olarak pomzanın varlığına bağlanabilir.

BPT katkılı tüm harç numunelerinin yüksek sıcaklık deneyi sonuçları eğilme çekme dayanımı yönünden Şekil 5'te incelendiğinde 200 °C sonrasında bütün numuneler kendi kontrol numunesinden daha fazla çıkmıştır. Sıcaklığın artmasıyla beraber numunelerin eğilme çekme dayanımında düşüş gözlenmektedir. Burada 800 °C'de en düşük eğilme dayanımı ölçülmüştür. ATT katkılı numunelerin sonuçları incelendiğinde, burada pomza katkılı numunelerden farklı olarak 400 °C'de halen %20 ATT katkılı numunenin eğilme çekme dayanımının kendi türündeki kontrol numunesinin dayanımından fazla olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde sıcaklığın 600 ve 800 °C'ye çıkmasıyla beraber eğilme dayanımlarında keskin düşüşler olmuş ve kontrol numunelerinden çok daha az eğilme mukavemeti göstermişlerdir. GTT numuneleri ise, diğer tüm numunelere benzer özellik gösterecek şekilde 200 °C'de kontrol numunesinden daha fazla, ancak 400, 600 ve 800 °C'lerde giderek azalan eğilme çekme mukavemeti göstermiştir.

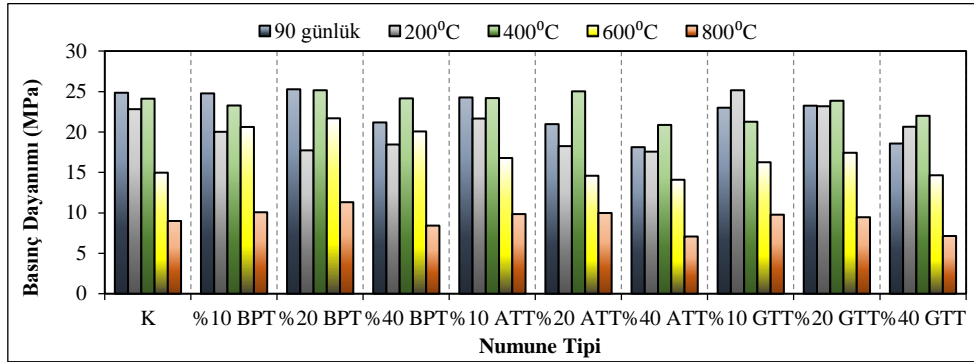
Sıcaklıkların artmasıyla beraber kendi içinde tüm numunelerin basınç mukavemetlerinde düşüş görülmektedir (Şekil 6). Basınç mukavemeti deneyi sonuçlarında 200 °C BPT ve ATT katkılı numunelerin basınç mukavemetleri kontrol numunelerinden daha düşük olduğu gözlenmektedir. GTT katkılı numuneler 200 °C'de kontrol numunesine yakın mukavemetler göstermiştir. Tüm seriler 400 °C'ye kadar kendi kontrollerine yakın mukavemet özellikleri sergilerken özellikle 600 °C ile birlikte basınç mukavemeti sonuçlarında ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Basınç mukavemeti yönünden ilginç sonuçlardan biri de, her serinin 600 ve 800 °C sıcaklıklardaki mukavemet sonuçları incelendiğinde %20 katkı kullanımına kadar artış olduğu ve her serinin %40 katkı oranına sahip üyesinin ise K serisi ile benzer mukavemet özelliği sergilediği görülmektedir.



Şekil 4. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası USG hızı deneyi sonuçları.

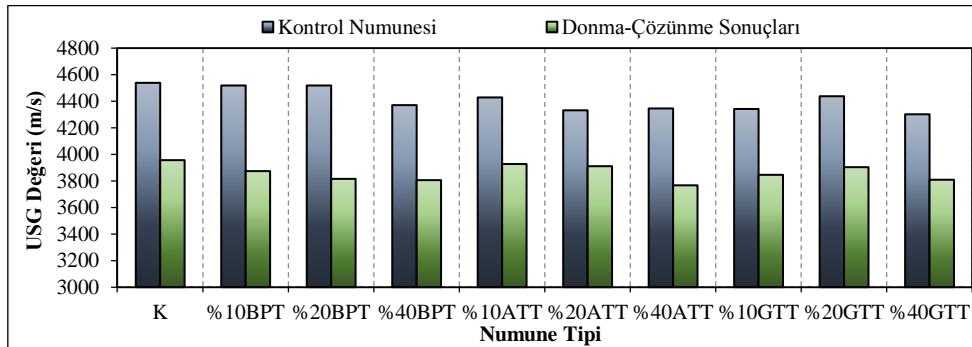


Şekil 5. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.

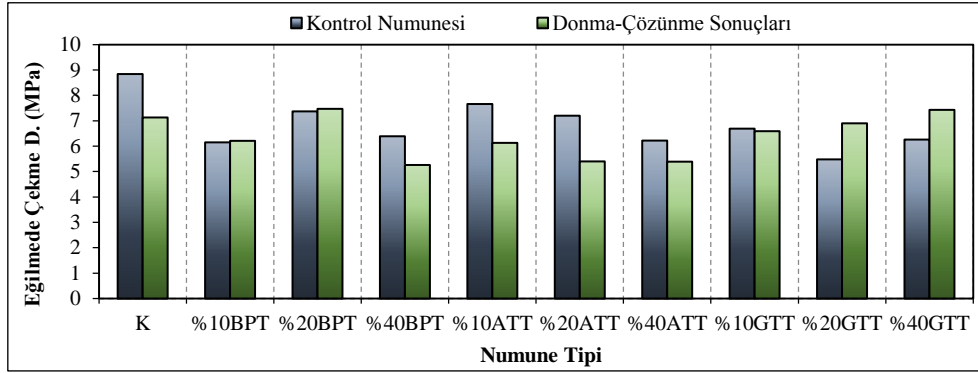


Şekil 6. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları.

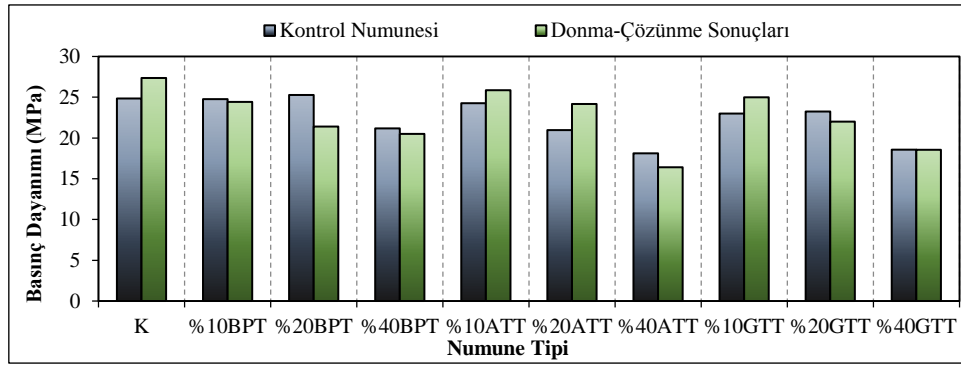
Şekil 7’de donma-çözünme çevrimi uygulanan harç numunelerinin USG deneyi sonuçları, kendi kontrol numunelerine kıyasla daha az olduğu gözlenmektedir. Eğilmede çekme deneyi sonuçları (Şekil 8) incelenecek olursa %10 ve %20 BPT katkılı harçların kendi kontrol numunesinden daha fazla eğilmede çekme dayanımına sahip olduğu görülür. Aynı şekilde tüm GTT katkılı numuneler de kontrol numunesinden daha fazla dayanım göstermiştir. Basınç deneyi sonuçlarından da %10 ATT, %20 ATT ve %10 GTT katkılı harç numunelerinin kontrol numunesine kıyasla daha fazla basınç mukavemetine sahip olduğu görülür (Şekil 9). Diğer numuneler ise kontrol numunesinin basınç mukavemetinden daha az olmakla beraber yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum volkanik kökenli bu taş tozlarının harç numuneler içerisinde kullanılmasının pozitif bir etki doğurduğunu ve bu taş tozlarını belli oranlarda içeren numunelerin donma-çözünme deneylerinin negatif tesirinden yüksek oranda etkilenmediğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda normal kür şartlarına sahip tüm numunelerin katkı oranının artış göstermesi ile mekanik özelliklerde düşüşün gözlenmesine rağmen donma-çözünme deneyi sonrası ise mekanik özelliklerde iyileşme söz konusudur.



Şekil 7. Donma-çözünme deneyi sonrası USH hızı deneyi sonuçları.



Şekil 8. Donma-çözünme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.



Şekil 9. Donma-çözünme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları.

4. Sonuç

Bu çalışmada Bitlis yöresi endüstriyel atık toz malzemeleri ile 300 adet harç numunesi üretilmiş bu numuneler 7, 28 ve 90 gün kür edilerek dayanım özellikleri belirlenmiş ve aynı zamanda yüksek sıcaklık ve donma-çözünme deneyleri uygulanarak durabilite özellikleri belirlenmiştir.

Çimento yerine %20 oranına kadar kullanılan atık tozların çimento ile benzer dayanım ve durabilite özellikleri sergilediği belirlenmiştir. Bu atık toz katkıların %40 gibi yüksek bir oranda kullanımında ise basınç dayanımı yönünden ortalama her seride %14.7 düşüş gözlenmiş, ancak çimento miktarının %40 oranında eksiltilecek bunun yerine doğada atık olarak bulunan malzemelerin ikame edilmesi, çimento ekonomisi sağlayacağı gibi, atık malzemelerin de yüksek oranda tekrar endüstriye kazandırılması ile bertaraf edilmesi sağlanacağından bu oranda bir düşüşün göz ardı edilebileceği sonucunu doğurmaktadır.

Durabilite çerçevesinde, yüksek sıcaklık deney verilerinden elde edilen genel sonuç bu katkıların kullanımının yüksek sıcaklık açısından kullanımının pozitif etkiye sahip oluşudur. Bazı serilerin 200 °C sonrası elde edilen mukavemet değerleri hariç olmak üzere kullanılan katkıların tamamının K serisi ile benzer mukavemet özellikleri sergilediği görülmüştür. Aynı zamanda BPT serilerinin K serisinden daha iyi yüksek sıcaklık dayanımları sergilediği belirlenmiştir.

Donma-çözünme deneyi açısından durabilite özellikleri incelendiğinde ise, eğilmede çekme mukavemeti açısından her katkı seri K serisinden daha düşük sonuçlar sergilemesine rağmen; her katkı seri çevrime katılmamış olan kendi serisine çok yakın ve hatta bazı serilerde daha üstün özellikler sergilemiştir. Bu durum basınç dayanımı verilerinde kendini daha iyi göstermekle beraber K serisine oldukça yakın sonuçlar sağlanmıştır.

Bu çalışma neticesinde özellikle BPT serilerinde kullanılan atık pomza taşı tozunun puzolanik etkisinin diğerlerinden daha üstün olduğu belirlenmiştir. Genel olarak çalışmada kullanılan tüm bu atıkların çimento yerine ikamesi ile çimento tasarrufu ve çevre dostu üretim sağlamanın yanında katkısız kullanıma oranla oldukça iyi (bazı katkı oranlarında daha iyi) dayanım ve durabilite özellikleri sağlanabileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Yazıcıoğlu S, Demirel B. Puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında beton basınç dayanımına etkisi. Fırat Üni. Fen ve Müh. Dergisi 2006; 18(3): 367-374.
- [2] Erdal M, Şimşek O. Ahlat taşı (ignimbrit) atıklarının taşunu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Politeknik Dergisi 2006; 14(3): 173-177.
- [3] Tolğay A, Yaşar E, Erdoğan Y. Nevşehir pomzasının agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 2014 İzmir.
- [4] Khyaliya R K, Kabeer S A, Vyas A K. Evaluation of strength and durability of lean mortar mixes containing marble waste. Construction and Building Materials 2017; 147: 598–607.
- [5] Matos A M, Sousa-Coutinho J. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. Construction and Building Materials 2012; 36: 205–215.
- [6] Kallel T, Kallel A, Samet B. Durability of mortars made with sand washing waste. Construction and Building Materials 2016; 122: 728-735.
- [7] Lu J, Duan Z, Poon C. Fresh properties of cement pastes or mortars incorporating waste glass powder and cullet. Construction and Building Materials 2017; 131: 793-799.
- [8] Ez-Zaki H, El Gharbi B, Diouri A. Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders. Construction and Building Materials 2018; 159: 198–204.
- [9] Lu J-X, Poon C S. Use of waste glass in alkali activated cement mortar. Construction and Building Materials 2018; 160: 399–407.
- [10] Kabeer K I S A, Vyas A K. Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes. Construction and Building Materials 2018; 165: 321–332.
- [11] Dang J, Zhao J, Hu W, Du Z, Gao D. Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. Construction and Building Materials 2018; 166: 898–907.
- [12] Xu S, Wang J, Jiang Q, Zhang S. Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures. Journal of Cleaner Production 2016; 119:118-127.
- [13] Norambuena-Contreras J, Quilodran J, Gonzalez-Torre I, Chavez M, Borinaga-Trevino R. Electrical and thermal characterisation of cement-based mortars containing recycled metallic waste. Journal of Cleaner Production 2018; 190: 737-751.
- [14] Šimonová H, Zahálková J, Rovnaníková P, Bayera P, Keršnera Z, Schmid P. Mechanical fracture parameters of cement based mortars with waste glass powder. Procedia Engineering 2017; 190: 86 – 91.
- [15] Gil H, Ortega H, Perez J. Mechanical behavior of mortar reinforced with sawdust waste. Procedia Engineering 2017; 200: 325–332.
- [16] Younes M M, Abdel-Rahman, Khattab M.M. Utilization of rice husk ash and waste glass in the production of ternary blended cement mortar composites. Journal of Building Engineering 2018; 20: 42–50.
- [17] TS EN 197-1 Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2018.
- [18] TS EN 1015-3 Kagir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile). Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2000.
- [19] TS EN 459-2 Yapı kireci - Bölüm 2: Deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2012.
- [20] Güner M S. Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi. İstanbul: Aktif Yayınevi, 2012.
- [21] Erdoğan T. Beton. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ, 2003.
- [22] TS EN 196-1 Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2016.
- [23] Şimşek O. Yapı Malzemesi-II. İstanbul: Seçkin Yayıncılık, 2016.
- [24] TSE, CEN/TR 15177, 2011. Betonda donma-çözünme direncinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Metal Matrisli Al₂O₃/Al-Mg Kompozitinin Yoğunluğunun Üretim Parametrelerine Bağlı Olarak Değişimi

Gül TOSUN^{1*}, Mehmet KURT²

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

² Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

^{1*} gultosun@firat.edu.tr, ² mehmetkurt_27@myynet.com

(Geliş/Received: 27/01/2018;

Kabul/Accepted: 15/12/2018)

Özet: Metal matrisli kompozit malzemeler üstün mekanik özellikler ve düşük ağırlıklarından dolayı birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemelerden biri de alüminyum matrisli kompozitlerdir. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerinden biri olan toz metalürjisi yöntemi, sürecin basitliği, düşük maliyeti ve yüksek mekanik özellikler elde edilmesi nedeni ile daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, farklı hacim oranlarında (%15-%30) mikro boyutta Al₂O₃ partiküllerin Al-Mg matrisine eklenerek, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Al-Mg/Al₂O₃ kompozitlerin yoğunluk ve mikro yapı karakterizasyonu araştırıldı. Hazır olarak temin edilen tozlar, homojen karışımının sağlanması amacıyla, torna tezgâhında 16 dev/dak hızında 24 saat süre ile karıştırıldı. Karıştırılan tozlar 300 ve 600 MPa basınç altında preslendi. Farklı basınçlardaki üretilen kompozit malzemeler 300, 400 ve 500°C sıcaklıklarda, 30, 60 ve 90 dak sinterleme işlemine tabi tutularak fırın içerisinde soğumaya bırakıldı. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elektron dağılım spektroskopu (EDX) ile gerçekleştirildi. En yüksek yoğunluk, 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500°C sinterleme sıcaklığı ve 30 dak. sinterleme süresinde üretilen hacimce % 15 Al₂O₃ içeren kompozitlerde, 0.93 olarak elde edildi.

Anahtar kelimeler: Metal matrisli kompozit, Al-Mg, Al₂O₃, yoğunluk.

The Density Variation of Metal Matrix Al₂O₃ / Al-Mg Composite Depend on Production Parameters

Abstract: Due to its superior mechanical properties and low weight, metal matrix composite (MMC) materials are widely used in many industries. One of these materials is aluminum matrix composites. Powder metallurgy method being one of the manufacturing methods of aluminum matrix composites is preferred because of the simplicity of the process, low cost and high mechanical properties. In this study, the composite materials were investigated characterization of Al-Mg/Al₂O₃ composites which added micro-sized Al₂O₃ particles at different volume ratios (%15-%30) to Al-Mg matrix by using powder metallurgy method. Powders which are available as ready were mixed for 1 day at a speed of 16 rpm to form a homogeneous dispersion. The mixed powders were pressed under 300 and 600 MPa pressure. Composite materials produced at different pressures were subjected to sintering for 30, 60 and 90 min at temperatures of 300,400and 500°C and allowed to cool in the oven. The properties such as density, microstructure of Al-Mg/Al₂O₃ composites were investigated and characterized. Investigations of SEM, EDX, optic microscopy of specimens are made. Maximum porosity is measured as 0.93 at produced 300 MPa cold pressure, 500°C sintering temperature and 30 min. sintering temperature with % 15 Al₂O₃ composite.

Key words: Metal matrix composite, Al-Mg, Al₂O₃, density.

1. Giriş

Hızla gelişen teknoloji, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır [1]. Teknolojik olarak ileri endüstrilerde kullanılan malzemelerde yüksek mukavemet ve hafiflik istenen en önemli taleplerdir [2]. Bu amaçla, aynı ya da farklı guruplardan iki veya daha çok malzemenin özelliklerini bir araya getirerek, yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla kompozit malzemeler oluşturulmuştur [3]. Özellikle Alüminyum Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler; uzay ve uçak sanayisinde, otomotiv endüstrisinde (piston, motor parçaları, fan ve kompresörde), spor ve deniz malzemelerinde; hafiflik, rijitlik, ısı direnci, yüksek mukavemet ve aşınma direnci gibi birçok özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur [2,4-7]. MMK malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan teknikler toz metalürjisi, eriyik emdirme, basınçlı döküm, karıştırma döküm, bilyeli öğütme, mekanik alaşımlama ve yarı-katı karıştırma [8-10]. Bu yöntemlerden toz metalürjisi yöntemi, sürecin basitliği, düşük maliyeti ve yüksek mekanik özellikler elde edilmesi nedeni ile daha çok tercih edilmektedir [2].

* Sorumlu yazar: gultosun@firat.edu.tr, Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-8828-827X, ²0000-0001-5021-7601

Bajpai vd. [2] yaptıkları çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile alüminyum metal matrisini farklı ağırlıklara sahip nano SiC'ler ile takviyelendirerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Al-Nano SiC kompozitlerinin gerilme mukavemeti, basma mukavemeti ve sertliği ağırlıkça % 2'ye kadar yükselmektedir ve daha sonra ağırlıkça % 3 oranında azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni, nano SiC parçacıklarının daha yüksek ağırlık yüzdesi ile kümelenmesidir (aglomerasyon). Rashad vd. [11] yaptıkları çalışmada, Mg-3Al-Zn alaşımının mekanik özelliklerine Al₂O₃ ve SiC parçacıklarının etkisini araştırmış ve Mg-3Al-Zn- matrisine (1.5Al₂O₃-xSiC) takviyeleri ilave edilerek toz metalürjisi yöntemi ile kompozitleri üretmişlerdir. Kompozitler, gerilme ve basma yüklemelerinde %0.2'lik bir akma mukavemeti göstermiştir. Bileşiklerin mikro sertliği (Vickers sertliği, Hv) takviye parçacıklarının içeriği arttıkça artmıştır. Isıl işlem görmüş numunelerde, güçlendirilmiş kırılma gerilmesi ve az miktarda artmış mikro sertlik, % 0.2 gerilme mukavemeti dayanımı elde edilmiştir. Reddy vd. [12] yaptıkları çalışmada, nano boyutlu SiC parçacıklarının alüminyum alaşımlı matrise eklenmesinin, nano kompozitlerin üstün mekanik ve fiziksel özelliklerini ve ara yüzey özelliklerini artırdığını gözlemlemişlerdir. Mikroyapısal değerlendirmede ise, nano SiC'nin metal matriste dağılımının düzgün bir şekilde dağılmasının yanı sıra ara yüzdeki parçacık ve matris arasında kuvvetli bir bağ oluşturduğunu göstermiştir. Rashad vd. [13] yaptıkları çalışmada, saf Mg elementine mikro boyutta titanyum ve alüminyum ekleyerek toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretmiştir. Takviyenin değişmesiyle mikroyapı, mekanik özelliklerdeki ve çalışma sertleşmesindeki değişimler incelenmiştir. Mg-10Ti-1Al kompozitinin yüksek kırılma uzaması göstermesinin Al alaşımlama elementinin varlığından dolayı Mg ve Ti partiküllerinin daha iyi uyum göstermesine bağlanılmıştır.

Salvador vd. [14] yaptıkları çalışmada ise toz metalürjisi yöntemini kullanarak alüminyum alaşımını Ti-Al ile takviyelendirerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen kompozite 530°C'de 1, 6, 12, 24 saat yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak maksimum mukavemeti ve uzaması incelenmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi ile takviye tanelerinde irileşme olduğu gözlemlenmiştir. Maximum çekme mukavemeti takviye oranının artmasıyla yavaş bir şekilde artmıştır. Wang vd. [15] yaptıkları çalışmada, Al matrisli kompozite whisker ve partikül şeklindeki MgAl₂O₄ ile takviyelendirerek Al esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Takviye içeriği arttırıldıkça kompozitin sertliği, mukavemeti artmış, uzaması ise azalmıştır. Özer [16] yaptığı çalışmada ise Alüminyum matrise %5-10-15 oranında B₄C partikülleri eklenerek kompozit malzeme üretimi yapılmış, üretilen numunelerin yoğunluk, sertlik, mikroyapı analizi, üç noktalı eğme testi ve kırık yüzeyleri incelenmiştir. %10 B₄C takviyeli numunenin en yüksek basma mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Zhang vd. [17] yaptıkları saf Al içerisine %10 Mg ekleyerek toz metalürjisi yöntemiyle Al esaslı kompozit üretimi yapmışlardır. Mikroyapı incelemeleri ile beraber mekanik testleri yapılmış ve kırık yüzeyler incelenmiştir. Kırık yüzeylerde cleavage kırılma modelinin etkin olduğu görülmüştür. Guobin vd. [18] ise, cam partikül takviyeli Al-mg kompozitini 600°C'de 30 dakika sinterleme yaparak üretmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı hacim oranlarında (%15-30) mikro boyutta Al₂O₃ partiküllerin Al-Mg matrisine eklenerek, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Al-Mg/Al₂O₃ kompozit üretilmiştir. Al esaslı kompozite göre daha hafif bir kompozit elde edilmesi amacıyla, matris olarak Al'a Mg ilave edilerek, Al-Mg matris seçildi. Magnezyumun hafif, titreşimleri ve sesi sönmüleme özelliğine sahip olması nedeniyle, üretilen kompozitin de aynı özelliklere sahip olması beklenmektedir [19]. Yaptığımız çalışmada şimdiye kadar kullanılmamış farklı hacim oranlarında Al₂O₃ partiküllerle takviyelendirilmiş Al-Mg kompoziti, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi gibi literatürde kullanılmamış farklı üretim parametrelerinde toz metalürjisi ile üretilmiş olup, yoğunluk ve mikroyapı incelenmesi yapıldı.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile farklı hacim oranlarına sahip Al₂O₃ partikül takviyeli Al-Mg metal matrisli kompozit üretilmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit üretiminde matris malzemesi olarak 1 mikron boyutunda Al ve Mg tozları, takviye malzemesi olarak ise 1 mikron boyutunda hacimce %15 ve %30 oranlarında Al₂O₃ tozları kullanılmıştır. Tozlar hazır olarak Nanografi firmasından temin edilmiştir. Kompozit üretiminde kullanılan tozların özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Al-Mg matris, ağırlıkça % 92.5 Al ve %7.5 Mg'dan oluşmaktadır. Tozların homojen karışımının sağlanması amacıyla, torna tezgâhında 16 dev/dak hızında 24 saat süre ile karıştırıldı. Hazırlanan toz karışımları, tek eksenli olarak 300 ve 600 MPa basınç altında Hidroliksan marka hidrolik pres kullanılarak Φ12 mm çapında bir kalıpta preslendi. Preslenmiş numuneler 30, 60 ve 90 dak sürelerde, Protherm marka yüksek sıcaklıklara dayanıklı sinterleme fırını kullanılarak 300, 400 ve 500°C sıcaklıklarda sinterleme işlemine tabi tutuldu. Deney şartları faktöriyel tasarıma uygun olarak

belirlenmiştir. Faktöriyel denemede deneysel planı oluştururken her faktör belirlenen seviyelerde alınır. Bu çalışmada, sinterleme sıcaklığı ve süresi 3, presleme basıncı ve takviye oranı 2 seviye olmak üzere 3x3x2x2=32 farklı deney kombinasyonunda deneyler yapılmıştır. Her bir deney 4 defa tekrar edilerek insan kaynaklı hatalar minimize edildi.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozlara ait özellikler

Özellik	Al	Mg	Al ₂ O ₃
Toz safiyeti (%)	99.97	99.70	99
Yoğunluk (g/cm ³)	2.71	1.7	3.95
Erime sıcaklığı (°C)	660	650	2072
Sertlik (HV)	20	28	880

Numunelerin ağırlıkları 0.001 gr hassasiyetli Radwag marka hassas terazi ile belirlendi. Numunelerin sinterleme sonrası ölçülen yoğunluklarının belirlenmesinde Arşimet prensibinden faydalanıldı. Numunelerin teorik yoğunlukları karışım kanununa göre belirlendi (Eşitlik 1).

$$d_g = \left(\frac{W_k}{W_k - W_a} \right) * p \quad (1)$$

Burada, d_g görünür yoğunluğu, W_k numunenin havadaki ağırlığı, W_a numunenin sudaki ağırlığı ve p ise saf suyun 25°C deki yoğunluğudur (0.998 gr/cm³).

Numunelerin relatif yoğunluk değerleri ise 2 no.lu eşitlik ile hesaplandı.

$$d_r = \left(\frac{d_g}{d_t} \right) * p \quad (2)$$

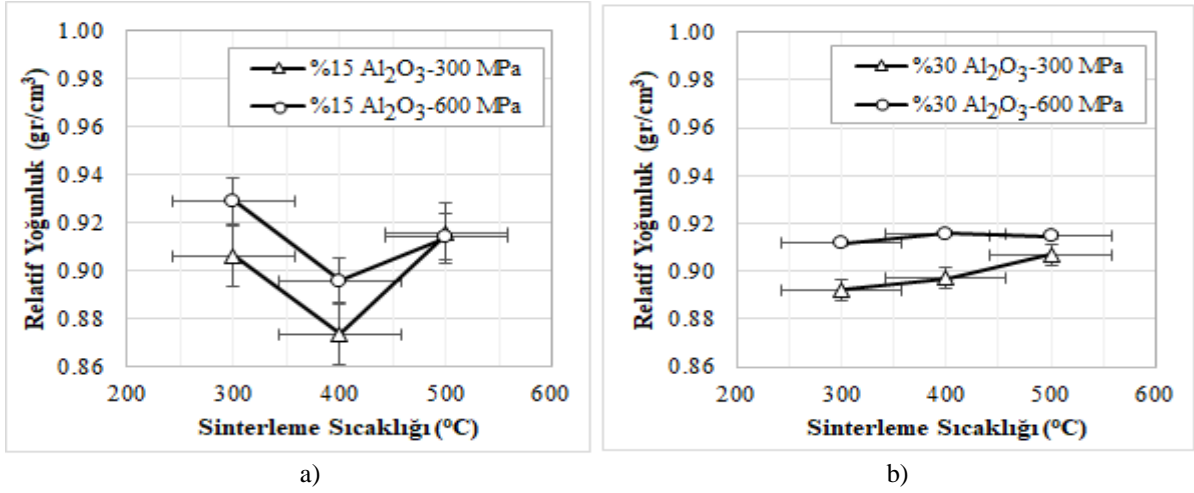
Burada, d_r relatif yoğunluk, d_g görünür yoğunluk ve d_t ise teorik yoğunluktur. Sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop ve SEM’de mikroyapı incelemelerinin yapılabilmesi için 600, 800, 1000 ve 1500 meşlik zımparalar ile zımparalandı. Daha sonra 3 µm’lik elmas solüsyon ile parlatılan numuneler Keller çözeltisi (2 ml HF – 3 ml HCl – 5 ml HNO₃ - 190ml saf H₂O) ile dağlandıktan sonra mikroyapı görüntüleri alındı. Mikroyapı incelemelerinde Nikon MA-100 markalı Optik mikroskop ve Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu kullanıldı.

3. Deneysel Sonuçları ve Tartışma

Toz metalürjisi ile üretim yönteminin son aşaması olan sinterleme işlemi sonrası parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarı, malzemenin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine etkiler [15,20]. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı çok önemlidir. Sinterleme sırasında parça boyutlarında değişiklik istenmez, boşlukların giderilmesi için sinterleme esnasında katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar, hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir [21-23]. Farklı üretim parametreleri kullanılarak üretilen Al₂O₃/Al-Mg kompozitlerin yoğunluklarının sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine bağlı olarak değişimi Şekil 1 ve Şekil 2’de görülmektedir.

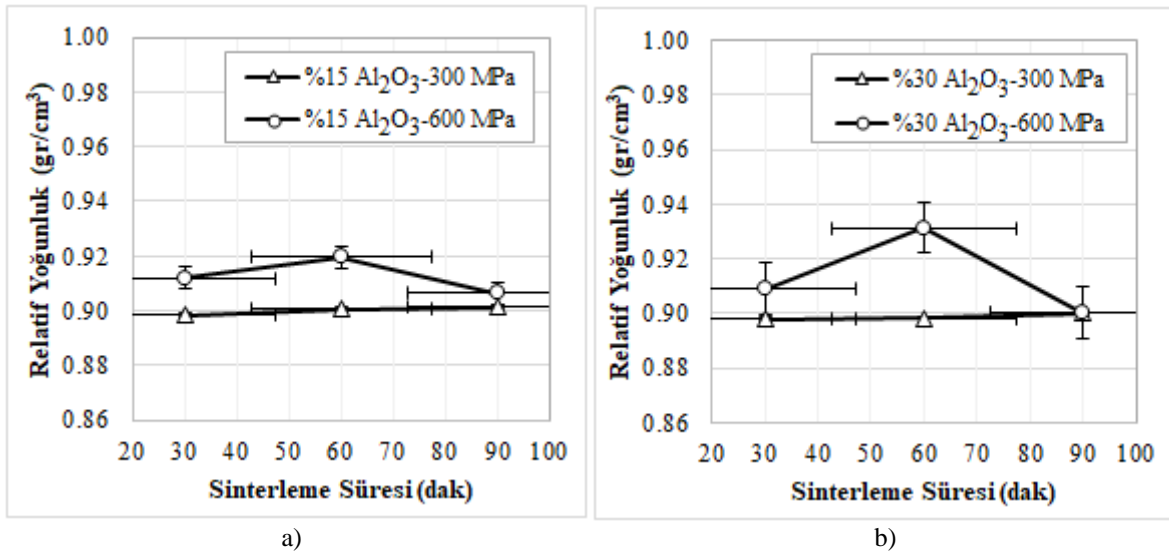
%15 Al₂O₃ içeren kompozitlerde tüm presleme basınçları için (Şekil 1), sinterleme sıcaklığının 300°C’den 400°C’ye artırıldığında, relatif yoğunluk %3.55 azalırken, 400°C’den 500°C’ye artırıldığı zaman ise yoğunluk 300 MPa presleme basıncında % 4.73 ve 600 MPa presleme basıncında ise %2 artmıştır. %30 Al₂O₃ içeren kompozitlerde ise sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluğun arttığı Şekil 1’de görülmektedir. 300 MPa presleme basıncında sinterleme sıcaklığı 300°C’den 400°C’ye artırıldığı zaman yoğunluk %0.55, sinterleme sıcaklığı 400°C’den 500°C’ye artırıldığı zaman ise % 1 artmıştır. 600 MPa presleme basıncında ise, sinterleme sıcaklığı 300°C’den 400°C’ye artırıldığı zaman yoğunluk %0.45, sinterleme sıcaklığı 400°C’den 500°C’ye artırıldığı zaman da yoğunluk %0.11 arttı. Sinterleme sıcaklığının artması sinterleme olayı kolaylaştıracağı için daha yoğun numuneler elde edilir [24]. Tüm Al₂O₃ takviyeli kompozitlerde, 300 MPa soğuk presleme basıncı ile üretilen numunelerde sinterleme süresinin herhangi bir etkisi gözlenmez iken, 600 MPa presleme basıncında üretilen kompozitlerde sinterleme süresi 30 dak’dan 60 dak’ya artırıldığı zaman, yoğunluğun %2 arttığı ve sinterleme

süresi 60 dak'dan 90 dak'ya artırıldığı zaman ise yoğunluğun %2 azaldığı tespit edilmiştir. Presleme basıncı düşük olduğu zaman (300 MPa) tozlar arası mesafe fazla olduğu için sinterleme süresinin uzamadığı, tozlar arası bağ oluşumuna herhangi bir olumlu katkı sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Kompozitteki Al₂O₃ partiküllerin yüksek sertliğe sahip olması (880 HV) neticesinde sıkıştırılabilirliğin zayıf olmasına ve yoğunluktaki düşüşün ise toz yüzeylerinde oluşması muhtemel oksitlere dayandırılabilir [21]. Çünkü uzun alaşımlama işlemleri koruyucu gaz atmosferi altında yapılmış olsa dahi, toz yüzeylerinde oksitlenmeler oluşabilmekte ve bu oksitler kompozitlerde düşük yoğunluk, nispeten yüksek gözeneklilik oluşturmaktadır [22, 23]. 600 MPa basınçta üretilen numuneler için 60 dak sinterleme süresi Threshold (eşik) süredir. Bu süreye kadar sinterlemeye tabi tutulan numunelerin yoğunlukları artmış, bu sürenin üzerindeki herhangi bir sürede ise yoğunlukta düşme görülmüştür. Gözeneklilik değerindeki artış toz yüzeylerinde oluşması muhtemel oksitlerden kaynaklanmaktadır. Aynı durumdan Karabulut ve arkadaşları [24] yapmış oldukları çalışmadan bahsetmişlerdir.



Şekil 1. Relatif yoğunluğun sinterleme sıcaklığı ve basıncı ile değişimi a) %15 Al₂O₃ b) %30 Al₂O₃

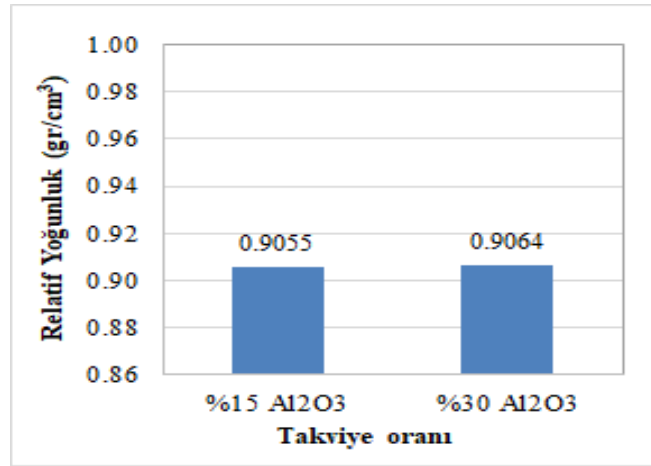
Al₂O₃/Al-Mg kompozitlerinde soğuk presleme basıncı arttıkça, kompozitin yoğunluğu artmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3). Presleme işlemi esnasında tozlara uygulanan basınç tozlar arasındaki mesafeyi belirler. Tozlar ne kadar yüksek basınç ile preslenirse o kadar sıkışır, birbirlerine temas eden noktaları artar ve birbirine yaklaşır. Zamanla her temas eden noktadan bir boyun gelişir.



Şekil 2. Relatif yoğunluğun sinterleme süresi ve basıncı ile değişimi a) %15 Al₂O₃ b) %30 Al₂O₃

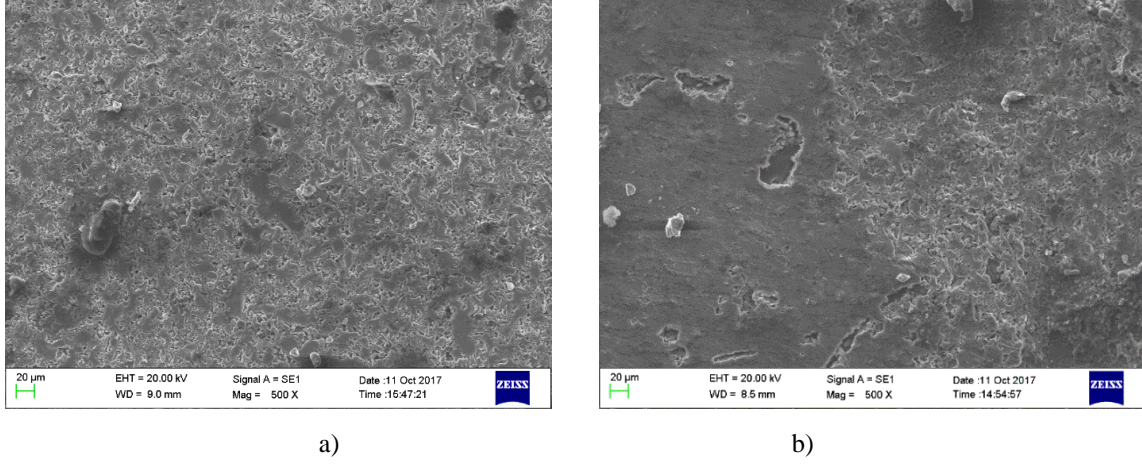
Temas noktalarının artması sinterleme işlemi esnasında meydana gelecek boyunların da artmasına sebep olur. Böylece tozlar arasındaki boşluklar difüzyon yoluyla daha rahat doldurulur. Yani daha rahat sinterleme işlemi meydana gelerek, yüksek yoğunluğa sahip bir ürün elde edilir. Hacimce %15 Al₂O₃ içeren kompozitlerde maksimum yoğunluk 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500°C sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme süresinde üretilen numunede elde edilmiş olup 0.93'dir. Minimum yoğunluk ise 300 MPa basınç, 400°C sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.86 olarak elde edilmiştir. Hacimce %30 Al₂O₃ içeren kompozitlerde ise; maksimum yoğunluk 600 MPa soğuk presleme basıncı, 500°C sinterleme sıcaklığı ve 60 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.93 olarak elde edilmiş, minimum yoğunluk ise 300 MPa basınç, 300°C sinterleme sıcaklığı ve 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.85 olarak elde edilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde, takviye oranı arttıkça kompozitin yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde, kompoziti oluşturan matris ve takviye malzemelerinin özellikleri, hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye malzemesinin şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yoğunlaşması etkili olmaktadır.



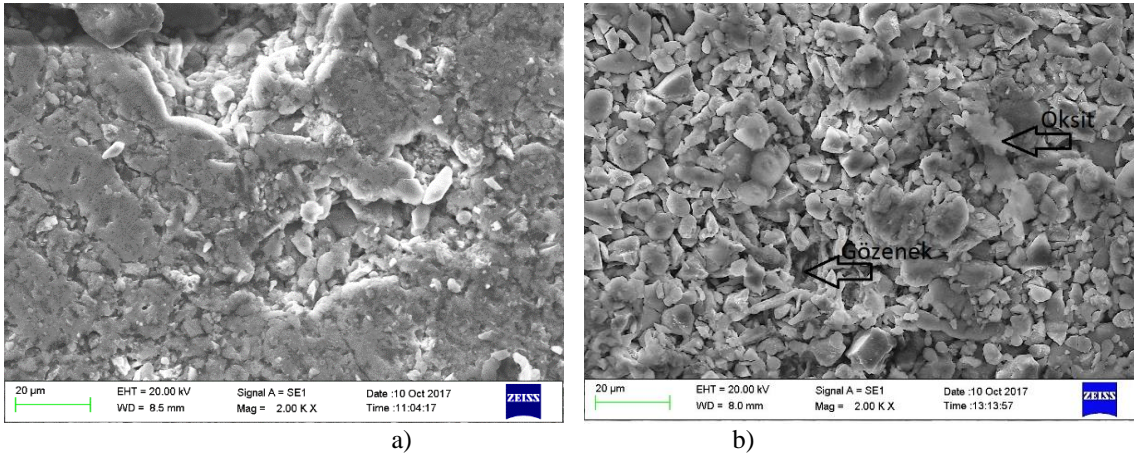
Şekil 3. Relatif yoğunluğun takviye oranı ile değişimi

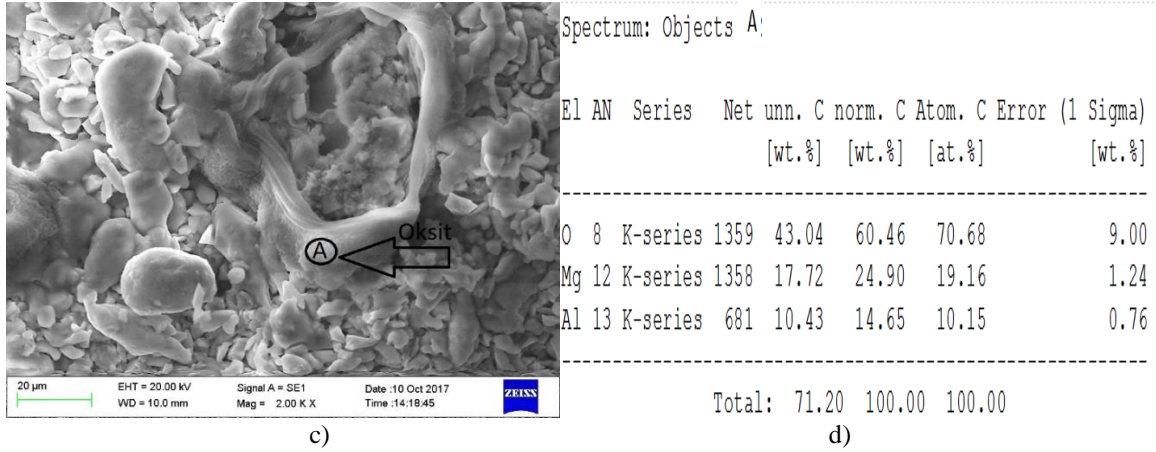
Matris-takviye ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri, homojenliği kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler [25,26]. %15Al₂O₃ ile takviyelendirilmiş Al-Mg kompozitinin SEM görüntüleri Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, sinterleme sıcaklığı 300°C iken homojen bir dağılımın, sinterleme sıcaklığını 400°C'ye çıkarıldığı zaman ise takviyelerin belli bir bölgede toparlandığı ve matris ile takviyenin homojen bir şekilde karışmadığı görülmektedir [1,19]. Bu heterojen yapı yoğunluğun düşmesine ve gözenek miktarının artmasına neden olur. Sinterleme sıcaklığını daha fazla artırarak 500°C'ye çıkardığımız zaman da, heterojen yapının yerini homojen kompozit yapısına bıraktığı [27], fakat yüksek sinterleme sıcaklığının yapıda süngerimsi bir matris oluşumuna sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu ise yoğunluk miktarında artışa ve gözenek miktarında düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 4. % 15 Al₂O₃ takviyeli 90 dak sinterleme süresi 600 MPa presleme basıncı a) 300°C b) 400°C sinterleme sıcaklığında üretilmiş numunenin SEM görüntüsü

Alüminyum tozları yüzeyinde bulunan oksit tabakasının sinter için gereken koşulları belirlemek için göz önünde bulundurulması zorunludur. Bu oksit tabakasının üretim süreçlerinde sinterlemede ve nihai ürünün mekanik özellikleri üzerinde büyük etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Sinterleme mekanizmasının etkin olmasında en önemli etken, preslenen ve sinterlenen tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyen katmanların oluşmamasıdır. Toz yüzeylerinde oluşan oksit katmanları nedeniyle sinterleme verimsiz olmaktadır [28, 29]. Özellikle katı faz sinterlemede oksit tabakası sinter süresinin uzamasına sebep olur. Sinter süresinin az olması (30 dak) katı faz sinterlemede taneler arasında boyunların oluşmasını engeller (Şekil 5a) ve sinterleme tam olarak gerçekleşmez. Sinterleme süresinin artması ile boyun oluşumuna imkân verilir, fakat soygaz atmosferi altında yapılmamasından kaynaklı artan sıcaklıkla beraber oksit miktarında artma meydana gelir. 60 dak sinterleme süresinde üretilen kompozitlerde, homojen yapı meydana geldiği ve gözeneklerin boyutunun düştüğü gözlemlendi (Şekil 5b). Sürenin fazla (90 dak) olması durumunda ise, mevcut oksit filmleri kırılarak tanelerin büyümeye başladığı ve sadece tane sınırlarında oksit gözlemlendi (Şekil 5c,d). Tane üzerindeki oksit film tabakası sinterleme sonrası mikroyapıda tane sınırlarında birikip kalarak malzemelerin mekanik mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır [20].





Şekil 5. %30 Al₂O₃ takviyeli 500°C sinterleme sıcaklığı 600 MPa presleme basıncında, a) 30 dak b) 60 dak ve c) 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunenin SEM görüntüsü d) 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunenin A bölgesinden alınan EDX analizi

4. Sonuç

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle Al-Mg alaşımına hacimce %15 ve %30 Al₂O₃ takviyeleri ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerde takviye cinsi, takviye oranı, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin yoğunluk ve mikroyapı üzerindeki etkileri araştırılmış ve deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kompozit içerisindeki takviye miktarı değiştiğinde sinterleme sıcaklığının yoğunluk üzerindeki etkileri de değişmiştir. Takviye miktarının %15 seçilmesiyle sinterleme sıcaklığında bir eşik değerin oluşumu gözlemlenmiştir. Bu eşik değeri ise 400°C'dir. Eşik değeri altında sinterleme sıcaklığının artışı yoğunluğu azaltmış, eşik değeri üzerinde ise sinterleme sıcaklığının artışı yoğunluğu artırmıştır. Takviye miktarı %30 seçildiğinde ise sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluk artmıştır. %30'luk takviye miktarında muhtemelen eşik değeri mevcuttur, fakat deneysel olarak seçtiğimiz sinterleme sıcaklık aralığının bu eşik değeri belirlemek için uygun olmadığı düşünülmektedir.
- Sinterleme süresinin yoğunluğun üzerindeki etkisi ise sinterleme basıncına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. 300MPa basınçta üretilen numunelerde sinterleme süresinin etkisi net olarak gözlemlenemez iken 600MPa basınçta üretilen numunelerde optimum yada eşik sinterleme süresinin mevcut olduğu görülmüştür. Belirlenen eşik sinterleme süresinin ise 60 dak. olduğu görülmüştür. Sinterleme süresi 30 dak'tan 60 dak'ya artırıldığı zaman yoğunluk artmış daha yoğun numuneler elde edilirken sinterleme süresinin 60 dak'tan sonra muhtemelen meydana gelen oksitlenmelerin katkısıyla yoğunlukta düşmenin meydana geldiği görülmüştür.
- Tüm deneylerde, soğuk presleme basıncı arttıkça ile kompozitin yoğunluğu artmıştır.
- %15 Al₂O₃ içeren kompozitlerde maksimum yoğunluk 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500°C sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme üretilen numunede, 0.935 olarak elde edilmiştir.
- %30 Al₂O₃ içeren kompozitlerde ise; maksimum yoğunluk 600 MPa soğuk presleme basıncı, 500°C sinterleme sıcaklığı ve 60 dak sinterleme süresinde üretilen numunede, 0.934 olarak elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen TEKF.16.09 nolu proje kapsamında tamamlanmıştır. FÜBAP'a sağladığı finansal katkıdan dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Tosun G. 2124 AL/SiC Kompozitinin İşlenmesinde Matris Özelliklerinin İşleme Şartlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 98s. 2004.

- [2] Bajpai G, Purohit R, Rajpurohit RS, Saurabh S, Rana A. Investigation and Testing of Mechanical Properties of Al-Nano SiC Composites through Cold Isostatic Compaction Process. *Mater Today: Proceess* 2017; 4(2): 2723-2732.
- [3] Gatea S, Ou H, McCartney G. Deformation and fracture characteristics of Al6092/SiC/17.5p metal matrix composite sheets due to heat treatments. *Mater Charact* 2018;142: 365-376.
- [4] Rashad M, Pan F, Guoa W, Lin H, Asif M, Irfan M. Effect of alumina and silicon carbide hybrid reinforcements on tensile, compressive and microhardness behavior of Mg-3Al-1Zn alloy. *Mater Charact* 2015;106: 382-389.
- [5] Jin P, Xiao BL, Wang QZ, Ma ZY, Liu Y, Li S. Effect of solution temperature on aging behavior and properties of SiCp/Al-Cu-Mg composites. *Mater Sci Eng* 2011; A 528: 1504-1511.
- [6] Krasnowski M, Kulik T. Nanocrystalline or amorphous matrix Al60Fe15Ti15(Co/Mg/Zr)5e5%B composites produced by consolidation of mechanically alloyed powders e lightweight materials with high hardness. *Intermetallics* 2012; 28: 120-127.
- [7] Liu X, Zhang P, Xu Q, He S, Dou Z, Wang H. Aging behavior of Be/6061Al composite fabricated by hot isostatic pressing technique. *J Alloys Compd* 2018;764:460-466.
- [8] Ghanaraja S, Vinuth KL, Ravikumar K S, Madhusudan B M. Mechanical Properties of Al₂O₃ Reinforced Cast and Hot Extruded Al based Metal Matrix Composites. 5th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016). *Mater Today: Proceess* 2017; 4: 2771-2776.
- [9] Xu R, Tan Z, Fan G, Ji G, Xiong D-B, Guo Q, Su Y, Lia Z, Zhang D. High-strength CNT/Al-Zn-Mg-Cu composites with improved ductility achieved by flake powder metallurgy via elemental alloying. *Composites Part A* 2018;111: 1-11.
- [10] Rashad M, Pan F, Guo W, Lin H, Asif M, Irfan M. Effect of alumina and silicon carbide hybrid reinforcements on tensile, compressive and microhardness behavior of Mg-3Al-1Zn alloy. *Mater Charact* 2015; 106: 382-389.
- [11] Reddy AP, Krishna PV, Rao RN, Murthy NV. Silicon Carbide Reinforced Aluminium Metal Matrix Nano Composites-A Review. *Mater Today: Proceess* 2017;4(2) A: 3959-3971.
- [12] Rashad M, Fusheng P, Asif M, She J, Ahsan Ullah. Improved mechanical proprieties of “magnesium based composites” with titaniumaluminum hybrids. *J Magnesium Alloy* 2015; 3: 1-9.
- [13] Salvador MD, Amigó V, Martinez N, Busquets DJ. Microstructure and mechanical behaviour of Al-Si-Mg alloys reinforced with Ti-Al intermetallics. *J Mater Process Techn* 2003;143-144: 605-611.
- [14] Wang F, Li J, Shi C, Zhao N, Liu E, He C, He F. Preparation and mechanical properties of in-situ synthesized nano-MgAl₂O₄ particles and MgAl(1-x)B₂ whiskers co-reinforced Al matrix composites. *Mater Sci & Eng A* 2018; 735: 236-242.
- [15] Sarıtaş S, Türker M, Durlu N. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri. *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*. Ankara. Türkiye 2007; 574s.
- [16] Ozer A. The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5Cu-0.5Mg/(wt%)B₄C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion. *Mater Chem Phys* 2016; 183: 288-296.
- [17] Zhang W, Chai D, Ran G, Zhou J. Study on microstructure and tensile properties of in situ fiber reinforced aluminum matrix composites. *Mater Sci Eng* 2008; A 476: 157-161.
- [18] Guobin L, Jibing S, Quanmei G, Yuhui W. Interfacial reactions in glass/Al-Mg composite fabricated by powder metallurgy process. *J Mater Process Techn* 2005;161 (3): 445-448.
- [19] Chen J, Bao C, Chen W, Zhang L, Liu J. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Mg-Al/AlN Composites with Different Particle Contents. *J Mater Sci & Techn* 2017; 33: 668-674.
- [20] Yao X, Zheng YF, Liang JM, Zhang DL. Microstructures and tensile mechanical properties of an ultrafine grained AA6063-5 vol % SiC metal matrix nano composite synthesized by powder metallurgy. *Mater Sci&Eng* 2015; A648: 225-234.
- [21] Ay H. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Aa7075 Alüminyum Alaşımına Ti Ve B₄c İlavasının Aşınma Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* 2014; 97s.
- [22] Chou T, Nieh T, McAdams S, Pharr G, Oliver W. Mechanical properties and microstructures of metal/ceramic microlaminates: Part II. A Mo/Al₂O₃ system. *J Mater Res* 1992; 7(10): 2774-2784.
- [23] Arik H. Production and characterization of in situ Al₄C₃ reinforced aluminum-based composite produced by mechanical alloying technique. *Mater & Design* 2004; 25(1): 31-40.
- [24] Karabulut H, Çıtak R, Çinici H. Mekanik Alaşım Süresinin Al+% 10 Al₂O₃ Kompozitlerde Eğme Dayanımına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2013; 28(3):635-643.
- [25] Rahimian M, Parvin N, Ehsani N. The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al-Al₂O₃ composite. *Mater & Design* 2011; 32(2): 1031-1038.
- [26] Rodrigo P, Poza P, Utrilla V, Urena A. Effect of reinforcement geometry on precipitation kinetics of powder metallurgy AA2009/SiC composites *J Alloys Compd* 2009; 479: 451-456.
- [27] Nazik C. Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi*. 2013;108s.
- [28] Li XP, Liu CY, Maa MZ, Liu RP. Microstructures and mechanical properties of AA6061-SiC composites prepared through spark plasma sintering and hot Rolling. *Mater Sci&Eng A*2016; 650: 139-144.
- [29] Gökçe A. Yapısal uygulamalar için alüminyum esaslı malzemelerin toz metalurjisi kullanılarak geliştirilmesi. *Yüksek lisans tezi Sakarya Üniversitesi* 2007; 88.

Organik Rankine Çevrim (ORC) İle Çalışan Tek Kademeli Absorbsiyonlu-Buhar Sıkıştırma Kaskad Soğutma Çevriminin Analizi

Canan CİMSİT^{1*}

¹ Gölcük MYO, Koçaeli Üniversitesi, Gölcük-Kocaeli, Türkiye
^{*1} ccimsit@kocaeli.edu.tr

(Geliş/Received: 21/02/2018;

Kabul/Accepted: 09/01/2019)

Özet: Soğutma sistemlerinin performansını artırmak amacıyla absorbsiyonlu ve buhar sıkıştırma çevrimleri birleştirilerek elde edilen absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimleri enerjide ekonomiklik ve çevre koruması için de önemli alternatif çözümler sunmaktadır. Alternatif enerjilerin kullanılmasını mümkün kılan bu kaskad soğutma çevrimlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar çevre koruması da sağlamaktadır. Bu çalışmada Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H₂O akışkan çifti, buhar sıkıştırma kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde (ORC) ise R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre önerilen Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma çevrimine göre %46 daha az elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Ayrıca önerilen bu çevrimin soğutma çevrimi, güç çevrimi ve toplam çevrim sonuçları verilmiştir. Analiz edilen çevrimin Organik Rankine Çevrimi (ORC) kısmındaki türbinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma çevrimindeki kompresör için kullanıldığı düşünülmüştür.

Anahtar kelimeler: Absorbsiyonlu Soğutma, Kaskad Soğutma, Organik Rankine Çevrimi, Performans analizi.

Analysis Of Single Stage Absorption-Vapour Compression Cascade Refrigeration Cycle Working With Organic Rankine Cycle

Abstract: In order to increase the performance of the refrigeration systems, the cascade refrigeration cycles can be obtained by combining absorption and vapour compression cycles. These cascade refrigeration cycles provide an alternative solution for economic and environmental protection. The refrigerants used in these cascade refrigeration cycles, which make possible the use of alternative energies, also provide environmental protection. In this study, thermodynamic analysis of a single stage absorption-vapour compression cascade refrigeration cycle working with the Organic Rankine Cycle has been performed. For the single stage absorption-vapour compression cascade cycle working has been fluid used R-600a for vapour compression section, LiBr-H₂O for absorption section and R-123 for Organic Rankine Cycle. This cycle has been compared with single stage vapour compression refrigeration cycle. According to the comparison result, that the single stage absorption-vapour compression cascade refrigeration cycle working with the Organic Rankine Cycle require 46% less electrical energy than the single stage vapour compression refrigeration cycle. In addition, the refrigeration cycle, power cycle and total cycle results have been given of proposed cycle. The analyzed cycle has been thought to obtain from of the turbine in the Organic Rankine Cycle (ORC) of the electric energy for compressor in the refrigeration cycle.

Keywords: Absorption refrigeration, Cascade refrigeration, Organic Rankine Cycle, Performance analysis.

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazandığı günümüzde absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısılar kullanılabilir. Ayrıca bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların ozon tabakasına zarar vermemesi, hareketli parçaların az olması ve çok az bakım gerektirmeleri nedeniyle absorbsiyonlu soğutma sistemlerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Literatürde Organik Rankine Çevrimi (ORC) ve absorbsiyonlu soğutma çevrimlerinin performansını inceleyen bir dizi çalışma sunulmuştur. Kaynaklı ve Yamankaradeniz [1], NH₃-H₂O ve LiBr-H₂O eriyiği kullanan tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin termodinamik analizini yapmışlardır. Eriyiklere ait termodinamik özellikler verilerek sistemlerin performansı, farklı kaynacı, yoğunlaştırıcı, buharlaştırıcı ve absorber sıcaklıklarında karşılaştırmışlardır. Her iki sistemin de performansı kaynacı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının artışıyla artmakta ancak yoğunlaştırıcı ve soğurucu sıcaklıklarının artışıyla azalmakta olduğu

* Sorumlu yazar: ccimsit@kocaeli.edu.tr, ORCID Numarası: 0000-0002-3222-1735

sonuçlarını elde etmişlerdir. Genel olarak LiBr-H₂O eriyiği kullanan sistemin performansı NH₃-H₂O eriyiği kullanan sisteme göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Kılıç ve Kaynaklı [2], tek etkili LiBr-su eriyiği ile çalışan absorbsiyonlu soğutma sistemlerine termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizlerini uygulamışlardır. Sistemin performansını, sistemi oluşturan her bir elemanın ekserji kaybını ve sistemin toplam ekserji kaybını hesaplamak için ekserji metodunu temel alan matematiksel model oluşturmuşlardır. Sistem performansının artan kaynatici ve buharlaştırıcı sıcaklıklarında arttığı buna karşılık artan yoğunlaştırıcı ve absorber sıcaklıklarında azaldığı sonuçlarını elde etmişlerdir. Saka vd. [3], LiBr-H₂O eriyiği ile çalışan çift kademeli seri akışlı bir absorbsiyonlu soğutma sisteminin mevsimsel performansını incelemişlerdir. Bursa ili şartlarında, mevsimlere göre değişen Bursa'ya ait bağıl nem oranları, hava sıcaklıkları ve hava entalpileridir. Dış havaya ait yıllık ortalama bağıl nem oranları ve ortalama sıcaklık değerleri resmi kaynaklardan almışlardır. Yapılan analiz sonuçlarında en fazla ekserji kaybı Ocak ayında olduğunu, en az ekserji kaybı ise Temmuz ayında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Patel vd. [4], Organik Rankine Çevrimi ve buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu soğutma çevrimine sahip yeni bir trijenerasyon sistemini önermişlerdir. Atık ısıyla çalışan önerilen trijenerasyon sisteminde -20°C 'de soğutma, 84°C'de proses ısıtması ve 10 kW'lık (mevcut durumda tüketilen) elektrik gücünü sağlamakta olup, tek başına buhar sıkıştırma sisteminden termoeconomik olarak daha iyi performans olduğunu göstermişlerdir. Çalışma akışkanı olarak Organik Rankine Çevriminde n-pentan kullanılmış olup, sistemin enerji verimi %79.2'dir. Kavasogulları ve Cihan [5], ısı kaynağı olarak atık sıcak su kullanılan bir organik Rankine çevrimi ile birlikte çalışan klasik soğutma çevriminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Sistemde R123, R600, R245fa, R141b ve R600a olmak üzere beş farklı akışkan kullanılmış ve sistem, ekserji verimi, performans katsayısı ve toplam ekserji yıkımı parametreleri açısından bu beş akışkan için ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapılan analiz sonucunda önerilen bu sistemde kullanılacak en uygun akışkanın R141b olduğu tespit etmişlerdir. Cihan [6], atık ısı kaynaklı çalışan Organik Rankine çevrimi ile klasik buhar sıkıştırma soğutma çevriminin birleştirildiği bir sistem modellemiş olup, bu sistemi termodinamik açıdan incelemiştir. Modellenen sistemde, aynı anda hem güç üreten hem de soğutma işini yapan akışkan olarak, kuru tip akışkan özelliklerinden dolayı organik akışkanlardan R600, R600a ve R601 seçmiş olup, bu üç organik akışkan için, sistemin güç çevrimi, soğutma çevrimi ve toplam çevrim verimlerini ayrı ayrı hesaplamıştır.

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin performanslarını artırmak amacıyla klasik buhar sıkıştırma soğutma sistemlerle birlikte tasarlanması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Kairouani ve Nehdi [7], absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında NH₃-H₂O akışkan çifti, buhar sıkıştırma kısmında ise üç farklı akışkan (R717, R22, R-134a) kullanan sistem için gerekli elektrik enerjisinin aynı çalışma koşullarında R717, R22 ve R-134a soğutucu akışkan kullanan buhar sıkıştırma sistemden %37-54 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Colorado ve Rivera [8], klasik buhar sıkıştırma soğutma sisteminin, buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu tek kademeli soğutma sistemi ve buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu çift kademeli soğutma sistemiyle termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre bir karşılaştırma yapmışlardır. Aynı çalışma koşullarındaki soğutucu akışkan olarak CO₂ ve R-134a kullanan önerilen soğutma çevrimlerindeki elektrik enerjisi tüketiminin klasik buhar sıkıştırma soğutma sisteminden yaklaşık %45 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ekserji analizinden, en yüksek tersinmezliğin absorber ve buharlaştırıcıda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Jain vd. [9], tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi ve bir buhar sıkıştırma soğutma sistemi ile birleştirilen buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu kaskad soğutma sisteminin termodinamik model geliştirmişlerdir. Birinci ve ikinci yasalara dayanarak 66.67 kW'lık bir tasarım kapasitesi için karşılaştırmalı performans analizini yapmışlardır. Cimşit ve Öztürk [10], kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H₂O çiftinin kullanılması buhar sıkıştırma kısmında ise farklı soğutucu akışkanlar (R-134a, R410A, NH₃) kullanılması durumlarının termodinamik analizini yapmışlardır. Aynı çalışma şartlarındaki klasik buhar sıkıştırma sistemlerine göre kaskad sistemlerde % 48 ile %52 arasında değişen daha az elektrik enerjisine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Cimşit vd. [11], kaskad soğutma sisteminin termoeconomik analizini yapmışlardır. Kaskad soğutma çevriminin en iyi çalışma koşullarının belirlenmesi için farklı sıcaklıklara göre optimizasyonunu yapmışlardır.

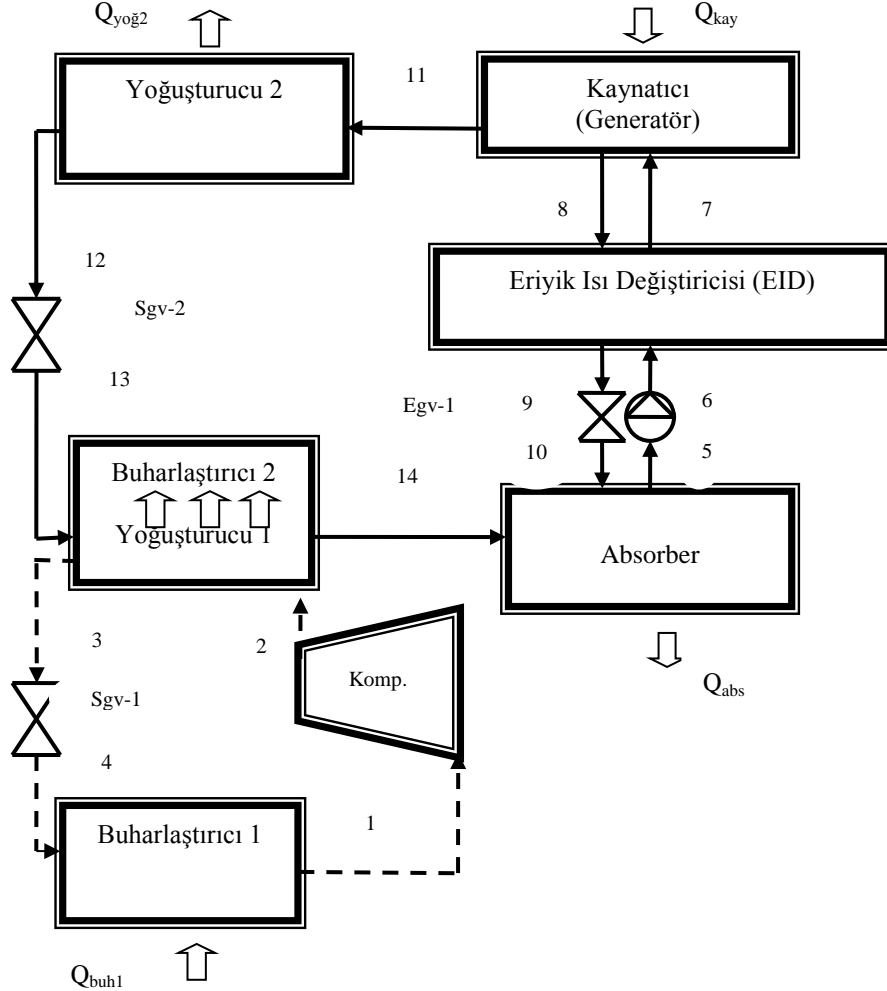
Bu çalışmada Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H₂O akışkan çifti, buhar sıkıştırma kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde ise (ORC) R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Analiz edilen çevrimin Organik Rankine Çevrimi (ORC) kısmındaki türbinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma çevrimindeki kompresör için kullanıldığı düşünülmüştür.

2. Termodinamik Model

Bu bölümde analiz edilecek çevrimler tanımlanarak, analizlerde yapılan kabuller ile kullanılan bağıntılar açıklanacaktır.

2.1. Tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimi

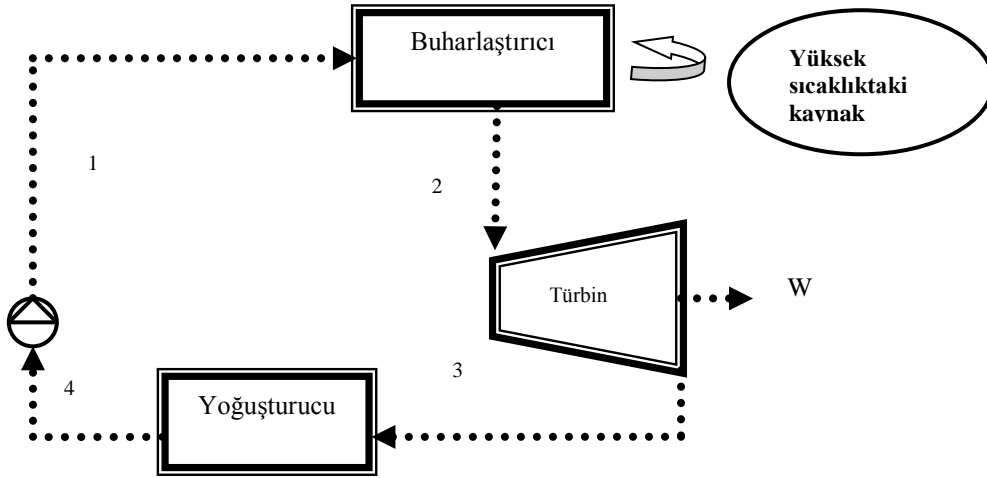
Tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sistemi Şekil 1'de verilmiştir. Çevrimin absorpsiyonlu kısmında akışkan çifti olarak LiBr-H₂O buhar sıkıştırma kısmında ise R-600a kullanıldığı kabul edilerek oluşturulan çevrimde absorberden çıkan LiBr bakımından fakir olan eriyik bir pompa aracılığı ile ısı değiştiricisinden geçerek kaynatıcıya(generator) gelir. Sıcak ve yüksek basınçtaki soğutucu akışkan kaynatıcıdan 2 numaralı yoğuşturucuya girer. Kaynatıcıda eriyikten soğutucu buharının ayrılmasıyla LiBr bakımından zenginleşen eriyik ısı değiştiricisinden geçerken fakir eriyiğe ısı vererek absorbere geri döner. 2 numaralı yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak çıkan soğutucu akışkan kısılma vanası aracılığıyla 2 numaralı buharlaştırıcı basıncına kadar genişletilir. Burada soğutucu akışkan buhar sıkıştırma sisteminin 1 numaralı yoğuşturucusundan aldığı ısıyla buharlaşarak absorbere girer. Buhar sıkıştırma sisteminde ise absorpsiyonlu soğutma sisteminin soğutucu akışkanına ısı vererek yoğuşan soğutucu akışkan, kısılma vanasında kısılarak 1 numaralı buharlaştırıcıya girer. 1 numaralı buharlaştırıcıda soğutucu akışkan soğutulan ortamın ısını çekerek ortamı soğutur.



Şekil 1. Tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sistemi.

2.2. Organik Rankine Çevrimi (ORC)

Atık akışkandan enerji geri kazanımında kullanılan en yaygın yöntem organik akışkan destekli güç sistemleridir. Sistemin temel prensibi geleneksel Rankine çevrimine dayanmaktadır. Organik Rankine Çevrimi (ORC) temel prensipleri geleneksel Rankine Çevriminin prensipleri ile benzerdir. Geleneksel Rankine Çevrimi ile ORC arasındaki temel fark, ORC’nde organik çalışma akışkanı geleneksel Rankine çevrimindeki çalışma akışkanı olan sudan daha düşük bir kaynama noktası ve daha yüksek bir buhar basıncına sahip olmasıdır. Bu temel fark çevrimin verimini artırdığından seçilecek çalışma akışkanının kaynama noktası ne kadar düşük, buhar basıncı ne kadar yüksek olursa türbinden elde edilen enerjide o kadar artar [12]. Organik Rankine Çevrimi (ORC), çeşitli kaynaklardan (jeotermal, güneş, atık ısı vb.) elde edilen ısı enerjisinin akışkanın buharlaştırıcıya aktarılması, sıcaklığı ve basıncı yüksek akışkan buharının türbini tahrik ederek elektrik elde edilmesi şeklinde çalışmaktadır (Şekil 2). Türbinde genişleyen akışkan yoğunlaştırıcıda sıvı hale dönüştürülmekte ve pompa yardımıyla basıncı yükseltilip tekrar buharlaştırıcıya gönderilerek çevrim tamamlanmaktadır [5].



Şekil 2. Organik Rankine Çevrimin (ORC).

2.3. Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimi

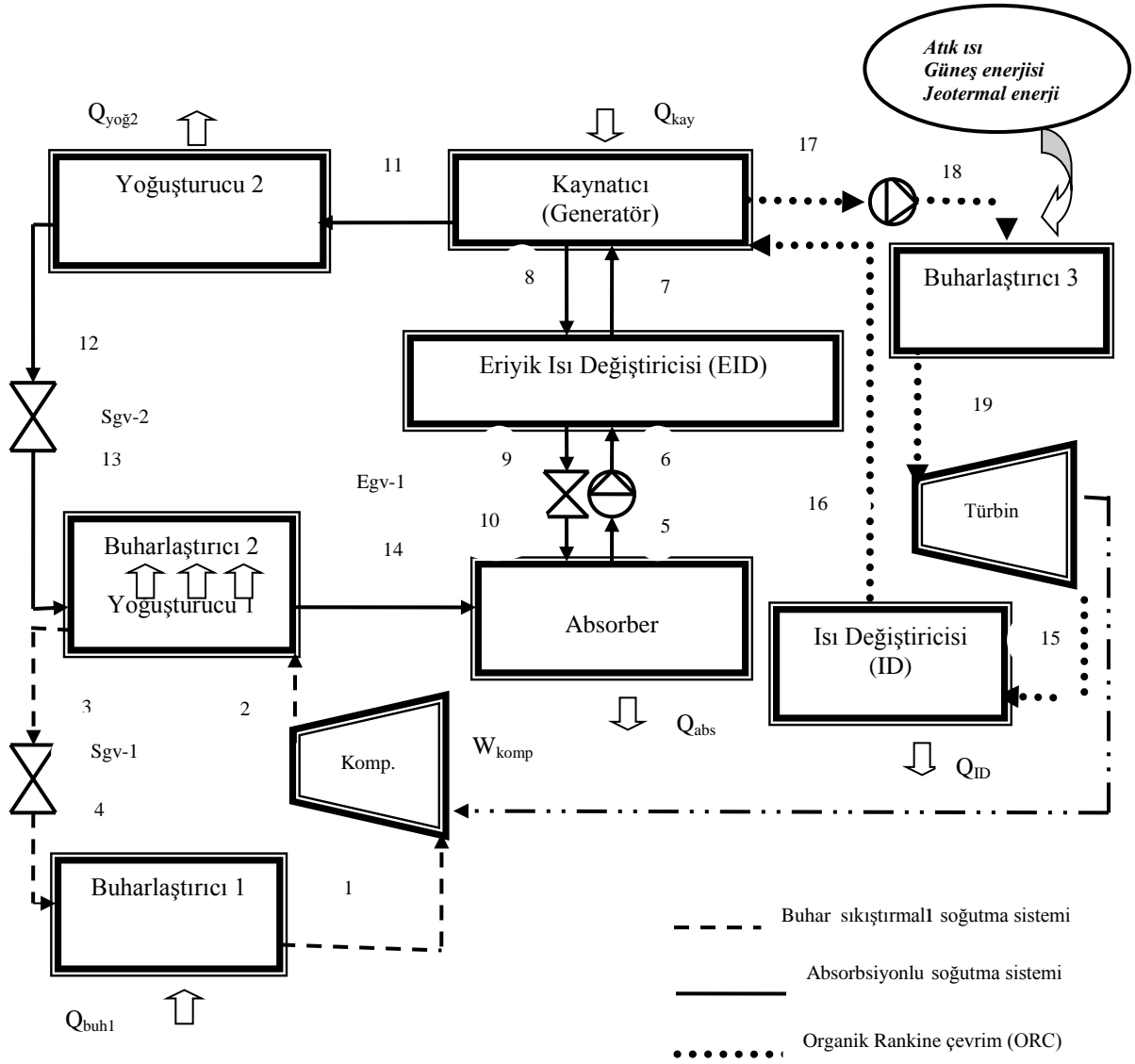
Bir Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimi Şekil 3’te gösterilmiştir. Çevrim tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimin soğutma sistemiyle aynı olup, Organik Rankine Çevrimi ile birleşiminden oluşmuştur. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ısı enerjisinin türbinde elektrik enerjisine dönüştürülerek soğutma çevrimindeki kompresöre aktarılması soğutma işleminin gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır.

Sistem Tasarım Parametreleri ve Kabuller:

Çevrimlerin termodinamik analizine temel oluşturacak aşağıda belirtilen birtakım kabuller yapılmıştır, bunlar:

1. Analiz sürekli rejim şartlarında yapılmıştır.
2. Sistemde bütün basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
3. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ısı enerjisi Buharlaştırıcı 3’te akışkana verilmektedir.

Ayrıca buhar sıkıştırma soğutma sistemindeki kompresörün izantropik verimi $\eta_{is}=0.80$, elektrik motor verimi $\eta_{elek}=0.90$, mekanik verimi $\eta_{mek}=0.90$ ve Organik Rankine Çevrimindeki (ORC) türbinin izantropik verimi $\eta_{is}=0.90$, elektrik motor verimi $\eta_{elek}=0.90$ alınmıştır.



Şekil 3. Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi.

Çevrim için genel kütle dengesi ve LiBr için kütle dengesi kararlı rejim şartlarında çalışma için aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir [13].

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

$$\sum \dot{m}_g \cdot x_g - \sum \dot{m}_ç \cdot x_ç = 0 \quad (2)$$

Sürekli akışlı açık bir sistem için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir [13].

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{H}_ç - \sum \dot{H}_g \quad (3)$$

Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin enerji denklemleri Tablo 1’de verildiği gibidir.

Tablo 1. Analiz edilen soğutma sisteminin termodinamik eşitlikleri.

Bileşen	Enerji Denklemi	Denklem No
Kaynatıcı (Generatör)	$\dot{Q}_{kay} = \dot{m}_{11}.h_{11} + \dot{m}_8.h_8 - \dot{m}_7.h_7$	(4)
Yoğusturucu 2	$\dot{Q}_{yog2} = \dot{m}_{11}.(h_{12} - h_{11})$	(5)
Absorber	$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_5.h_5 - \dot{m}_{10}.h_{10} - \dot{m}_{14}.h_{14}$	(6)
Buharlaştırıcı 2	$\dot{Q}_{buh2} = \dot{m}_2.(h_3 - h_2)$	(7)
Buharlaştırıcı 1	$\dot{Q}_{buh1} = \dot{m}_1.(h_1 - h_4)$	(8)
Eriyik Isı Değiştiricisi (EID)	$\dot{Q}_{EID} = \dot{m}_6.(h_7 - h_6) = \dot{m}_8.(h_8 - h_9)$	(9)
Buharlaştırıcı 3	$\dot{Q}_{buh3 - ORC} = \dot{m}_{18}.(h_{19} - h_{18})$	(10)
Isı Değiştiricisi	$\dot{Q}_{ID} = \dot{m}_{15}.(h_{16} - h_{15})$	(11)
Kompresör	$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_1.(h_2 - h_1)$	(12)
Türbin	$\dot{W}_T = \dot{m}_1.(h_{15} - h_{19})$	(13)
ORC Pompası	$\dot{W}_{ORC - pompa} = \dot{m}_{18}.(h_{18} - h_{17})$	(14)
Eriyik Pompası	$\dot{W}_{pompa} = \dot{m}_5.(h_6 - h_5)$	(15)
COP_{buh}	$COP_{buh} = \dot{Q}_{buh1} / \dot{W}_{komp}$	(16)
COP_{abs}	$COP_{abs} = \dot{Q}_{buh2} / (\dot{Q}_{kay} + \dot{W}_{pompa})$	(17)
$\eta_{ORC-güç}$	$\eta_{güç} = \dot{W}_T - \dot{W}_{ORC - pompa} / \dot{Q}_{buh3 - ORC}$	(18)
$\eta_{çevg}$	$\eta_{çevg} = \dot{Q}_{buh1} + \dot{W}_T / (\dot{Q}_{buh3 - ORC})$	(19)

Soğutma çevrimlerinde kullanılan LiBr-H₂O eriyiği ilgili termodinamik özellikler literatürde verilen bağıntılar yardımıyla elde edilmiştir [14].

3. Araştırma Sonuçları

Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin (Şekil 3) bütün noktalarındaki sıcaklık, entalpi, kütleli debi ve konsantrasyon değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sisteminin absorpsiyonlu kısmında LiBr-H₂O akışkan çifti kullanıldığı, buhar sıkıştırma kısmında R-600a seçilmiş olup, Organik Rankine Çevrim (ORC) için de R-123 seçilerek analiz yapılmıştır. Sistemin çalışma koşulları olarak T_{buh1}=-20°C ve T_{kon2}=35°C, soğutma yükü 100 kW alınmıştır.

Tablo 2. Şekil 3'te açıklanan çevrimin çeşitli noktalarındaki termodinamik özellikleri.

Akış No	Sıcaklık (°C)	h (kJ/kg)	m (kg/s)	x (%LiBr)
1	-20	528.779	0.332	-
2	18.38	582.721	0.332	-
3	12	227.520	0.332	-
4	-20	227.520	0.332	-
5	35	88.248	0.482	55.210
6	35.2	88.652	0.482	55.210
7	62	143.495	0.482	55.210
8	80	197.451	0.532	60.400
9	48.5	137.454	0.532	60.400
10	48.5	137.454	0.532	60.400
11	80	2643.100	0.050	-
12	35	146.600	0.050	-
13	5	146.600	0.050	-
14	5	2509.700	0.050	-
15	97.96	443.81	1.189	-
16	85	432.660	1.189	-
17	85	291.320	1.189	-
18	86.36	292.660	1.189	-
19	155	464.900	1.189	-

Analiz edilen Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kaskad soğutma çevriminin sistem elemanlarının ısı kapasite ve soğutma tesir katsayıları değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kaskad soğutma çevriminin soğutma kapasitesi olan 100 kW için kaynatıcı (generatör) gerekli olan ısı enerjisi 168.034 kW, kompresör işi ise 22.110 kW olup, Organik Rankine Çevriminden (ORC) sağlanmaktadır. Sistem için gerekli olan ısı enerjisi 205 kW olup, jeotermal enerji, güneş enerjisi ve atık ısı gibi alternatif enerji kaynaklarıyla karşılanabilmesi mümkündür. Örnek olarak ısı enerjisi olarak jeotermal enerji kaynağı düşünülebilir. Çalışmada Germencik-Aydın Jeotermal Sahası ele alınmış olup, bu sahadaki sıcaklık 232°C ve debi 725 lt/sn değerindedir. Elektrik üretimi ve reenjeksiyon kuyularına bağlı diğer uygulamalar, şehir ısıtması-soğutması, sera ısıtması, kurutmacılık (incir üzüm), tekstil endüstrisi (iplik), soğuk hava depoları, kaplıca ve kaplıca tesisi ısıtmasında kullanılmaktadır [15]. Şekil 3'te verilen çevrime jeotermal akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 190°C ve 180°C, kütleli debisi 3.785 kg/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre soğutma çevrimi için gerekli olan ısı enerjisi rahatlıkla karşılanmaktadır.

Tablo 3. Düşünülen çevrimlerin sistem elemanlarının kapasite değerleri.

	Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kaskad soğutma çevrimi	Tek kademeli klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi
	(LiBr-H ₂ O/R-600a/ R-123)	(R-600a)
Q _{kay} (kW)	168.034	-
Q _{abs.} (kW)	156.075	-
Q _{buh2} (kW)	117.927	-
Q _{voğ2} (kW)	124.825	133.104
W _{komp} (kW)	22.110	40.869
W _{pompa} (kW)	0.195	-
Q _{buh3} (kW)	205	-
Q _{ID} (kW)	13.257	-
W _T (kW)	22.590	-
W _{ORCpompa} (kW)	1.593	-
Q _{buh1} (kW)	100	100

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorpsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki (T_{buh}=-20°C ve T_{kon}=35°C, soğutma yükü 100 kW) tek kademeli klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 3). Analiz edilen soğutma çevriminin

aynı şartlarda aynı miktar soğutma elde edebilmek için gerekli olan kompresör işi tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma çevrimine göre %46 daha az olduğu görülmektedir.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin absorbsiyon kısmının soğutma tesir katsayısı (COP_{abs}) 0.742, buhar sıkıştırma kısmının soğutma tesir katsayısı (COP_{buh}) 4.523 olarak elde edilmiştir (Tablo 4). Organik Rankine Çevriminin (ORC) güç verimi %10.2 ve Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin genel verimi ise %59.8 dir (Tablo 4).

Tablo 4. Analiz edilen çevrimlerin soğutma tesir katsayıları ve verim sonuçları.

	Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimi	Tek kademeli klasik buhar sıkıştırma soğutma çevrimi
	(LiBr-H ₂ O/R-600a/ R-123)	(R-600a)
COP_{buh}	4.523	2.447
COP_{abs}	0.742	-
$\eta_{ORC-güç}$ (%)	10.2	-
η_{cevg} (%)	59.8	-

4. Sonuç ve Öneriler

Absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sistemi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalardan sistemin buhar sıkıştırma kısmında farklı soğutucu akışkanların kullanıldığı kabul edilerek yapılan karşılaştırmalarda elektrik enerjisi tüketiminin kaskad soğutma sisteminde Kairouani ve Nehdi [7] %37-54, Colorado ve Rivera [8] yaklaşık %45, Jain *vd.* [9] %61 ve Cimşit ve Öztürk [10] %48-%52 arasında değişen oranla daha az olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sisteminin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda bu çalışmada absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevrimi Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile birlikte tasarlanmış olup, Organik Rankine Çevriminin (ORC) türbininden elde edilen elektrik enerjisinin çevrimdeki kompresör için kullanıldığı kabul edilerek çevrimin analizi yapılmıştır.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H₂O akışkan çifti, buhar sıkıştırma kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde ise (ORC) R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminde aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli klasik buhar sıkıştırma soğutma çevrimine göre %46 daha az kompresör işi gerektiği görülmüştür.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sisteminin soğutma kapasitesi olan 100 kW için kaynatıcı (generatör) gerekli olan ısı enerjisi 168.034 kW, kompresör işi ise 22.110 kW olup, Organik Rankine Çevriminden (ORC) sağlanmaktadır. Sistem için gerekli olan ısı enerjisi değeri 205 kW olarak hesaplanmıştır. Örnek olarak ısı enerjisi olarak jeotermal enerji kaynağı düşünülmüştür. Çalışmada Germencik-Aydın Jeotermal Sahası ele alınmış olup, bu sahadaki sıcaklık 232°C ve debisi 725 lt/sn değerindedir. Şekil 3'te verilen çevrimde jeotermal akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 190°C ve 180°C, kütleli debisi 3.785 kg/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre soğutma çevrimi için gerekli olan ısı enerjisi rahatlıkla karşılanmaktadır.

Analiz sonuçlarından Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin absorbsiyon kısmının soğutma tesir katsayısı (COP_{abs}) 0.742, buhar sıkıştırma kısmının soğutma tesir katsayısı (COP_{buh}) 4.523 olarak elde edilmiştir. Ayrıca Organik Rankine Çevriminin (ORC) güç verimi %10.2 ve Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma çevriminin genel verimi ise %59.8 olarak bulunmuştur.

Ülkemiz jeotermal ve güneş enerjisi bakımından zengin konumundadır. Türkiye hem zengin jeotermal kaynaklara hem de coğrafi konumu sebebiyle büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip olması nedeniyle bu çalışmada analiz edilen Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırma kaskad soğutma sistemi için ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin bu kaynaklardan karşılanması mümkün olmaktadır. Ayrıca sistem için gerekli olan ısı enerjisi için çok çeşitlilik gösteren atık ısı kaynakları da kullanılabilir. Böylece Ülkemizin soğutmada artan enerji ihtiyacının kendi öz kaynaklarımızla karşılanması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır. Bu önerilen çevrimde kullanılan akışkanlardan dolayı ozon tabakasına zarar vermeden düşük sıcaklıklarda daha etkin soğutma yapma imkânı da bulunmaktadır.

5. Semboller

COP	Soğutma tesir katsayısı
Egv	Eriyik genleşme valfi
EID	Eriyik Isı Değiştiricisi
h	Entalpi [kJ/kg]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
P	Basınç [kPa]
\dot{Q}	Isıl güç [kW]
Sgv	Soğutkan genleşme valfi
T	Sıcaklık [$^{\circ}$ C]
x	Konsantrasyon
\dot{W}	İş [kW]

Alt indisler

abs	Absorber, absorpsiyon
buh	Buharlaştırıcı
ç	Çıkış
çevg	Çevrim genel
g	Giriş
ID	Isı Değiştiricisi
kay	Kaynatici
komp	Kompresör
ORC	Organik Rankin Çevrimi
T	Türbin
yoğ	Yoğuşturucu

Kaynaklar

- [1] Kaynaklı Ö, Yamankaradeniz R. H₂O-LiBr ve NH₃-H₂O eriyiği kullanan tek kademeli soğutmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2003; 5(2): 73-87.
- [2] Kilic M, Kaynaklı Ö. Second law-based thermodynamic analysis of water lithium bromide absorption refrigeration system. Energy 2006.
- [3] Saka K, Yamankaradeniz N, Kaynaklı F, Kaynaklı Ö. Hava soğutmalı çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi; 2015.
- [4] Patel B, Desai N, Kachhwaha S, Jain V, Hadia N. Thermo-economic analysis of a novel organic Rankine cycle integrated cascaded vapor compression-absorption system. J. Clean Prod. 2017; 154: 26-40.
- [5] Kavasogulları B, Cihan E. Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile birlikte çalışan buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevriminin ekserji analizi. Tesisat Mühendisliği 2015; Sayı 150.
- [6] Cihan E, Organik Rankine Çevrimi ile çalışan atık ısı kaynaklı bir soğutma sisteminin performansının araştırılması. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 2014; 34(1):101-109.
- [7] Kairouani L, Nehdi E. Cooling performance and energy saving of a compression-absorption refrigeration system assisted by geothermal energy. Appl. Therm. Engineering 2006; 26: 288-294.
- [8] Colorado D, Rivera W. Performance comparison between a conventional vapor compression and compression-absorption single-stage and double-stage systems used for refrigeration. Appl. Therm. Engineering 2015; 273-285.
- [9] Jain V, Kachhwaha SS, Sachdeva G. Thermodynamic performance analysis of a vapor compression-absorption cascaded refrigeration system. Energy Conversion and Management 2013; 75: 685-700.
- [10] Cimşit C, Oztürk IT, Analysis of compression-absorption cascade refrigeration cycles. Appl. Therm. Engineering 2012; 40: 311-317.
- [11] Cimsit C, Ozturk IT, Kincay O. Thermo-economic optimization of LiBr/H₂O-R134a compression-absorption cascade refrigeration cycle. Appl. Therm. Engineering 2015; Volume 76: Pages 105-115.
- [12] Önal AS, Etemoğlu AB, Can M. Düşük sıcaklıklı atık akışkan destekli Organik Rankine Çevrimlerinin optimizasyonu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2017; Cilt 22: Sayı 2.
- [13] Yamankaradeniz R, Horuz İ, Çoşkun S. Soğutma Tekniği ve Uygulamaları. Bursa: Vipaş A.Ş., Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, 2002.
- [14] Kaita T, Thermodynamic properties of lithium bromide-water solutions at high temperatures. Int. J. Refrigeration 2001; 24: 374-390.
- [15] www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Aydin_Madenler.pdf

İki Boyutlu Difüzyon Filtreleme ve Stockwell Dönüşümü Kullanılarak Elektrokardiyogram İşaretlerinin İyileştirilmesi

Kazım HANBAY^{1*}

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye
khanbay@bingol.edu.tr

(Geliş/Received: 08/03/2018;

Kabul/Accepted: 07/12/2018)

Özet: Elektrokardiyogram (EKG) kalp rahatsızlıkları için önemli bir teşhis aracı olarak kullanılmaktadır. Temizlenmiş bir EKG işareti kalp rahatsızlıklarının türü hakkında elektriksel bilgi içerir. Bu çalışmada, Stockwell dönüşümü ve iki boyutlu eşyönsüz lineer olmayan difüzyon metotları kullanılarak yeni hibrit bir EKG gürültü giderme metodu önerilmiştir. Önerilen metod MIT-BIH aritmi veri tabanının altı EKG işaretine kas kasılmaları (MA) ve elektrot hareket (EM) gürültüleri eklenerek test edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, önerilen metod geleneksel S-dönüşümü ve WT- alt bant metotları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen hibrit modelin daha iyi Sinyal Gürültü Oranı (SGO) ve daha düşük Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) değerlerine sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrokardiyogram, stockwell dönüşümü, difüzyon filtreleme.

Enhancement of Electrocardiogram Signals using Stockwell Transform and Two Dimensional Diffusion Filtering

Abstract: Electrocardiogram (ECG) is used as a important diagnostic tool for heart diseases. A cleaned ECG signal consists of electrical information about the kind of the heart diseases. In this paper, a new hybrid ECG signal denoising method is proposed using Stockwell transform (S-transform) and two-dimensional anisotropic diffusion methods. The proposed method is tested on six ECG signals of MIT-BIH arrhythmia database, by adding muscle artifacts (MA) and electrode motion (EM) noises. In the experimental works, the proposed method is compared with the WT-subband and conventional S-transform methods. The experimental results show that the proposed hybrid model has the better signal to noise ratio (SNR) and lower root mean square error (RMSE) values.

Key words: Electrocardiogram, stockwell transform, diffusion filtering.

1. Giriş

EKG işareti, kalp atımları esnasında kalp kasları (miyokardiyum) tarafından üretilen ve vücut yüzeyinde oluşan çok düşük seviyedeki elektriksel işaretlerdir. EKG işaretleri kalbin elektriksel aktivitesi hakkında bilgi içerdikleri için kalp hastalıklarının izlenmesi ve doğru teşhisin konulmasında oldukça öneme sahiptirler. Özellikle gürültüden ve diğer dış etkenlerden arındırılmış bir EKG işareti kalbin çeşitli hastalıkları ifade eden ritim ve iletim bozukluklarını ifade edebilmektedir. Bunun sonucu olarak günümüzde modern klinik uygulamalarında EKG işaretlerinin kaydedilmesi ve makine öğrenmesi yöntemleri ile işlenip analiz edilmesi önem taşımaktadır.

Kablosuz veya kablolu olarak elde edilen EKG işaretlerinin vücuttan alınması ve iletilmesi sırasında alınan işarete genel olarak bazı bozulmalar olmaktadır. Gürültü olarak adlandırılan bu bozulmalara orijinal işarete istem dışı dâhil olan bazı enerjiler yol açmaktadır. EKG işaretlerinde bulunan gürültüler şu şekilde sıralanabilir: i) kas kasılmalarından kaynaklı EM gürültüsü, ii) elektrot hareket gürültüsü, iii) taban hattı kayması (baseline wander), iv) elektronik cihaz kaynaklı gürültüler. Bu gürültüler EKG işaretindeki hastalık göstergesi frekans değişimlerini perdeleyerek sinyalde bozulmaya yol açmaktadır. Bunun sonucunda işaretin analizi zorlaşmakla birlikte yanlış hastalık teşhisine yol açılabilmektedir. Bu yüzden gürültülü EKG işaretleri içerdikleri gürültü bileşenleri ortadan kaldırılarak iyileştirilmelidir.

Literatürde EKG işaretlerini iyileştirmek ve gürültüden arındırmak için birçok metod geliştirilmiştir. Bunlar arasında bağımsız bileşen analizi [1], dalgacık dönüşümü temelli gürültü giderme [2-5], uyarlamalı filtreler [6], kernel filtreleme yöntemi [7] ve derin öğrenme tabanlı yöntemler [8] oldukça başarılı olan yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları işarettaki gürültüyü kaldırmak için işarettaki R-tepesi pozisyonu veya

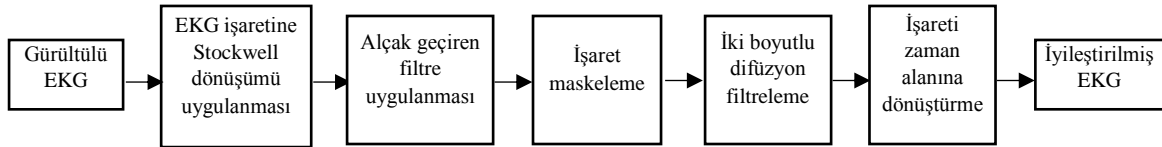
* Sorumlu yazar: khanbay@bingol.edu.tr. ORCID Numarası: 0000-0003-1374-1417

referans işaret modeli gibi öncül bilgilere ihtiyaç duymaktadırlar. Dalgacık dönüşümü yöntemi ise EKG işaretlerindeki farklı gürültü tiplerine karşı oldukça güçlü sonuçlar üretmektedir. Zaman alanındaki işaretleri zaman-frekans alanında karakterize etmekte gösterdiği üstün yetenek dalgacık dönüşümü yönteminin temel kullanım sebeplerinden biridir. Bu yöntemde Daubechies-4 (dB4) ana dalgacığı kullanılarak yapılan çok seviyeli işaret analizi gürültü gidermede iyi performans göstermektedir [9]. Bununla birlikte dalgacık dönüşümünün genliği işaretin frekansına bağımlı bir yapıya sahiptir. Ayrıca yüksek işlem maliyeti ve yetersiz zamansal alan çözünürlüğüne sahiptir. Bu olumsuzluklar dalgacık dönüşümü temelli gürültü giderme yaklaşımların zayıf yönleri olarak öne çıkmaktadır. Smital ve diğ. [10] EKG işaretlerindeki geniş bant EM gürültülerini kaldırmak için uyarlamalı dalgacık Wiener filtreleri kullanmışlardır. Daha sonra Sinyal Gürültü Oranı'na (SGO) göre uygun bir filtre bankası ve Wiener filtrenin uyarlamalı ek parametreleri elde edilir. Farklı seviyelerde ayrıştırılan EKG sinyali uygun eşikleme değerleri ile gürültüden ayrıştırılmakta ve bazı morfolojik işlemler ile birlikte oldukça işlenebilir bir yapıya kavuşturulmaktadır [4]. Uyarlamalı filtreler ile ele alınan EKG işaretinin karakteristiğine uygun alçak-yüksek geçiren çeşitli filtreler tasarlanarak gürültü giderme yöntemleri geliştirilmiştir [6]. Ancak bu yöntemler farklı gürültüler içeren EKG işaretlerinde istenen başarıya ulaşmamaktadır. Dalgacık dönüşümü ve fourier dönüşümü yöntemleri ile yakın ilişkili bulunan Stockwell dönüşümü (S-Transform) yöntemi kullanılarak yukarıda bahsedilen bazı sınırlılıkları ortadan kaldıran gürültü giderme ve EKG işaret iyileştirme çalışmaları yapılmıştır [11-12]. Yapılan çalışmalarda S-dönüşümü yönteminin EKG işaretinde gömülü olarak bulunan birçok farklı gürültü tipini ortadan kaldırarak işareti iyileştirdiği gösterilmiştir. Son yıllarda oldukça popüler olan derin öğrenme tabanlı işaret işleme ve sınıflandırma çalışmaları EKG işaretlerinde de gürültü giderme amaçlı olarak kullanılmıştır. Genellikle oto-kodlayıcı veya kısıtlı Boltzmann makineleri kullanılarak EKG işaretlerinde gürültü giderme çalışmaları yürütülmüştür [8,13]. Derin öğrenme tabanlı yöntemler gürültü gidermede oldukça etkili olmakla birlikte yüksek boyutta eğitim verisine ihtiyaç duymaktadırlar.

Bu çalışmada S-dönüşümü kullanılarak EKG işaretlerindeki gürültüleri ortadan kaldıran yeni bir metod önerilmiştir. S-dönüşümü kullanarak işaretleri iyileştiren yöntemlerden farklı olarak, önerilen çalışmada EKG işaretlerine S-dönüşümü ile birlikte iki boyutlu eşyönsüz difüzyon yöntemi de uygulanmıştır. Geleneksel S-dönüşümü yöntemi ile gürültü gidermede işaretin S-dönüşümü ile elde edilen zaman-frekans alanı karşılığında morfolojik yapı elemanlarından oluşan 4 adımlı filtreleme uygulanmaktadır [11]. Filtreleme işlemleri sonrasında elde edilen çıkış matrisi ikilik matrise dönüştürülür ve eşiklenmiş işaret bilgisi elde edilir. Bu filtreleme işaretin genliği ve gürültünün tipi değiştiğinde etkin çalışmamaktadır. Ayrıca morfolojik yapı elemanlarının optimal parametrelerinin tespiti zordur. Bu nedenle önerilen çalışmada bilinen literatür çalışmalarından farklı olarak görüntülerde de hem yumuşatma hem de gürültü gidermede kullanılan optimal bir difüzyon filtresi tasarlanmış ve EKG işaretlerine uygulanarak gürültü gidermede istenen sonuçlar alınmıştır. Bununla birlikte geliştirilen yöntem gürültü gidermek için herhangi bir öncül bilgiye ihtiyaç duymamaktadır.

2. Önerilen Yöntem

Önerilen yöntemde temel amaç EKG işaretlerinde gürültü bileşenlerini kaldırarak işareti iyileştirmektir. S-dönüşümü ve iki boyutlu eşyönsüz difüzyon yöntemlerinin birlikte kullanımı ile geliştirilen yöntemin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin blok diyagramı.

Önerilen yöntem temel olarak dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlarda hem S-dönüşümü yöntemi hem de eşyönsüz difüzyon tekniği yöntemdeki kullanım sıralarına göre aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1: Zaman-frekans alanında işaret gösterimi: Zaman alanındaki gürültülü bir EKG işaretinin zaman-frekans alanına taşınarak bu alanda gösteriminin yapmak için S-dönüşümü kullanılır. Gürültü içeren bir EKG işareti $h(t)$ ile gösterildiğinde, bu işaretin $t = \tau$ zamanında ve f frekansında sürekli S-dönüşümü $S(\tau, f)$ aşağıdaki gibi tanımlanır [14]:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-((\tau-t)^2 f^2)/2} e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

Sabit frekans f_0 için $S(\tau, f_0)$ ifadesi bir boyutlu fonksiyon olarak ifade edilir. Burada $S(\tau, f_0)$ ifadesi sabit frekans f_0 in genlik ve fazının zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Zaman serisi olarak ifade edilen $h(t)$ işareti Gauss fonksiyonu gibi bir pencereleme fonksiyonu ile analiz edilirse, işaretin spektrumu Denklem (2) kullanılarak elde edilir:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)g(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (2)$$

Burada $g(t)$ genelleştirilmiş Gauss fonksiyonunu göstermektedir. Gaussian fonksiyonu kullanılarak S-dönüşümüne öteleme τ ve genişleme σ parametreleri eklenerek dönüşümün aşağıdaki formu elde edilir [11]:

$$S(\tau, f, \sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-\tau)^2/2\sigma^2} e^{-i2\pi ft} dt \quad (3)$$

Denklem (3) teki ifade içerdiği üç bağımsız değişkenden dolayı aslında çok çözünürlüklü Fourier dönüşümünün özel bir durumudur. Özellikle büyük boyutlu işaretlerin analizinde bu yapı oldukça fazla işlem yükü içerdiği için kullanılması zordur. Bu denklem üzerinde özellikle işaret periyoduna orantılı olacak şekilde pencereleme genişliği parametresi σ kısıtlanarak denklem basitleştirilmektedir. Burada $h(kT)$ gürültülü bir EKG işaretini ifade ederse, ayrık durumda hesapsal olarak avantaja sahip olmak için bu işaretin ayrık S-dönüşümü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S\left(jT, \frac{n}{NT}\right) = \sum_{m=0}^{N-1} H\left[\frac{m+n}{NT}\right] e^{-2\pi^2 m^2/n^2} e^{i2\pi m j/N}, n \neq 0, \quad (4)$$

Burada $H[n/NT]$ ifadesi gürültülü EKG işaretinin ($h(kT)$) Fourier dönüşümünü ifade etmektedir. j, m, n değişkenleri ise $j, m, n = 0, 1, \dots, N-1$ olarak gösterilirler.

Adım 2: Yüksek frekans gürültülerini kaldırma: Gürültülü EKG işareti S-dönüşümü kullanılarak zaman-frekans alanında ifade edildikten sonra, bu adımda alçak geçiren filtre uygulanarak yüksek frekanslı gürültü içeren bileşenler orijinal işareten kaldırılır. Gürültü içermeyen bir EKG işareti genel olarak 0.05-100 Hz aralığında bant genişliğine sahiptir [11]. Ancak MIT-BIH aritmi veri tabanı gibi çeşitli EKG veri tabanlarında bu aralıkta ve özellikle 200 Hz bant genişliği içerisinde EKG işaretlerinde önemli bilgilerinin olduğu görülmektedir. Bu nedenle önerilen metotta frekans alanında yapılan filtrelemede 200 Hz bant genişliğinin altında kalan frekans bileşenleri korunmuş ve sadece bu değerin üstünde kalan bileşenler gürültü olarak değerlendirilip kaldırılmıştır. Yöntemin adımlarını daha kolay takip edebilmek için, bu noktadan sonra yüksek frekans gürültülerinin kaldırılmasından sonra elde edilen EKG işaretinin zaman-frekans alanı gösterimi (S_1) ile gösterilecektir.

Adım 3: Gürültü bileşenlerinin maskelenmesi: Bu adımda S_1 'in QRS bileşenleri arasındaki alanlarda bulunan gürültü bileşenleri eşikleme yöntemi ile temizlenmektedir. Önerilen yöntemde literatürdeki yöntemlere benzer bir şekilde S_1 matrisinin toplam ortalama yoğunluk bilgileri kullanılarak [11-12] eşikleme yapılmıştır. İkili görüntüde 0 ve 1 sınıfları için ayrı ayrı sınıf varyansları ve toplam sınıf varyansları kullanılarak eşik değeri bulunmuştur. Eşikleme sonucu elde edilen maske matrisi ile S_1 matrisi uygun morfolojik yapı elemanı ile açılma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonucunda S_1 matrisinin maskelenmiş hali olan S_2 matrisi elde edilmiştir.

Adım 4: İki boyutlu eşyönsüz difüzyon filtreleme: Elde edilen S_2 matrisi EKG işaretinin birçok gürültü bileşeninden arındırılmış hali olmakla birlikte, zaman-frekans alanındaki mevcut EKG işareti lineer davranış sergilemeyen gürültü bileşenleri içerebilmektedir. EKG iyileştirme çalışmalarında filtreleme işlemi genellikle morfolojik işlemler ile veya uyarlamalı eşikleme işlemleri ile yapılmaktadır [11-12]. Ancak bu filtreler arka plan gürültüsü gibi lineer olmayan ve düzenli davranış gösteren gürültülere karşı etkili olabilmektedir [15]. Bu nedenle önerilen çalışmada EKG işaretindeki hem arka plan gürültülerini hem de lineer olmayan gürültüleri ortadan kaldırmak için iki boyutlu lineer olmayan eşyönsüz difüzyon filtreleme metodu kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan iki boyutlu difüzyon filtre hakkında kısa tanımlamalar verilecektir.

İki boyutlu difüzyon filtresi giriş olarak verilen iki boyutlu veri üzerinde gezdirilen pencerede uzaysal ve zamansal alanda sekiz komşuluk kullanır. Bu çalışmada EKG işaretinin S-dönüşümü ile iki boyutlu zaman-frekans alanı bilgisinin hesaplandığını tekrar belirtmek gerekmektedir. Pencerenin karşılık geldiği pozisyonda işaret iteratif bir yolla yumuşatılmaktadır (smoothing). Matematiksel işlemlerde yazım ve ifade kolaylığı

açısından maskeleme adımı sonrası elde edilen S_2 matrisi bu aşamada u olarak ifade edilecektir. u için genel eşyönsüz difüzyon denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (D(\nabla u)\nabla u) \quad (5)$$

Burada u ifadesi yumuşatılmış EKG işaret matrisini (yani maskeleme sonrası elde edilen ve difüzyon işlemine başlangıçta giriş olarak verilen $u^0(x) = u(x)$), D yumuşatma yönünü ve karşılık gelen yayılımları tanımlayan matris değerli difüzyon tensörünü göstermektedir. Difüzyon tensörü D aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$J(\nabla u) = \nabla u \nabla u^T = \begin{bmatrix} u_x^2 & u_x u_y \\ u_x u_y & u_y^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Yapı tensörü $J(\nabla u)$ zaman göre işaretteki lokal yön bilgisini tanımlayan bir işaret özneliği olarak kabul edilebilir. Difüzyon işlemlerinin gürültüden etkilenmemesi için Gauss çekirdekli ve standart sapması küçük olan konvolüsyon işlemleri uygulanır. İteratif yol ile difüzyon işlemi işarete uygulanarak hem gürültü giderme hem de işaretin özellikle QRS bileşenlerinde yumuşatma ve belirginleştirme işlemleri başarı ile tamamlanır. Difüzyon işlemleri ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için [15] nolu kaynak incelenebilir. Filtrelenmiş bir boyutlu EKG işaretini elde etmek için, filtre çıkışında elde edilen işaret matrisi ters S-dönüşümü yapılarak zaman-frekans alanından zaman alanına dönüştürülmüş ve filtrelenmiş işaret elde edilmiştir.

3. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılan veri tabanı hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Yöntemin performansını ölçmek için kullanılan metrik ölçütlerin temel matematiksel tanımlamaları verilmiştir. Daha sonra önerilen yöntem literatürde bulunan iki farklı gürültü giderme yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

3.1. Kullanılan veri seti ve performans ölçütleri

Önerilen hibrit EKG gürültü giderme yöntemi MIT-BIH aritmi veri tabanı [16] üzerinde test edilmiştir. Bu veri tabanı 360 Hz frekansında örnekleme yapılmış olan 30 dakika süreli 48 farklı EKG işareti içermektedir. Deneysel çalışmalar sırasında incelenen işaretlere Sinyal Gürültü Oranları (SGO) 0 dB, 1.25 dB ve 5 dB olacak şekilde ayrı ayrı EM ve MA gürültüleri eklenmiştir. Eklenen gerçek gürültüler physionet veri bankasında MIT-BIH aritmi veri tabanının gerçek gürültüler içeren ilgili bölümünden alınmıştır [17]. Önerilen yöntem WT-alt bant yöntemi [4] ve geleneksel S-dönüşüm yöntemi [11] ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemin performans sonuçları geleneksel S-dönüşüm yönteminin gürültü gidermede kullanıldığı makale çalışmasından alınmıştır [11]. Kullanılan yöntemlerin performansları SGO ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. SGO aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$SGO = \frac{\sum_{t=0}^{L-1} h(t)^2}{\sum_{t=0}^{L-1} n(t)^2} \quad (7)$$

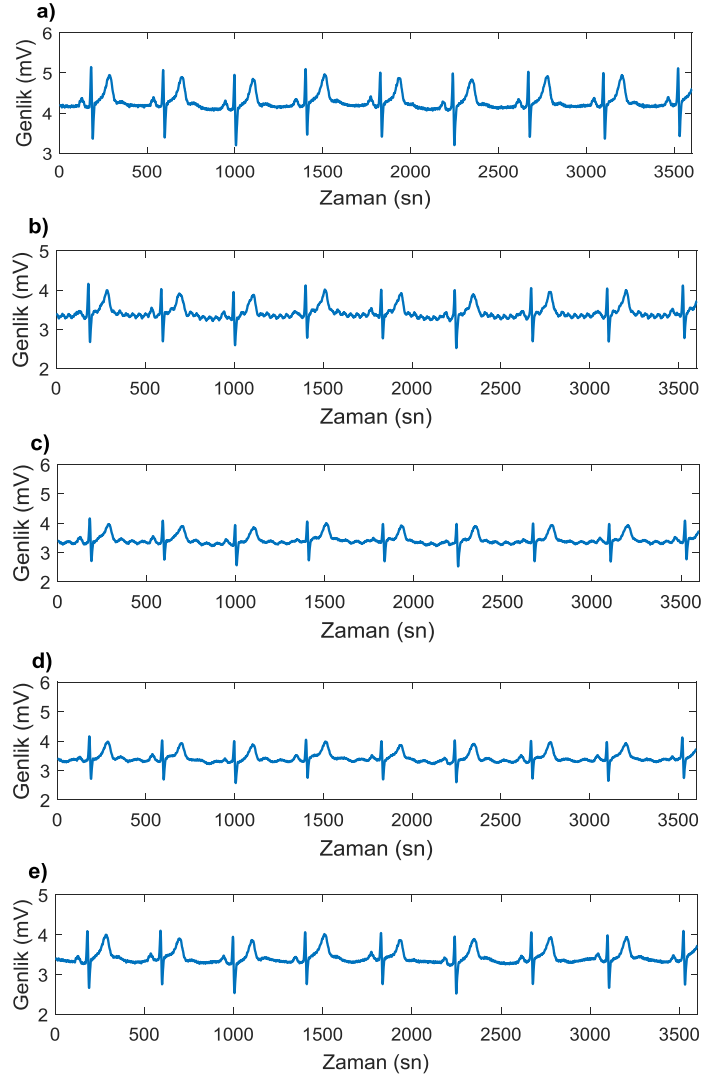
Burada $h(t)$ ele alınan EKG işaretini, $n(t)$ ise gürültü sinyalini göstermektedir. Ayrıca gürültüden arındırılan EKG işaretinde korunan bilginin kalitesini değerlendirmek için OKHK ölçütü kullanılmıştır. OKHK matematiksel olarak şöyle tanımlanmaktadır:

$$OKHK = \sqrt{\frac{\sum_{t=0}^{L-1} (h(t) - \hat{h}(t))^2}{L}} \quad (8)$$

Burada $\hat{h}(t)$ yeniden oluşturulan EKG işaretini, L ise EKG işaretinin uzunluğunu göstermektedir.

3.2. Gerçek gürültüler üzerinde deneysel sonuçlar

Deneysel çalışmalarda MIT-BIH veri tabanından alınan altı farklı EKG sinyaline üç farklı genlikte gerçek EM ve MA gürültüleri eklenerek yöntemlerin performansları incelenmiştir. Şekil 2’de MIT-BIH veri tabanındaki 117 nolu işarete eklenen gürültü için yöntemlerin deneysel sonuçları görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) 117 kayıt nolu orijinal EKG işareti, (b) orijinal işarete 1.25 dB SGO’ya sahip olan gürültü eklenmiş EKG işareti, (c) WT-alt bant yöntemi, (d) geleneksel S-dönüşüm yöntemi, e) önerilen yöntem.

Orijinal EKG işareti ile aynı aralıkta frekans bileşenleri içeren gerçek gürültüde WT-alt bant yöntemi istenen düzeyde başarı elde edemezken, geleneksel S-dönüşümü yöntemi WT-alt bant yöntemine göre daha başarılı sonuçlar elde etmektedir. Ancak S-dönüşümü yöntemindeki morfolojik işlemler aynı frekans aralığındaki bazı gürültüleri gidermede başarısız kalmaktadır. Morfolojik filtreleme adımlarının her birinde farklı yapı elemanı inşa edildiği için, özellikle ilk yapı elemanlarının elde ettiği yanlış filtreleme sonraki tüm morfolojik adımların performansının bozulmasına yol açmıştır. Önerilen yöntem ise özellikle düzenli davranış sergilemeyen gürültülerde sekiz farklı yönde yaptığı difüzyona dayalı filtreleme ile gürültü frekans bileşenlerini ortadan kaldırmada üstünlük göstermiştir. Önerilen yöntem kullandığı hibrit filtreleme ile S-dönüşümü yönteminin performansının filtreleme adımında da korunmasını sağlamıştır. Böylece işaretteki gürültü kaldırılırken aynı zamanda işaretin kalitesi artırılmıştır.

Tablo 1 ve 2’de WT-alt bant, geleneksel S-dönüşümü ve önerilen hibrit S-dönüşümü yöntemlerinin farklı genliklerdeki gerçek gürültüler açısından iyileştirilen EKG işaretlerinde elde ettikleri başarının SGO ve OKHK metrikleri yönünden karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 1’de WT-alt bant yöntemi işaretlerin SGO ve OKHK değerlerinde kısmi iyileştirmeler yapmıştır. Geleneksel S-dönüşümü tüm işaretlerdeki gerçek MA gürültülerinde WT-alt bant yöntemine göre daha performans sergilemiştir. 5 dB giriş SGO’lu 103 nolu EKG kaydında WT-alt bant yöntemi 6.40 dB SGO değeri elde ederken, geleneksel S-dönüşümü yöntemi 12.63 dB SGO’ya ulaşmaktadır. Önerilen hibrit S-dönüşümü yöntemi ise 12.76 dB SGO elde etmiştir. Benzer performans OKHK ölçümlerinde de elde edilmiştir. 103 nolu EKG kaydında WT-alt bant, S-dönüşümü ve önerilen hibrit S-dönüşümü yöntemlerinin OKHK değerleri sırasıyla 0.48 dB, 0.23 dB ve 0.21 dB olarak hesaplanmıştır. Önerilen yöntem diğer EKG işaret kayıtlarında da MA gürültüsünü temizlemede benzer başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Tablo 1. Gerçek MA gürültüleri için deneysel sonuçlar.

MIT-BIH kayıt no			103	105	111	122	205	230
WT-alt bant yöntemi	0 dB	SGO	1.62	1.67	1.49	1.64	1.72	1.67
		OKHK	0.83	0.83	0.85	0.83	0.82	0.83
	1.25 dB	SGO	2.82	2.90	2.70	2.86	2.95	2.87
		OKHK	0.73	0.72	0.73	0.72	0.71	0.72
	5 dB	SGO	6.40	6.49	6.17	6.49	6.54	6.49
		OKHK	0.48	0.47	0.49	0.47	0.47	0.47
S-dönüşümü yöntemi	0 dB	SGO	10.41	10.02	8.21	9.20	8.32	8.70
		OKHK	0.30	0.31	0.38	0.34	0.38	0.36
	1.25 dB	SGO	10.89	10.42	8.66	9.67	8.61	9.01
		OKHK	0.28	0.30	0.36	0.32	0.37	0.35
	5 dB	SGO	12.63	12.76	9.94	11.69	9.91	10.15
		OKHK	0.23	0.23	0.31	0.26	0.32	0.31
Önerilen yöntem	0 dB	SGO	10.53	10.81	8.17	9.18	8.39	8.65
		OKHK	0.27	0.26	0.28	0.35	0.37	0.38
	1.25 dB	SGO	11.24	10.56	8.72	9.72	8.95	8.92
		OKHK	0.26	0.25	0.34	0.30	0.34	0.37
	5 dB	SGO	12.76	12.70	10.23	11.83	10.24	10.03
		OKHK	0.21	0.24	0.28	0.24	0.29	0.32

Tablo 2’de benzer şekilde gerçek EM gürültüleri eklenen bazı işaretlerin farklı yöntemlerle gürültü açısından iyileştirilmesine ilişkin SGO ve OKHK sonuçları görülmektedir. EM gürültüsü EKG kaydı esnasında kaslardaki elektriksel gerilimlerinin toplamını ifade etmektedir. Bu gürültü sinyalinin genliği çok küçük olup EKG sinyalinin frekans bandı ile örtüşen bir yapıda olduğu için basit yöntemlerle EKG sinyalinden ayrıştırılması zordur.

Deneysel sonuçlarda özellikle WT-alt bant yöntemi EM gürültüsü gidermede genel olarak başarısız kalmıştır. Ancak S-dönüşümü temelli yöntemlerin daha kaliteli ve gürültüden arındırılmış EKG işareti sundukları görülmüştür. Özellikle önerilen yöntem 122 nolu işaret kaydında 10.56 dB gibi önemli bir SGO oranı yakalamıştır. OKHK açısından da önerilen yöntemin daha düşük değerler üreterek işaretin kalitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Önerilen S-dönüşümü yöntemi ile geleneksel S-dönüşümü yöntemi arasında temel fark filtreleme prosedüründeki temel yaklaşımdan kaynaklanmaktadır.

Daha öncede vurgulandığı gibi morfolojik işlemler işaretlerdeki gürültülerin sergilemiş oldukları doğrusal olmayan davranışlardan ciddi oranda etkilenmektedir. Hâlbuki arka plan gürültüsü gibi gürültü tiplerinde kararlı çalışan bu işlemlerin içerdikleri yapı elemanları uyarlanabilir bir dinamik davranış biçimine sahip olmadıklarında, orijinal işarete benzer frekans bileşenleri içeren gürültü tiplerinde istenen başarıya ulaşamamaktadırlar. Önerilen yöntem ise S-dönüşümü yönteminin morfolojik filtreleme ile maruz kaldığı zayıflığı iki boyutlu eşyönlü lineer olmayan difüzyon filtreleme ile daha iyi bir noktada çözebilmektedir. Bu filtreleme yönteminde gürültü bileşenleri lokal olarak yumuşatma işlemine tabi tutulur [15]. Özellikle EKG işaretindeki QRS bileşenleri ve diğer önemli bileşenlerin başlangıç noktaları ve ilgili aralıkları bu filtre ile belirginleştirilerek işaretin kalitesi ve yorumlanabilmesi kolaylaştırılır. Morfolojik filtreleme ile gürültü kaldırılırken işarettaki önemli dönüm noktaları ve QRS aralıkları bulanık bir yapıya kayabilmekte iken, eşyönlü

filtreleme ile önemli dönüm noktalarının zamansal lokalizasyonu daha iyi sağlanmıştır. Bunun sonucunda sık karşılaşılan gerçek gürültülerde işaretin gürültüsü giderilirken aynı zamanda kalitesi de bir miktar artırılmıştır.

Tablo 2. Gerçek EM gürültüleri için deneysel sonuçlar.

MI-BIH kayıt no			103	105	111	122	205	230
WT-alt bant yöntemi	0 dB	SGO	0.26	0.27	0.30	0.01	0.57	0.26
		OKHK	0.94	0.93	0.93	0.90	0.93	0.89
	1.25 dB	SGO	1.51	1.58	1.56	1.75	1.87	1.65
		OKHK	0.83	0.83	0.83	0.81	0.80	0.82
	5 dB	SGO	5.29	5.30	5.30	5.53	5.76	5.39
		OKHK	0.54	0.54	0.54	0.52	0.51	0.53
S-dönüşümü yöntemi	0 dB	SGO	6.41	6.13	5.45	5.87	5.59	6.29
		OKHK	0.47	0.49	0.53	0.50	0.52	0.48
	1.25 dB	SGO	7.47	7.35	6.4	6.96	6.47	7.48
		OKHK	0.42	0.42	0.47	0.44	0.47	0.42
	5 dB	SGO	10.32	10.40	8.54	9.60	8.55	10.45
		OKHK	0.30	0.30	0.37	0.33	0.37	0.30
Önerilen yöntem	0 dB	SGO	6.37	6.08	5.67	6.02	5.47	6.34
		OKHK	0.49	0.52	0.50	0.47	0.56	0.50
	1.25 dB	SGO	7.68	7.49	6.62	7.06	6.56	7.42
		OKHK	0.40	0.41	0.43	0.41	0.45	0.43
	5 dB	SGO	11.04	10.58	8.67	10.56	8.63	10.51
		OKHK	0.27	0.28	0.35	0.29	0.34	0.28

4. Sonuçlar

Bu çalışmada S-dönüşümü ve iki boyutlu eşyönsüz lineer olmayan difüzyon filtreleme yöntemleri birlikte kullanılarak EKG işaretlerindeki gerçek MA ve EM gürültülerini kaldıran hibrit bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ele alınan işaret ile ilgili herhangi bir öncül bilgiye ihtiyaç duymadan işaretteki gürültü bileşenlerini kaldırmaktadır. Orijinal EKG işareti öncelikle S-dönüşümü ile zaman-frekans alanında temsil edilmiştir. Sonraki adımda işaretteki yüksek frekans bileşenlerine sahip gürültüler kaldırılmıştır. Önerilen yöntemin üçüncü adımında QRS bileşenleri arasında kalan bölgeye yönelik maskeleme işlemi uygulanarak bu bölgedeki gürültüler kaldırılmıştır. Dördüncü adımda iki boyutlu maskelenmiş işaret matrisine yine iki boyutlu eşyönsüz difüzyon filtreleme işlemi iteratif bir yol ile uygulanmış ve işaretin önemli bileşen noktalarındaki gürültüler giderilmekle beraber işaretin kalitesini arttıran yumuşatma işlemi uygulanmıştır. Önerilen yöntem MA ve EM türündeki gerçek gürültülerle üç farklı SGO seviyesi için test edilmiştir. Elde edilen SGO ve OKHK sonuçları incelendiğinde, önerilen yöntemin özellikle geleneksel S-dönüşümü yönteminin performansında iyileştirmeler yaptığı görülmüştür. Ayrıca dalgacık dönüşümü kullanan WT- alt bant yöntemine göre de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle önerilen yöntem gelecekte yapılması planlanan çalışmalar ile gerçek MA ve EM gürültüsü içeren farklı karakteristikteki EKG işaretlerinde gürültü gidermek için kullanılacaktır. Bununla birlikte iki boyutlu eşyönsüz difüzyon filtreleme yönteminin parametrelerinin optimal olarak ayarlanabileceği çalışmalar yürütülmelidir. Bunun sonucunda önerilen yöntemin tüm EKG işaretlerinde sorunsuz çalışması ve işarete istenen düzeyde iyileştirme yapması sağlanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Barros AK, Mansour A, Ohnishi, N. Removing artifacts from electrocardiographic signals using independent components analysis. *Neurocomputing* 1998; 22(1-3): 173-186.
- [2] Wang F, Ji Z. Application of the dual-tree complex wavelet transform in biomedical signal denoising. *Bio-Med. Mater. Eng.* 2014; 24(1): 109-115.
- [3] El B'charri, O, Latif R, Elmansouri K, Abenaou A, Jenkal W. ECG signal performance de-noising assessment based on threshold tuning of dual-tree wavelet transform. *Biomed. Eng. Online* 2017; 16(26): 1-26.
- [4] Poornachandra S. Wavelet-based denoising using subband dependent threshold for ECG signals. *Digital Signal Process.*

- 2008; 18(1): 49–55.
- [5] Ho CYF, Ling BWK, Wong TPL, Chan AYP, Tam PKS. Fuzzy multiwavelet denoising on ECG signal. *Electron. Lett.* 2003; 39(16): 1163-1164.
- [6] Thakor NV, Zhu YS. Applications of adaptive filtering to ECG analysis: noise cancellation and arrhythmia detection. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1991; 38(8): 785-794.
- [7] Tayel MB, Eltrass AS, Ammar AI. A new multi-stage combined kernel filtering approach for ECG noise removal. *J. Electrocardiol.* 2017; 51(2): 265-275.
- [8] Xiong P, Wang H, Liu M, Zhou S, Hou Z, Liu X. ECG signal enhancement based on improved denoising auto-encoder. *Eng. App. Artif. Intell.* 2016; 52: 194-202.
- [9] Erçelebi E. Electrocardiogram signals de-noising using lifting-based discrete wavelet transform. *Comput. Biol. Med.* 2004; 34(6): 479-493.
- [10] Smital L, Vitek M, Kozumplík J, Provazník I. Adaptive wavelet wiener filtering of ECG Signals. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2013; 60(2): 437–445.
- [11] Ari S, Das MK, Chacko A. ECG signal enhancement using S-Transform. *Comput. Biol. Med.* 2013; 43(6): 649–660.
- [12] Das MK, Ari S. Analysis of ECG signal denoising method based on S-transform. *IRBM* 2013; 34(6): 362–370.
- [13] Rodrigues R, Couto P. A. Neural Network Approach to ECG Denoising. *Cs.CE* 2012; 1–15. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1212.5217>.
- [14] Stockwell RG. A basis for efficient representation of the S-transform. *Digital Signal Process.* 2007;17(1): 371–393.
- [15] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 1990; 12(7): 629–639.
- [16] MIT-BIH Arrhythmia Database. [Online]. Available: <https://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/>.
- [17] PhysioBank ATM. [Online]. Available: <https://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>.

Hücre Boşlukları Köpük ile Doldurulmuş Kompozit Sandviç Levhaların Basma ve Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi

Burak KIYAK¹, Mete Onur KAMAN^{2*}

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ bkiyak@firat.edu.tr, ² mkaman@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 07/03/2018;

Kabul/Accepted: 01/12/2018)

Özet: Bu çalışmada, çekirdek yapısı ve yüzey kapakları karbon fiber kompozit malzemeden oluşan sandviç levhalar üretilmiş ve çekirdek hücreleri poliüretan köpük ile doldurulmuştur. Sandviç kompozitlerin hücreleri kare kesitli olup çekirdek yapı üretimi, herhangi bir yapıştırıcı malzeme kullanılmadan yapılmıştır. Üretimi tamamlanan numunelere, basma ve üç nokta eğme testi uygulanarak kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Sonuçta numunelerin basma ve eğilme dayanımları hesaplanmış ve hasar davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, çekirdek yapı hücre boşluklarının köpükle doldurulması, sandviç levhaların basma ve eğilme dayanımlarını önemli oranda etkilememiş, kısmi olarak azalmasına neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: Fiber takviyeli kompozitler, sandviç levha, basma testi, eğilme.

Investigation of Compressive and Bending Strength of Foam Filled Composite Sandwich Plates

Abstract: In this study, sandwich plates consisting of core structure and surface plate made of carbon fiber composite material were produced and the core cells were filled with polyurethane foam. The cells of the sandwich composites have square cross-sections and the core structure production is made without using any adhesive material. Force-displacement graphs were obtained by applying compression and three-point bending test to the finished samples. As a result, the compressive and bending strengths of the specimens were calculated and the damage behavior was investigated. The results are presented in graphical form. According to the results obtained from the experimental studies, the foam filling of the core structure cell cavities did not significantly affect the compressive and bending strengths of the sandwich specimens. However, it caused a partial decline.

Key words: Fiber reinforced composites, sandwich plate, compression test, bending.

1. Giriş

Sandviç levhalar; iki ince plaka ve nispeten daha kalın bir çekirdek yapının bir ara yüzey yapıştırıcısı ile birleştirilmesiyle elde edilen ve yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olan tabakalı bir kompozit malzeme olarak tanımlanabilir. Fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler günümüzde uzay, deniz ve havacılık sektöründe sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Çekirdek yapısı alüminyum, yüzey kapakları ise kompozit malzemelerden yapılan sandviç yapılar uçaklarda kanat bölgesinde tercih edilir. Özellikle havacılık sektöründe, malzemelerden beklenen hafiflik ve yüksek dayanım, fiber takviyeli kompozit malzemeler ile sağlanır. Bu üstün özellikleri ile sandviç yapılar bu konu üzerine çalışmaların yoğunlaşmasını sağlamıştır [1-3].

Fiedler ve Ochsner [4], farklı hücre tipindeki sandviç yapıların eğilme davranışlarını inceleyerek bu yapıların eğilme dayanımlarını ve hasar tiplerini belirlemişlerdir. Hücre malzemesi olarak; petek, alüminyum, köpük ve küre şeklinde boşluklu metal yapılar kullanmışlardır. Çekirdek bölgesinin tamamen kompozit malzemelerden üretilmesi ise yeni bir yaklaşımdır. Lim ve Kang [5], basma yükü altında tetrahedral ve kagome kafes şeklinde çekirdek yapılarına sahip olan sandviç levhaların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu iki tip çekirdek yapıdan kagome kafes çekirdek yapısına sahip olan sandviç plakanın daha üstün enerji absorbe etme özelliğine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Xiong ve diğ. [6], karbon fiber kompozit çekirdekli, yumurta kolisine ve piramit şekline benzer iki farklı çekirdek yapısına sahip sandviç yapı üretmişlerdir. Daha sonra iki farklı çekirdek yapısına sahip bu numunelere, yüzey levhalarındaki büzülme ve kırılma, çekirdek kısmındaki kırılma ve bağlar arası kopma dikkate alınarak üç nokta eğme deneyini uygulamışlardır ve maksimum yer değiştirmeyi deneysel ve analitik olarak bulmuşlardır. Gao ve diğ [7], geliştirdikleri güçlendirilmiş piramidal kafes çekirdek yapıları sandviç yapıların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Xu ve diğ. [8], çalışmalarında

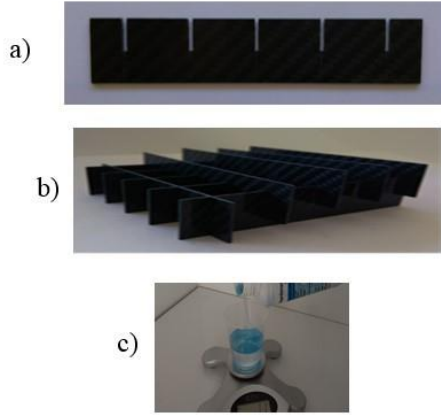
* Sorumlu yazar: mkaman@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9088-9154, ² 0000-0003-0178-6079

otomatik kesme ve kalıp pres işlemlerine dayalı olarak ürettikleri kademeli kıvrımlı kafes çekirdek yapısına sahip sandviç kirişlerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Sun ve diğ. [9], ızgara takviyeli petek ara tabakalı kompozit sandviç yapıların mekanik özelliklerini araştırmak için basma testleri yapmışlardır. Bu tipteki bir sandviç yapının özgül rijitliği ve enerji absorbe etme yeteneğinde bir artış gözlemlemişlerdir. Sun ve diğ. [10], üç farklı geometriye sahip kademeli oluklu çekirdek yapısına sahip olan sandviç paneller modelleyerek eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Geometrik parametrenin sandviç yapı eğilme dayanımını ve hasar oluşum türünü nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Wang ve diğ. [11], X-tip kafes çekirdek olarak adlandırdıkları yeni bir çekirdek yapı geliştirmişlerdir. Bu tip çekirdek yapısına sahip sandviç levhaların mekanik özelliklerini ve hasar oluşum türlerini, deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Yu ve diğ. [12], çelik oluklu sandviç yapıların oluk yapısına paralel ve dik olacak doğrultularda eğilme dayanımlarını deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Böylece kritik yükü belirlemiş, numunelerde meydana gelen hasar oluşum türlerini ve yapıştırıcı malzemenin hasar oluşumu üzerine etkisini incelemişlerdir.

Sandviç kompozitler ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alındığında, çalışmaların birçoğu sandviç levha çekirdek yapısına yoğunlaşmıştır. Bunun sonucu olarak çekirdek yapının, sandviç levhanın mekanik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahip olduğu söylenebilir. Dolayısıyla bu çalışmada da sandviç levha çekirdek yapısı üzerine yoğunlaşmıştır. Geleneksel sandviç malzemelerden farklı olarak çekirdek yapısında karbon fiber kompozit, hücre yapısı olarak kare kesit ve üretim yöntemi olarak ise yapıştırıcı bağlantılar yerine sıkı geçme tekniği kullanılmıştır. Ayrıca hücre boşlukları poliüretan köpük ile doldurularak köpüğün, basma ve eğilme dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir. Basma ve eğilme deneyinden elde edilen sonuçlar grafik şeklinde sunularak, deneysel çalışmalar sonucunda numunelerde meydana gelen hasar oluşum türleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

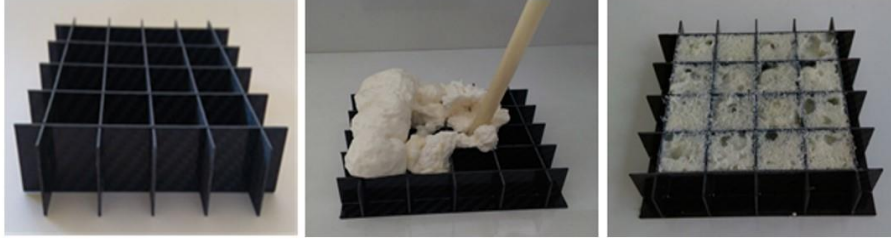
Çekirdek hücre boşluklarının köpük ile doldurulmasının, sandviç yapılarda mekanik özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla basma testi için 100 mm x 100 mm yüzey ölçülerinde, üç nokta eğme testi için 100 mm x 180 mm yüzey ölçülerinde ve 20 mm çekirdek yüksekliğine sahip numuneler üretilmiştir. Üretim tamamen karbon fiber kompozit malzeme kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1. (a) Kanal açılmış karbon fiber kompozit (b) sıkı geçme ile çekirdek yapı üretimi (c) yapıştırıcı malzemenin hazırlanması [12].

Sandviç kompozitlerin imalatı; çekirdek yapı üretimi ve çekirdek yapı ile yüzey kapaklarının birleştirilmesi adımlarından oluşmaktadır. Çekirdek yapı, yapıyı oluşturan şerit kompozitlere açılan kanallar yardımıyla (Şekil 1.a), herhangi bir yapıştırıcı malzeme kullanılmadan üretilmiştir (Şekil 1b). Üretimi tamamlanan çekirdek yapılar epoksi reçine kullanılarak yüzey kapaklarıyla birleştirilmiştir. Bu işlem için, yapıştırıcı malzeme olarak *MGS LR160* epoksi reçine ve *MGS LH160* sertleştirici kullanılmıştır.

Öncelikli olarak 4 birim epoksi reçine ile 1 birim sertleştirici karıştırılarak yapıştırıcı malzeme uygulamaya hazır hale getirilmiş (Şekil 1.c) ve bir fırça yardımıyla yüzey kapaklara uygulanmıştır. Çekirdek yapı, yapıştırıcı uygulanmış yüzey kapakları arasına yerleştirilerek uygun bir basınç altında 24 saat süre için oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Köpüklü tip numunelerde ise bu işlem, hücre boşluklarına köpük doldurma işleminden (Şekil 2) sonra yapılmıştır.

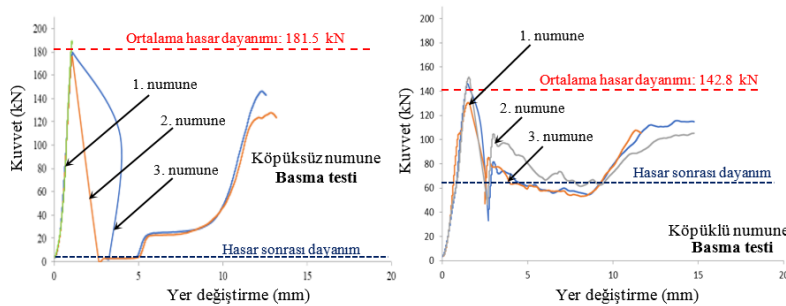


Şekil 2. Hücre boşluklarının poliüretan köpükle doldurulması [12].

3. Sonuçlar ve Tartışma

Üretimi tamamlanan sandviç kompozitlerin mekanik özellikleri, basma ve üç nokta eğme testleriyle belirlenmiştir. Bu işlem için 300 kN kapasiteli universal çekme-basma test cihazı kullanılmış ve deneysel çalışmalar 0.5 mm/dk'lık bir basma hızı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, daha kesin sonuçlar elde etmek amacıyla her tip numune için üçer kez tekrarlanmıştır. Şekil 3a'da köpüksüz tip numunelerin basma testinden elde edilen kuvvet- yer değiştirme grafiği verilmiştir. Köpüksüz tip numunelerin basma testinden elde edilen maksimum basma dayanımı 189.2 kN, minimum basma dayanımı 176.1 kN ve ortalama basma dayanımı ise 181.5 kN olarak belirlenmiştir [12-13]. Maksimum basma dayanımına sahip olan numuneye, 189.2 kN'a kadar kuvvet uygulanmış ancak numunede herhangi bir deformasyon meydana gelmediği için deney bu noktada sonlandırılmıştır.

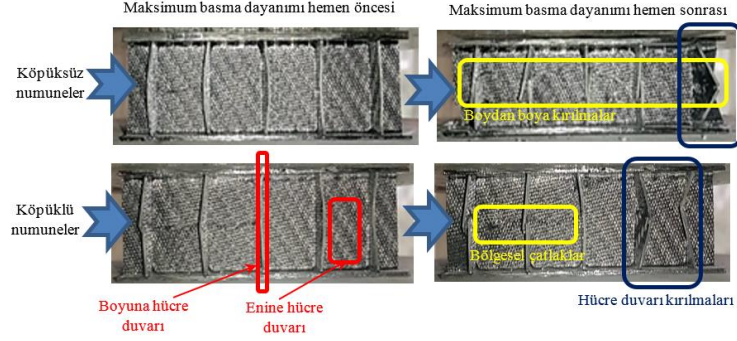
Şekil 3b'de ise köpüklü tip numunelerin basma testinden elde edilen kuvvet- yer değiştirme grafiği verilmiştir. Köpüklü tip numunelerde ise maksimum basma dayanımı 151.4 kN, minimum basma dayanımı 130.6 kN ve ortalama basma dayanımı 142.8 kN olarak belirlenmiştir. Her iki numune tipine ait grafik incelendiğinde, köpüksüz tip numunelerde kritik yük sonrasında kuvvet, ani bir şekilde sıfır noktasına kadar düşmüştür. Köpüklü tip numunelerde de kritik yük sonrası benzer şekilde ani düşüş görülmekle birlikte kuvvet belli bir noktada (~ 60-80 kN arasında) kalmıştır. Bu durumda, kritik yük sonrasında çekirdek yapıda meydana gelen ani kırılma sonucunda numune üzerine gelen darbenin, hücre boşluklarında bulunan köpük tarafından sönümlendiği söylenebilir. Daha sonra ise yükün artmasına bağlı olarak hücre ezilmeleri başlamış ve 10 mm yer değiştirme değerinden sonra yük tekrar artmaya başlamıştır (Şekil 3). Şekil 4'te basma testinden elde edilen maksimum basma dayanımı hemen öncesi çekirdek hücre duvarlarında meydana gelen burkulmalar ve maksimum basma dayanımı hemen sonrası, deforme olmuş numuneler görülmektedir. Numunelerde meydana gelen hasar oluşum türleri; köpüksüz tip numunelerde enine ve boyuna hücre duvarlarında boydan boya ezilme ve kırılma şeklinde, köpüklü tip numunelerde ise enine hücre duvarlarında kısmi çatlaklar ve boyuna hücre duvarlarında kırılma şeklinde olmuştur.



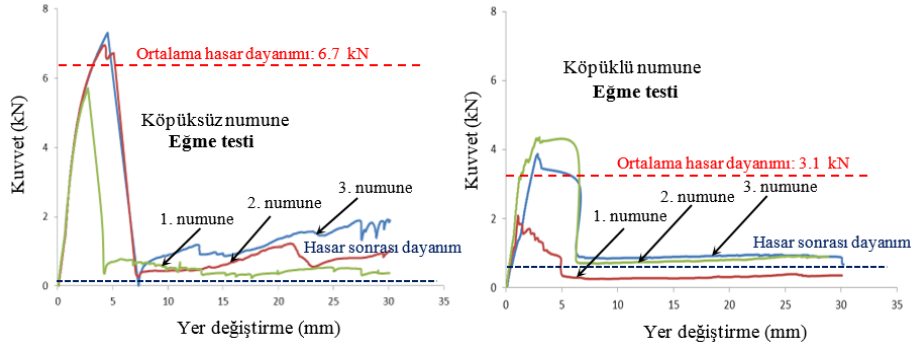
Şekil 3. Basma deneyine ait kuvvet- yer değiştirme grafikleri.

Köpük kullanımının basma dayanımını kompozit yapılarda kısmi olarak [14], özellikle alüminyum çekirdek yapısında [15, 16] artırdığı bilinmektedir. Ancak kullanılan üretim yönteminde çekirdek oluşumunda yapıyı oluşturan köpük kullanılmadığı için, köpük kuruması esnasında ortaya çıkan genişleme basıncı hücre duvarlarına etki ederek, lokal eksen kaymalarına devamında ise erken burkulmaların meydana gelmesine sebep olmuştur. Ayrıca köpük dolgununun minimum hava boşluğu olacak şekilde yapılması önemlidir. Düşük köpük yoğunluğu sandviç dayanımını düşürmektedir [17]. Basma testi tamamlanan köpüklü ve köpüksüz tip çekirdek yapıya sahip olan numunelere üç nokta eğme deneyi uygulanarak eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Bu işlem için 100 mm x 180 mm yüzey ölçülerine sahip olan numuneler, aralarında 140 mm mesafe bulunan iki sabit mesnet üzerine, uç

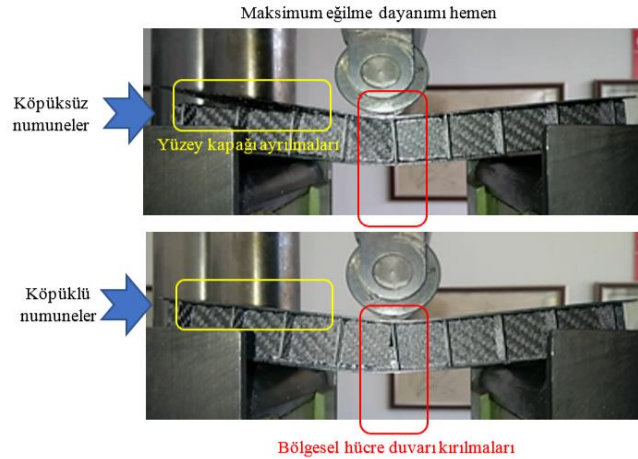
noktalardan 20 mm bırakılarak konumlandırılmış ve orta noktasında kuvvet uygulanmıştır. Şekil 5'te köpüklü ve köpüksüz tip numunelere ait üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-sehim grafikleri verilmiştir. Üç nokta eğme testinden elde edilen ortalama eğilme dayanımları köpüksüz tip numuneler için 6.7 kN iken köpüklü tip numunelerde bu değer 3.1 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Basma yükü altındaki numunelerde meydana gelen hasar tipleri.



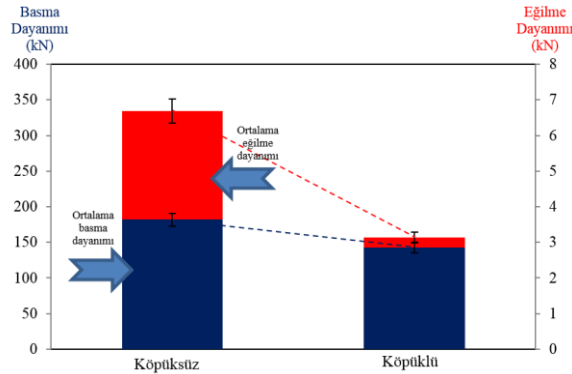
Şekil 5. Üç nokta eğme deneyine ait kuvvet yer değiştirme grafikleri.



Şekil 6. Eğme yükü altındaki numunelerde meydana gelen hasar tipleri.

Verilen grafikler incelenirse, köpüksüz tip numunelerde kuvvet belirli bir noktaya kadar lineer bir şekilde artarken daha sonrasında ise lineerlikten sapmıştır. Lineerlikten saptığı noktada ara yüzey bağlantısını sağlayan yapıştırıcı malzeme hasara uğramış ve yüzey kapak çekirdek yapıdan ayrılmıştır. Bu noktadan sonra yük bir miktar daha artmış ve ikinci hasar olarak çekirdek yapı enine hücre duvarları kırılarak numune deforme

olmuştur. Bu durum ise kuvvet-sehim grafiğinde yükün ani düşmesine sebep olmuştur. Köpüklü tip numunelerde ise kritik yük belirli bir sehim miktarı boyunca yaklaşık olarak sabit kalmış ve yükte ani düşme sonucunda kuvvet sıfır noktasına düşmeden bir kuvvet noktasında sabit kalmıştır. Şekil 6’da ise numunelerin üç nokta eğme testinden elde edilen maksimum basma dayanımı hemen sonrasında ait görüntüler verilmiştir. Her iki tip numune için meydana gelen hasar türleri aynı olup enine hücre duvarlarında kırılma ve yüzey kapakların çekirdek yapıdan ayrılması şeklinde olmuştur. Şekil 7’de numunelerin basma ve eğme testlerinden elde edilmiş olan maksimum ortalama basma ve eğilme dayanımlarına ait değerler gösterilmektedir. Verilen grafik incelenirse hücre boşluklarının köpükle doldurulması numunelerin basma dayanımını %21.3 oranında azaltırken eğilme dayanımının %53.7 oranında bir azalmaya sebep olmuştur. Ancak köpüklü ve köpüksüz numuneler için eğilme dayanımının (sırasıyla: 181.5 kN, 142.8 kN) basma dayanımı (sırasıyla: 142.8 kN, 3.1 kN) yanında oldukça küçük olduğu da unutulmamalıdır.



Şekil 7. Köpüklü ve köpüksüz tip numunelere ait maksimum ortalama basma ve eğilme dayanımları.

Bu çalışmada tamamen karbon fiber/epoksi malzemeden oluşan sandviç levhaların üretimi yapılmıştır. Sandviç levhaların çekirdek yapıları herhangi bir yapıstırıcı malzeme kullanılmadan, sıkı geçme yöntemi ile üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla çekirdek hücre boşlukları köpüklü ve köpüksüz olmak üzere iki farklı şekilde üretilen sandviç numunelerin eğilme ve basma dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir;

- Çekirdek yapı malzemesi olarak alüminyum gibi geleneksel malzemeler yerine karbon fiber kompozit kullanımı sandviç levha dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır. Üretilen sandviç levhalarda kullanılan kompozit malzemeler nedeniyle 100 mmx100 mm boyutunda yüzey kapağı boyutlarına sahip numuneler için ortalama 181.5 kN değerinde oldukça yüksek basma dayanımları elde edilmiştir. Ayrıca üretim yöntemi olarak sıkı geçme tekniğinin kullanılması yapıstırıcı malzeme kullanımını ve üretim zamanını büyük oranda azaltmıştır.
- Hücre boşluklarının köpükle doldurulması numunelerin basma ve eğilme dayanımlarını azaltıcı yönde bir etkiye sahip olmuştur. Bu duruma, köpüğün kururken genişmesi ve buna bağlı olarak çekirdek hücre duvarlarına yaptığı iç basınç nedeniyle yapıstırıcı kullanılmaması sonucu hücre duvarlarında kısmi düzlem kaymalarının dolayısıyla da erken burkulmaların sebep olduğu söylenebilir. Ayrıca köpük dolgusunun hücre içerisine ideal yerleştirilmesi de önemlidir.
- Köpük kullanımı, çekirdek bölgesinde yapıstırıcının kullanılmadığı sandviç levha yoğunluğunu kısmen artırmıştır Aynı zamanda basma dayanımlarını %21.3 oranında ve eğilme dayanımlarını ise %53.7 oranında azaltmıştır. Böylece numunelerin mukavemet/yoğunluk oranının azalmasına sebep olmuştur. Bu oranlar incelendiğinde köpük kullanımının eğilme dayanımı açısından bu tip yapılarda önemli bir parametre olduğu görülebilir.
- Sandviç levhalar karbon fiber-epoksi kompozit malzemelerden meydana geldiği için, oluşturulan sandviç levhalar da oldukça rijit olup, gerilme-şekil değiştirme davranışları lineer elastiktir. Dolayısıyla da deneylerde hasarlar ani olarak gerçekleşmiştir. Bu durum ise köpüklü tip numunelerin enerji sönümleme özelliklerini artırmıştır. Köpüklü tip numunelerde hem basma hem de eğilme hasarı sonunda yük sıfırlanmamış, belirli bir yük değerinde ezilme gerçekleşene kadar sabit kalmıştır. İlk hasar yükü sonrası numunelerin mekanik davranışı, köpüksüz numunelere göre daha başarılıdır.
- Levhalarda meydana gelen hasarlar incelendiğinde ise, basma hasarı sonrasında köpüksüz numunelerde bütün yüzeylerde boydan boya gerçekleşen tam kırılmalar meydana gelmiş, dolayısıyla da yukarıda

belirtildiği gibi yük taşıma kabiliyetleri son bulmuştur. Ancak köpüklü numunelerde kısmi, bölgesel çatlaklar oluşmuştur. Eğilmedeki ilk hasarlar ise özellikle yüzey kapaklarında ayrılma ve arkasından yük uygulama noktasındaki bölgesel burkulmaya bağlı kırılma ve devamında gerçekleşen ezilmelerdir. Daha iyi bir eğilme dayanımı sağlamak amacıyla ideal özgül dayanıma sahip olan numuneler ile sandviç levhalarda yüzey kapakları ile çekirdek arasında daha güçlü bir ara yüzey bağlantısı kullanılmalıdır.

- Üretimi gerçekleştirilen bu tip sandviç yapılarda yüksek basma ve eğilme mukavemeti yanında, üretim kolaylığı ve yapıştırıcı kullanılmaması nedeniyle zaman ve maliyet faydaları elde edilmiştir. Ancak köpük kullanımı basma dayanımında kısmi olarak ilk hasar yüklerini azaltmıştır. Buna karşın basma hasarı sonrası yük taşıma kabiliyetlerinin devam etmesi tasarımcıların dikkat etmesi gereken önemli bir parametredir.

Teşekkür

Bu çalışmayı MF 16.57 kodlu FÜBAB projesi kapsamında destekleyen Fırat Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kaman MO, Solmaz MY, Turan K. Experimental and numerical analysis of critical buckling load of honeycomb sandwich panels. *J Compos Mater* 2010; 44: 2819-2831.
- [2] Solmaz MY, Kaman MO. The effect on the critic buckling load of foam filling on the honeycomb sandwich structures. *e-Journal of New World Sciences Academy* 2010; 5(1): 25-34.
- [3] Solmaz MY, Kaman MO, Turan K, Turgut A. Petek yapıli kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2010; 22: 1-11.
- [4] Fiedler T, Ochsner A. Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core materials. *Materialwiss Werkstofftech* 2008; 39: 121-124.
- [5] Lim J, Kang K. Mechanical behavior of sandwich panels with tetrahedral and kagome truss cores fabricated from wires. *Int J Solids Struct* 2006; 43: 5228-5246.
- [6] Xiong J, Ma L, Stocchi A, Yang J, Wu L, Pan S. Bending response of carbon fiber composite sandwich beams with three dimensional honeycomb cores. *Compos Struct* 2013; 108: 234-242.
- [7] Gao L, Sun Y, Cong L, Chen P. Mechanical behaviours of composite sandwich panel with strengthened pyramidal truss cores. *Compos Struct* 2013; 105: 149-152.
- [8] Xu G, Yang F, Zeng T, Cheng S, Wang Z. Bending behavior of graded corrugated truss core composite sandwich beams. *Compos Struct* 2015; 138: 342-351.
- [9] Sun Z, Shi Z, Guo X, Hu X, Chen H. On compressive properties of composite sandwich structures with grid reinforced honeycomb core. *Composites Part B* 2016; 94: 245-252.
- [10] Sun Y, Guo L, Wang T, Zhong S, Pan H. Bending behavior of composite sandwich structures with graded corrugated truss cores. *Compos Struct* 2018; 185: 446-454.
- [11] Wang B, Hu J, Li Y, Yao Y, Wang S, Ma L. Mechanical properties and failure behavior of the sandwich structures with carbon fiber-reinforced x-type lattice truss core. *Compos Struct* 2018; 185: 619-633.
- [12] Kıyak B, Karbon fiber kompozit çekirdekli sandviç levhaların imalatı ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2017.
- [13] Kıyak B, Kaman MO. Manufacturing of sandwich plate with carbon fiber core and effect on mechanical properties of core height. 8th Int. Advanced Technologies Symposium-(IATS'17), 2017; Fırat University, Elazığ, Turkey.
- [14] Zhang G, Wang B, Ma L, Wu L, Pan S, Yang J. Energy absorption and low velocity impact response of polyurethane foam filled pyramidal lattice core sandwich panels. *Compos Struct* 2014; 108: 304-310.
- [15] Solmaz MY, Şanlıtürk İH, Özben T. Petek yapıli sandviç yapılarda köpük dolgunun kritik burkulma yüküne etkisinin sayısal olarak tespiti. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 2010; Balıkesir.
- [16] Hussein RD, Ruan D, Lu G, Guillow S, Yoon JW. Crushing response of square aluminum tubes filled with polyurethane foam and aluminum honeycomb. *Thin Walled Struct* 2017; 110: 140-154.
- [17] Kadir NA, Aminanda Y, Ibrahim MS, Mokhtar H. Experimental study on energy absorption of foam filled kraft paper honeycomb subjected to quasi-static uniform compression loading. *AEROTECH VI-Innovation in Aerospace Engineering and Technology*, IOP Publishing IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2016; 152, 1- 12.

Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması

Gürkan GÜRGÜZE¹, İbrahim TÜRKOĞLU²

^{*1,2} Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{*1}gurkangurgoze@gmail.com, ^{*2}iturkoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 15/03/2018;

Kabul/Accepted: 21/12/2018)

Özet

Geçmişten günümüze robot dünyası incelendiğinde donanımsal ve yazılımsal alanlarda gerçekleşen atılımlarla robotların, endüstrinin dışında uzay, askeri, tıp, arama kurtarma gibi birçok alanda geniş bir araştırma sahası bulduğu görülmektedir. Daha ayrıntılı ve kapsamlı çalışmaların yapılmasıyla robotların çalışma alanlarına göre ayrıştırılmasına ve bu alanlarda çalışabilecek şekilde planlama algoritmalarının geliştirilmesine gereksinim doğmuştur. Bu gereksinime binaen robotların kullanım alanlarına göre gerek donanımsal algılama sistemleri ve gerekse yönetim algoritmalarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bu makalede ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, robot sistemlerin uygulama alanları, başarımları, eksiklikleri ve temel sorunları ile gelecekte üzerinde araştırma yapılabilecek alanları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Robotların Sınıflandırılması, Mobil Robotlar, Robot Araştırma Konuları, Çoklu Robotlar, Robot Algoritmaları

Classification of Robot Systems According to Application Areas

Abstract:From the past to the present when robotics world is examined, it is seen that robots have found a wide field of research in many fields such as space, military, medicine, search and rescue besides industrial robots with the breakthroughs realized in hardware and software areas. More detailed and comprehensive studies have required the decompose of robots according to their field of work and the development of planning algorithms that can work in these areas. According to this requirement, the comparison of hardware detection systems and management algorithms according to the usage areas of robots is considered in this article. In this study, application areas, achievements, deficiencies and basic problems of robot systems and areas where research can be done in the future are presented comparatively.

Keywords: Classification of Robots, Mobile Robots, Robot Research Topics, Multiple Robots, Robot Algorithms

1. Giriş

İnsanların sürekli olarak kendine yardımcı olacak araçları geliştirme çabası günümüzde hayvanlara, bitkilere ve özellikle kendine benzer cihazları yapma çalışmalarına kadar gitmiştir. Tarihin çeşitli zamanlarında mekanik çalışan robot denemeleri varsa da asıl gelişme 20.yy da olmuştur. 1900'lü yıllarda robotlar dokuma tezgâhlarında yardımcı iş makineleri şeklinde hayatımıza girmiştir. Ancak asıl öngörülen insanların yaptığı işi yapabilen robotlardı. General Motors bu konuda ilk olarak otomotiv endüstrisi montaj alanının da bu tür robotları kullanmıştır. Böylece daha hızlı, maliyeti az, hata oranı düşük ve seri üretimlerin yapıldığı üretim hatları oluşturuldu[1]. Daha sonraki yıllarda elektronik ve yazılım dünyasında büyük atılımların yapılması yapay zekâya dayılı, insan ve doğa özelliklerini üzerinde bulunduran robot sistemlerin hızla gelişmesini sağlamıştır. Özellikle, robotlara yeni donanımsal sistemlerle etkili hareket kabiliyeti kazandırılması robotların sabit üretim alanının dışına çıkmasına uzay, askeri, tıp, arama kurtarma, hizmet sektörü ve ev uygulamaları gibi birçok alanda mobil olarak kullanılmasına imkân vermiştir[2,3]. Başlangıçta mobil robotlarla ilgili çok fonksiyonlu tek yapılı robot sistemler üzerinde çalışılmıştır. İnsansı (humanoid) robotlar çalışmaların yüksek maliyetlerle yapıldığı ilk alanlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bunların kullanım uzaylarının kısıtlılığı, sistemlerinin karmaşık oluşu ve geliştirme maliyetlerinin yüksekliği, daha basit fakat yetenekleri öncekilerden daha fazla olan, kullanımı kolay, ebatları ve maliyetleri düşük donanımsal sistemlerin gelişmesine yol açmıştır[4]. Yazılımların da, paralel olarak bu donanımsal gelişmelere cevap vermesi robot sistemlerin araştırma ve uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Fakat tüm işleri çok fonksiyonlu olarak bir robotun yapması çeşitli aksaklıkları beraberinde getirmiştir. Oluşan herhangi bir sistem hatasında görevin sonlanması, sınırlı hareket alanının yetersizliği, çevreyle istenilen düzeyde etkileşim içerisinde olamaması gibi durumlar aynı görevi birden fazla robotun yapabileceği çoklu robot fikrini ortaya çıkarmıştır. Böylece çok sayıda robotla yapılan görevlerde birinin başarısızlığı diğerlerini etkilemeden görevlerin tamamlanabilme esnekliğini sağlamıştır[5]. Doğayı ve canlıları

¹ Sorumlu yazar: gurkangurgoze@gmail.com_ Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-2831-498X, ² 0000-0003-4938-4167

odak noktası alan robot araştırmaları çoklu robotların geliştirilmesiyle birlikte sürü halindeki canlıların yaşamsal faaliyetlerini, hareketlerini ve davranışlarını inceleyerek onları taklit eden sürü robotlarını ortaya çıkarmıştır[6]. Özellikle bu alandaki çalışmalarda kuş, balık, arı, karınca gibi küçük canlılar üzerinde odaklanılmış ve beraberinde yapıların daha esnek, daha hassas ve daha küçük boyutlara ulaşması sağlanmıştır. Böylece araştırmacılar sivrisinek, arı, su böceği gibi küçük boyutlardaki canlıların daha büyük benzer sistemlerin sorunlarının çözümüne ışık tutacak aynı davranışları sergileyecek biyolojik robotları geliştirmişlerdir[7]. Hatta donanımsal yapılar öyle boyutlara ulaşmıştır ki hayvan ve insan vücudundaki bazı durum ve olayların tespiti amacıyla mikro boyutlarda mikro-nano robot ve ortam bilgisini doğadaki canlılar gibi alabilen duyurga robot çalışmaları yapılmaya başlanmıştır[8]. Bunların yanı sıra insanla aynı ortamda ortak çalışabilen, insanla etkileşimi yüksek, kendi kendine kararlar verebilen robotların mevcut olan başarılı uygulamaları bu alanda işbirlikçi robot ve haptik sistem çalışmalarını arttırmıştır. İşbirlikçi robotlar günümüzde endüstri, hizmet sektörü, ev-ofis gibi ortak çalışma alanlarında insana yardımcı olabilen robotlar olarak görülmektedir[9]. Haptik sistemler ise uzaktan simülatör ve kontrol paneller yardımıyla çeşitli robot sistemlerin hassas kontrolüne imkan vermesi açısından önemli bir yer tutmaya başlamıştır[10]. Robot dünyasındaki bu gelişmeler robot sistemlerin çeşitlenmesini sağlamış ve birçok yeni araştırma alanı ve konusunu ortaya çıkarmıştır.

Bu makalede robotların sınıflandırılması ve son yıllarda üzerinde yoğun çalışılan güncel konuların karşılaştırılmalı irdelenmesi ile hangi alanda ne tür algoritma ve yöntemlerin kullanıldığı ve güncel ne tür problemlerin var olduğu ortaya konulmuştur. İkinci bölümde robotların çalışma ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılması, üçüncü bölümde bu alanda yapılan güncel çalışmalar verilmiş, dördüncü bölümde robotların kullanım alanlarına göre karşılaştırması yapılmış, sonuç ve tartışma kısmında ise genel değerlendirme ve güncel olarak üzerinde çalışılabilecek problemler genel ve detayda ortaya konmuştur.

1. Robotların Sınıflandırılması

Robotlar eklem yapılarına, kullanım alanlarına, işlevsel özelliklerine, kontrol yöntemlerine ve çalışma prensiplerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Tarihi gelişim açısından günümüze kadar genel olarak bu sınıflandırmaya baktığımızda, endüstriyel ve mobil robotlar olarak karşımıza çıkmaktadır[11]. Endüstriyel robotlar eklem sayılarına ve işlevsel özelliklerine göre sınıflandırılırken, mobil robotlar ise genel olarak çalışma prensiplerine, sayılarına, ebatlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda bu sınıflandırmalara ek olarak hem endüstriyel hem de mobil robotlarda insan robot etkileşimini uzaktan çeşitli aygıtlarla yapmamızı sağlayan haptik sistemler farklı bir sınıflandırma olarak karşımıza çıkmaktadır. Mobil robotlar; insansı robotlar, çoklu robotlar, sürü robotları, mikro nano robotlar, biyolojik (biyo-ilhamlı) robotlar, işbirlikçi robotlar ve duyurgalar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

1.1. Endüstriyel robotlar

ISO 8373 tarafından belirlenen özelliklerine göre bir endüstriyel robot “üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatör” şeklinde tanımlanmaktadır. Programlanabilir olup kendi başına iş yapabilme yeteneği günümüze kadar endüstriyel robotların imalat, kesme, taşıma, montaj gibi birçok işi yapmasını sağlamıştır. Sanayide yapılan üretimler hızlanmış, işçilik maliyetleri düşmüş ve üretim miktarları kat be kat artmıştır. İnsan hatalarının önemli olduğu, insan hayatını tehlikeye sokan, dikkat ve hassasiyet gerektiren işlerde tutarlı, tekrarlı, yüksek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Endüstriyel robotlar, işlevlerine, boyutlarına, hassasiyetine, gücüne, kullandığı enerjiye, kontrol yöntemine, hareket yeteneğine ve eklem yapısına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Ancak genel olarak ilk üç uzvunun özelliğine göre sınıflandırılmış bu minvalde kavramsal olarak ifade edilmiştir. Uzvunun yapısına göre kartezyen, silindirik, küresel, döner mafsallı ve scara tip robotlar şeklinde sınıflandırılmaktadır[12].

1.2. Mobil robotlar

Endüstriyel robotlar bilindiği üzere tanımlanmış sınırlı alanlarda çalışabilen, sürekli aynı işleri tekrarlayan sistemler olarak vardır. Günümüzde yenilenen teknolojiler bu yapıların daha etkin çalışmasını sağlamakla birlikte kendi alanlarının dışına çıkmasını ve kendi kendine karar verme yeteneklerine sahip, hareket kabiliyetleri yüksek mobil robotların gelişmesini sağlamıştır. Özellikle endüstriyel ortamlarda malzemelerin robot uzayına taşınması yapılırken mobil robotlar ile problemin uzayına gitme gerçekleştirilerek manevra ve kabiliyet alanı artırılmış böylece yapılacak işlemlerin esneklik, kolaylık, pratiklik kazanması sağlanmıştır. Örneğin, bir arama kurtarma çalışmasında girilemeyen ortamlara girmede, ortam taramada, uzay projelerinde, insansız hava

araçlarında, müdahalesi zor cerrahi operasyonlarda, akademik araştırmalarda etkin ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır[3]. Mobil robotlar; görev alanlarının genişlemesiyle birlikte günümüzde ana çerçevede insansı (humanoid) robotlar, çoklu robotlar, sürü robotları, mikro-nano robotlar, biyo-ilhamlı robotlar, işbirlikçi robotlar ve duyargalar gibi farklı alt türevleri şeklinde geliştirilme alanları bulmuştur.

1.2.1. İnsansı robotlar

İnsan gibi düşünen, konuşan, yürüyen, tepki ve kararlar verebilen akıllı robot fikri 1990'lı yıllardaki elektronik ve mekatronik sistemlerdeki gelişmelerle birlikte hayal olmaktan çıkmış insanlarla birlikte onun gibi çalışan evde, işte ve her alanda işlerini yapabilen makinelerin dünyamıza girme olabirliğini ortaya çıkarmıştır[1]. Bu durum birçok üniversite, devlet ve araştırma şirketlerinin ilgisini çekmiş büyük yatırımlarla geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle dengede kalma problemi, insan gibi karar verme, konuşma, ortam algılama, kendini bilme gibi konular üzerinde durulmuş ve bunların birçoğunda büyük çaplı ilerlemeler gerçekleştirilmiştir[13]. Uzay ve askeri alanlardaki yoğun çalışmalar ile birlikte Honda şirketinin Asimo, Waseda Üniversitesinin WABIAN-RII, Twente Üniversitesinin Tulib, KAIST Mühendisliğin KHR robotları bu alandaki başarılı çalışmalar arasındadır[14]. Türkiye'de ise SURALP robotu bu düzeyde yapılan ilk çalışmalardan biri olarak görülmektedir. İnsansı robot çalışmaları uzay keşif robotlarıyla birlikte robot bilimindeki gelişmelere lokomotif olmuştur.

1.2.2. Çoklu robotlar

Tek robot sistemlerin çoklu görevlilik özellikleri geliştirildikçe yapıları karmaşık hale gelmeye, işlem ve hareket kabiliyetleri sınırlanmaya başlamıştır[5]. Daha sonraları robot sistemlerinin yapısal olarak küçülmesi, düşük maliyetlerde ve ulaşılabilir hale gelmesi tek robot sistemlerin görevlerini birden fazla robotun ortak veya görev paylaşımı yapabileceği çoklu robot sistemlerin doğmasına neden olmuştur[4]. Çoklu robotların, bir birleriyle haberleşerek, koordineli bir şekilde ekip anlayışıyla kısmi ya da tam otonom olarak verilen karmaşık görevleri yapabilme yetenekleri basit, sağlam, güvenilir yapılar olması üstünlükleri olarak ortaya çıkmıştır. Çoklu robotlar heterojen veya homojen ekiplerden oluşabilir. İletişim, ortamı algılama, görev anlayışları farklı olabilir. Çoklu robotlarda amaç hedeflenen görevi, robotların belirlenen donanım ve özelliklerine göre birden fazla robotla gerçekleştirebilmektir. Arama kurtarma, keşif, ortamdan bilgi alma, girilmesi zor tehlikeli ortamlara girme, felaket alanlarında haritalama gibi işlerde son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır[15].

1.2.3. Sürü robotları

Çoklu robotlarda birden fazla robotun istenilen görevi yapması üzerine yapılan çalışmalarda doğada sürü halinde hareket eden canlıların bir araya geldiklerinde yapmış oldukları koordineli ve gelişmiş davranışların homojen robotlarla ortak bir akıl üzerinde yapılabileceği fikri sürü robot mantığını ortaya koymuştur. Özellikle kullanılan donanımsal yapıların mikro düzeyde küçük ve işlevsel hale gelmesi bu alana ilgiyi artırmış ve sürü robotlarının yapılabilmesini mümkün kılmıştır[16]. Çoklu robotlarla kıyaslandığında homojen olması, çalışılan sürünün özelliklerinin, çalışma yapısının, iletişim ve ortam bilgisinin dikkate alınması sağlamlık, ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik noktasında sürünün karşılaştığı benzer problemlerin çözümünde benzer çözümler sunabilmesi farklılıkları olarak gözlenmiştir. Homojen olmaları sağlamlık ve esnekliklerini arttırmış ve yapılan görevlerin sürüdeki robotlardan bağımsızlığını sağlamıştır. Herhangi bir robota bir şey olduğunda sayıca fazlalıklarından dolayı görevleri sonlanmaz[17]. Tüm bu özelliklere rağmen sürü robotları halen gerçek dünyada tam olarak istenilen düzeyde gerçekleştirme imkânı bulmamıştır. Ancak laboratuvar ortamlarında yapılan birçok çalışma mevcuttur. Harvard Üniversitesi tarafından madeni para boyutlarında 1024 tane robottan oluşan kilobot isimli sürü robot topluluğu ve Fraunhofer Enstitüsünün geliştirmiş olduğu karınca robotları bu alanda yapılmış bilinen etkili sürü robotlarıdır.

1.2.4. Mikro-Nano robotlar

Mikro nano robotlar nanometre boyutlarında oluşturulması hedeflenen robotiğin yeni bir araştırma alanıdır. Çok küçük moleküler düzeyde olmaları düşünülen bu robotlarla ilgili ilk teorik çalışma Robert Freitas tarafından ortaya atılmıştır. Özellikle son zamanlarda tıp alanında insanın organlarında dolaşarak çeşitli görevler icra edebileceği düşüncesi bu alandaki çalışmaların artmasını sağlamıştır[18]. Ancak bu çalışmalar birkaç deneysel çalışmaların dışında genellikle laboratuvar ortamında ve düşünülenin ötesinde daha büyük boyutlardaki yapılarda geliştirme aşamasında durmaktadır. Çünkü teknoloji ne kadar ilerlese de mikro düzeyde oluşumlar için

hala daha kısıtlı olarak durmaktadır. Tüm kısıtlamalara rağmen günümüzde tıp alanında tümör ve kanser hücrelerinin tespiti ve bunlara yönelik müdahaleler üzerinde çalışmalar yoğun olarak yer almıştır. Son yapılan bir çalışmada geliştirilen bir kapsül ile bağırsakların gözlemi yapılabilmektedir. Bunların yanında mikro yüzme robotları ile boru hatlarının hasar tespitleri, çeşitli noktaların gözetlenmesi, robot konumlarının önceden belirlenmesi gibi çalışmalarda bulunulmuştur. Çalışmalar incelendiğinde mikro nano robotlarda enerji kaynağı ve devamlılığı, istenilen noktalara yönelim sağlama, hareket kontrolleri, tıp alanındaki uygulamalarda dokulara zarar tespitleri bu alandaki en öne çıkan problemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.2.5. Biyo-ilhamlı robotlar

Mobil robotların son dönemlerde ilgi konularından biride doğadaki canlıları taklit eden ve onlar gibi özellikler sergileyen biyolojik ilhamlı robotlardır. Bu robotların diğerlerinden farkı ilham alınan canlıların kendi doğalarında yapmış oldukları özellikleri yapabilen, aynı veya benzer ortamlara uyum sağlayabilen ve donanımsal olarak modellenen canlıya benzer yapılar olmasıdır[7]. Böylece zor ve karmaşık gelen olayların çözümlenmesi konusunda canlıların bütünsel yapıları gerçekleştirilmiş ve bu alanda yapılan çalışmalarda eksikliklerin giderilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaların sağladığı çözümler daha sonra insanların kullanabileceği ebatlarda geliştirilmelerine ve daha doğal robot yapılarının gerçekleştirilmesine öncülük edecektir.

1.2.6. İşbirlikçi ve etkileşimli robotlar

Bilindiği gibi robotlarla ilgili ilk çalışmalar sanayi ortamlarında ağır yükleri taşımak, iletmek, yerleştirmek veya bazı basit kaba görevleri yapma üzerine yapılmıştır. Daha sonraki dönemlerdeki gelişmeler artık tepkisel robotların geliştirilebilmesine olanak sağlamış ve insanlarla aynı ortamları paylaşacak robotları imkânlı kılmıştır. Günümüzde insanlarla ortak çalışabilen, yardımcı olan ve aynı ortamları güvenli bir şekilde paylaşabilen, tepkisel ve geniş görev yüzeyinde çalışabilen bu robotlara işbirlikçi robotlar denmektedir[9,19]. İşbirlikçi robotlar özellikle insan robot işbirliğine dayalı çalışan robotlardır. Bu robotlar insanların özelliklerini algılayan, davranışlarını kullanıcının yaptıklarına göre ayarlayabilen ve istenilen görevi eksiksiz bir şekilde kendi karar mekanizmalarıyla yapabilen, öğrenme yeteneklerine sahip gelişmiş robotlardır[36]. Endüstride, evlerde, tıp ve hizmet sektörlerinde oldukça etkin çalışma alanları bulmuştur. Endüstride imalat ve montaj işlerinde yardımcı kol ve elemanlar, tıp alanında rehabilitasyonda, cerrahi müdahalelerde, tekerlekli sandalyelerde, ev uygulamalarında, otel, müze gibi hizmet alanlarında bilgilendirici veya refakatçi olarak işbirlikçi robotlar karşımıza çıkmaktadır[10].

1.3. Haptik sistemler

Haptik sistemler; insan bilgisayar etkileşiminin duyularla sağlandığı, geliştirilmiş 3 boyutlu sanal ortamların veya sisteme bağlı aygıtların çeşitli arayüz aygıtlarıyla manipüle edildiği robot teknolojisidir. Sanal ortamın veya aygıtın dokunduğu noktaların hissedilmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Mesela, bağlı olan aygıt çalışma alanında bir noktaya dokunduğunda bu sistemi kontrol eden kişinin de bu dokunma duyusunu hissetmesi buna göre işleri gerçekleştirilmesi sağlanır. Boyama, askeri ve tıbbi uygulamalar, heykeltıraşlık, eğitim, oyunlar gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle tıp alanında bu tür sistemlerin kullanımı cerrahi işlemlerde yaygındır. Bu alanda ilk yapılan haptik sistem çalışması MIT tarafından kuvvet geri beslemeli cerrahi donanım olarak 1995 yılında beyin ameliyatlarında kullanılmıştır. Bunların yanı sıra eğitim simülasyonları ve oyunlarda da sanal ortamların duyuşsal olarak algılanmasında gerçekçi uygulamaların yapılması sağlanmıştır[22].

2. İlgili Çalışmalar

Robotlarla ilgili son yıllardaki çalışmalar incelendiğinde insan-nesne etkileşimi, insan-robot etkileşimi, otonom özellikler, robotların birbirleriyle ortak hareketi, en uygun rotada hareket, çoklu robotların iletişimi, haptik yapıların hassas ve senkron kullanımı, sürü ve çoklu robotların görev paylaşımını çalışmaları, robotlarda duyuşsal algılamalar, denge problemleri, doğru konumlama gibi konular üzerine yoğun çalışmaların olduğu görülmüştür.

Canal ve diğ. Bir robotun sözsüz kanallar vasıtasıyla jestleri, hareketleri ve davranışları tanınması üzerine geliştirilen İnsan robot etkileşimi (HRI) sistemi tanıtılmıştır. Hareket özelliklerine dayalı dinamik zaman uyumsuzlaştırma yaklaşımı kullanılarak jestleri tanıma ve tepki vermesi sağlanmış. Statik duruş da hareket algılanması ve etkileşimde olunup olunmadığı stokastik bölütleme algoritmasıyla tespit edilmiş. Hareketleri RGB

bilgisiyle anlık belirlemek için derin öğrenme yöntemi, dış ortamdan hareket bilgisi almak için ise kinect sensörü kullanılmış. Deney farklı yaş, ırk ve cinsiyetten 67 kişi üzerinde yapılmış. Sonuçta insan jest ve mimiklerinin robotlar tarafından işaret ve hareket olarak algılandığı görülmüş. Bu sayede yaşlı veya özürlü insanların, ihtiyaçlarını gidermek için geliştirilen robotlarla iletişim kurabilmelerinin mümkün olduğu tespit edilmiş[23].

Cherubini ve diğ. İnsan kolu örnek alınarak gerçekleştirilen bir endüstriyel robotun çevre ve insan ile etkileşimi ve işbirliğine dayalı çözüm önerisi sunmuşlardır. Kamera kullanılarak alınan görüntüden insanın hareketlerini algılanması ve buna bağlı olarak alet ve montaj yardımının yapılması sağlanmıştır. Robotun ağır ve yaralanma riski olan alanlarda çalışması operatörlerin yükünü yaklaşık %60 oranında azalttığı ve yaralanmaların önemli ölçüde giderildiği tespit edildi[24].

Skantze ve diğ. İnsan robot etkileşiminde yüz ifadeleri ve sesleri birlikte kullanarak insan davranışını algılama ve bunlara karşı davranış geliştirme üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. IrisTK2 adlı bir açık kaynak kodlu yazılım geliştirilmiş. Baş hareketlerini algılamak için Kinect sensörü kullanılmış. Robot başının karşısındaki insanın etkileşimde olup olmadığını algılaması için Durum Modeli oluşturulmuş. Ses ve yüz ifadelerini birlikte algılama ve anlama için 0.677'lik R değeri veren bir regresyon modeli geliştirilmiş. Yüz ifadesi, baş hareketleri, bakışlar ve tereddütlü ses gibi ince çok modlu ipuçlarını birleştirerek hızlı bir algılamayla daha hızlı tepki vermesi sağlanmış[25].

Sigalas ve diğ. Bu makalede, ziyaretçileri müzelerde ve sergi merkezlerinde yönlendiren bağımsız yönlendirmeli robotlarla doğal etkileşimi desteklemeyi amaçlayan yeni bir el hareket tanıma sistemini anlatıyor. Sistem üst vücut parçasını ve iki kol hareketlerini izleme ve sınıflandırma üzerine çalışmaktadır. Sınıflandırma için kombine oluşturulmuş MLP(Multi Layer Perception)/RBF(Radial Based Fonction) sinir ağı yapısı kullanılmış. MLP standart sınıflandırıcı, RBF ise sistemin bir sonraki durumu için eğitilmiş. RBF'nin çıktısı yine MLP'ye geri beslenerek tanımlamanın tutarlı ve sağlam olması sağlanmış. Başarı %86 oranında elde edilmiş. RBF'nin sistemden çıkarılmasıyla tanımlama hatasının %15'ten fazla olduğu gözlenmiş[26].

Burke ve diğ. Mikro insansız hava aracının, insanların belirlenen beş farklı pandomik jestlerini algılayarak buna göre gürültülü durumlarda dahi haptik sistemler gibi kontrol edilmesi üzerine bir çalışma sunmaktadır. Hareketlerin sınıflandırması için Bayes tabanlı yeni PCA (Principal Component Analysis) sınıflandırıcısı sunulmuş, hareket tanımlamada kinect sensörü kullanılmıştır. Tanımlama doğruluğu %95.1 oranında elde edilmiş. Böylece insan hareketlerinin sezgisel olarak yüksek başarımda algılanabileceği gözlenmiş[27].

S. Makris ve diğ. Bütünleşik çift kol robotunun hareketlerini gerçekleştirmesi için ROS işletim sistemi görev tabanlı sezgisel bir çerçeve program sunulmuştur. Bu program sayesinde robotun daha modüler kullanımı amaçlanmış. Aynı zamanda iki kollu robotun iki ayrı tek kollu yapıya oranla başarımı ve avantajları tartışılmış[28].

Pinillos ve diğ. Tasarlanan bir hizmet robotunun otel ortamında insanlarla olan etkileşimi incelenerek hangi yönlerinin iyileştirilebileceği üzerine bir değerlendirme çalışması yapılmıştır. Değerlendirme 3 aşamada gerçekleştirilmiş. İlk aşamada kullanıcıların etkileşimle hizmet talepleri alınmış. İkinci aşamada, belirlenen metriklere göre iyileştirmeler yapılmış. Üçüncü aşamada ise bu iyileştirmelerin ilerleme sağlayıp sağlamadığı ikinci aşamada belirlenen metriklere göre ölçülmüş. Böylece gelecek tasarımlarda hangi durumların ve ihtiyaçların tasarım sürecinde kullanılacağı ile ilgili bir yaklaşım elde edilmiş[29]. İnsanlarla etkileşim üzerine Kennedy ve diğ. Robotların insanlarla sosyal etkileşime girmesini sağlamak amacıyla insanın yadırgamayacağı hareketleri ve tepkileri vermesini sağlayacak bir model geliştirilmiştir. Tepki oranlarını incelemek için iki taraflı t testi ile bir hipotez oluşturulmuş[30].

P.Leica ve diğ. Robotların hareket kontrolünün güce dayalı gerçekleşmesi üzerine interaktif bir sistem sunulmuştur. İnsanın uyguladığı gücün şiddetine göre hareket ve yönlendirme yapılmıştır. Aynı şekilde bu sistemde robotun engellere çarpma gibi çevreyle olan etkileşimin ters yönlü güç iletimiyle haberdar edilmesi sağlanmıştır. Böylece görme özürülere yol gösterme, asgari güçle ağır yük taşıma gibi işlerin kolayca yapılması sağlanabilir. Kararlılık analizi Lyapunov teorisine göre yapılmıştır[31]. Bu alandaki bir başka çalışma S.li ve X. Zhang tarafından gerçekleştirilmiştir. İnsanların göz bakışına göre sözsüz niyet tahminiyle yardımcı robotların aktif kullanımı üzerine bir iletişim yapılması amaçlanmış. Göz hareketleriyle iletişimin az çabayla etkin kullanım sağlaması engelli veya yaşlıların kolaylıkla yardımcı robotları yönlendirmesi amaçlanmıştır [32]. Bu çerçevede başka bir çalışma C.Cifuentes ve diğ. tarafından yapılmış. Yürüme problemi yaşayan hasta ve yaşlılar için geliştirilen akıllı yürüme cihazlarında sabit bir ilerleme yerine kişinin durumuna uygun hız ve yönelim yapabilmesi üzerine çok modlu bir kontrolör ve programı sunulmuştur. Bu sayede yürüyüş kestirimi ile fazla veya az yük uygulanmasıyla kişinin vücut yapısına uygun hareket yapabilmesi sağlanmıştır[33]. Benzer bir çalışmayı V.Dionisio ve D.Brown. tam engelli olmayan ancak rehabilitasyona ihtiyacı olan bireyler için yürümeye yardımcı robotların (KineAssist) etkileşimli olarak gerçekleştirmişlerdir. Yürüyüşü kullanıcının durumuna ve uyguladığı güce uygun bir şekilde kinetik ve kinematik ayarlamalarla etkileşimli olarak yapabilmesi amaçlanmıştır[20]

P.Fankhauser ve diğ. İki farklı tipteki robotun bilinmeyen ve zorlu arazilerde birbirleriyle koordineli bir şekilde hareket etmesi ve iletişimi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Arazide paletli veya yürüyen robotların zorlu ve yavaş hareketlerinin en aza indirilmesi için uçan robotların keşif yapıp harita çıkarımına göre en uygun yönlendirmesi hedeflenmiştir. Böylece karşılaşılan engeller ve zorluklar önceden belirlenerek yerdeki robotun uygun manevrayı yapabilmesi sağlanmıştır[10].

D. Fraga ve diğ. Çoklu robotların sosyal odometri ile birbirlerinden herhangi bir durum ve bilgiyi öğrenme olanağı bulmasını sağlayan kategoriye dayalı sistem senaryosuyla bir metodoloji önerir. Özellikle dinamik ortamlarda bu teknikle gereksiz işlemler yapılmaksızın çözüm performansı arttırmak hedeflenmiştir[34].

A.K. Singh ve G.C Nandi. Bir insansı (humanoid) robotun verilen insan portresi gibi resimlerin eskizini çıkarma uygulamalarında gerçek görüntünün düzlem noktalarını en doğru şekilde algılayıp esnek bir yapıda en doğru hareket ile gerçekleştirmesi için kullanılan temel matris, 4 noktalı kalibrasyon ve YSA tabanlı regresyon tekniklerinin performans analizi yapılmıştır. Zaman karmaşıklıklarına bakıldığında temel matris ve regresyon analizi $O(n^3)$ iken, 4 nokta kalibrasyonun $O(1)$ olduğu, ortalama hesaplama metriklerine bakıldığında 0.3441 ile 4 nokta kalibrasyonun daha etkin olduğu gözlenmiştir[35].

L.Wang. Makalede insan – robot işbirliğinde endüstriyel robot kontrolünün internet ortamından kamerayla izlenmesi ve çarpışma önleme özelliğiyle güvenli bir şekilde yapılabilmesi üzerine bir çalışmadır. Bu şekilde uzaktan kontrolle imalat işlerinin yapılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Aynı zamanda çalışmada uzaktan kullanımın internet hızına uygun ayarlamalarla yapılması sağlanmıştır. Deneysel çalışmada başarımın yüksek oranda olduğu ve çarpışma anında robotun işlevini durdurup güvenli durum oluşana kadar beklediği daha sonra işleme devam ettiği gözlenmiştir[19].

Pinta ve diğ. Farklı firmaların Upnp tabanlı dijital ev uyumlu robotların birbirleriyle işbirlikli iletişime geçmesi üzerine protokole dayalı bir iletişim adaptörü ve yaklaşımı sunulmuştur. Geliştirilen Roombas adaptörü ile tüm cihazların ortak kullanıma uyum sağladığı ve iletişime girdiği gözlenmiştir[36].

Maeda ve diğ. Bu yazıda, hareket ilkelerine dayalı işbirlikçi ve yardımcı robotlar için gizli markov modeli kullanarak bir etkileşim öğrenme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem hem aksiyon tanıma hem de insan-robot hareket koordinasyonuna izin verir. İnsan-robot etkileşim ilkelerinin bir karışım modeli oluşturmak için taklit öğrenmeyi kullanır. Deneysel çalışma hafif bir robot koluyla robotun insanla ortak çalışma ortamında bir tornavidayı gerektiğinde vermesi veya tornavidayla yardımcı görev üstlenmesi şeklinde bir senaryo ile gerçekleştirilmiştir. Yeni yöntemin kullanılmasıyla görev tanınmanın %60 lara kadar gerçekleşmesi sağlandı. Aynı şekilde tepki süresinin %25 oranında azaltıldığı gözlemlendi. Öğrenme ve görev belirleme için Gizli Markov Modeli kullanılmıştır [37]. İnsan robot etkileşimine yönelik bir çalışma Mondada ve diğ. Çoklu robotlarda görevlendirme amacıyla hangi robotun seçileceğini EEG sinyalleriyle belirleme üzerine bir çalışma sunulmuştur. Literatürde ortalama başarımın %85 olduğu, ancak frekansa göre bu oranların değiştiği saptanmıştır. 12 Hz'lik frekansta tanınmanın %40, 10 Hz'lik frekansta %75, 8 Hz'lik frekansta ise %98'lere ulaştığı belirlenmiştir[38].

Micea ve diğ. Ortak çalışan sistemlerde birden çok mobil robot arasındaki özerk mesafe hesaplama probleminde odaklanmaktadır. Uzaklık ölçümü ve konum denetimi, mobil arama ve izleme, akıllı ortamlar ve binalar, tehlikeli veya zor alanlarda manipülasyon, kurtarma gibi birçok alanda doğrudan uygulanabilirlik ve kolaylık sağlamaktadır. Mesafe hesaplamak için radyo frekansı ve ultrasonik sinyallerin yayılım hızlarının varış zaman farkı kullanılmıştır. Deney sonucunda hata oranının 30 mm'ye kadar düştüğü maksimum hatanın ise 4,8 olduğu görülmüştür[39].

Guerre ve diğ. Görsel lokalizasyon ve haritalama probleminde (SLAM) yönelik Genişletilmiş Kalman Filtresi ile entegre bir yaklaşım sunulmuştur. Kamera ve görme teknikleri kullanılmıştır. Kameradan iki farklı görüntü alınarak bunların örtüşmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Önerilen yaklaşımla 1 m'den daha düşük bir hatayla hedefe ulaştığı gözlenmiştir[40].

J.Disprose ve diğ. Robot programlayıcılara, robotları sosyal olarak etkileşime geçirecek uygun programları oluşturması için hangi davranışların hangi durumlara uygun olduğunu ortaya koyacak soyutlama düzeylerinin bilinmesi üzerine bir API çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu soyutlama düzeylerine göre uygun API'lerin geliştirilmesiyle yinelemeli ve benzer durumların daha kolay ve daha az zamanla yüksek kalitede programlanması amaçlanmıştır. Deneysel olarak yüksek ve düşük seviyeli geliştirilen API'lerin testi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen yapının basit gösterimi, sosyal etkileşim alanına yakın bir haritalama ve iyi karşılık verebilen ifade gücü sağladığı ancak çok yüksek düzeyde olması alt düzeyde geliştirmeyi kısıtlayabildiği tespit edilmiştir[41]. Benzer bir çalışma M. Tenorth ve M.Beetz. Robotların soyut talimatlarla yapması istenen görevlerde tanımlama, çıkarım ve yürütme yapabilmesi için farklı bilgi işleme metodlarıyla oluşturulmuş Know Rob adlı birleşik bir çerçeve yaklaşımı sunulmuştur. Bu çerçeve ile talimatlardaki gereksiz bilgiler ile yürütülmesi istenen bilgilerin ayırt edilmesi hedeflenmiştir [42].

R. M. Ferrús ve M. D. Somonte. Kişisel bakım robotlarının tasarlanmasında çeşitli yaş gruplarının ihtiyaçlarının belirlenmesi üzerine bir analiz çalışması sunmuşlardır. Araştırmada iki önemli faktör üzerinde

durulmuş. Birincisi robotun ne tür bir kişilik sahibi olması, ikincisi robotun nasıl bir model olarak algılandığı üzerinedir. Deneysel çalışma bir temizleme robotu üzerinden yapılmış. Analiz başlıklarına göre puanlamada öne çıkan başlıklar sırasıyla robotun kendini şarj edebilmesi, çeşitli cihazlarla kolay kullanım, engel tanıma ve izleme, istenilen görevler için teknik özelliklere sahip olması, görevleri kendi başına yapabiliyor olması, kaliteli materyallerle oluşturulmuş olması ve uygun maliyetle satılması şeklindedir[43]. Aynı zamanda benzer bir çalışmada E. R.Lizundia ve diğ. Scarino gibi belboy robotların gelişimlerinin iyileştirilmesi amacıyla insanlarla olan etkileşim ve konforlarının ne düzeyde olması gerektiğiyle ilgili bir analiz çalışması sunulmuşlardır. Etkileşimin mesafesi, süresi ve etkinliği üzerine üç ayrı faktörü üzerine durulmuş. Genç ve yaşlı insanların orta yaşlılara ve çocuklara oranla daha çok iletişimde bulunduğu tespit edilmiş. Ortalama iletişim mesafesi 68.58 cm olarak, jest hareketlerinde 25 cm kadar yakınlaştığı belirlenmiş[44].

Sejati ve diğ. Çoklu mobil robotların grup takımlarını belirleme ve nesne taşıma üzerine yeni bir algoritma önermişlerdir. Çoklu robotlarla yapılan çalışmalarda görevin zorluğuna ve niteliğine göre ne kadar robot kullanılacağı güç tüketimi ve organizasyon karmaşıklığı açısından önemlidir. Bu algoritmayla göreve göre nesne şekil ve boyutlarının tespiti ve buna bağlı olarak yeterli sayıda robotların belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncü bir robot ile keşif yapılıp ve buna göre görevlerin gerçekleştirimi sağlanmış. Algoritma bir nesne taşıma uygulamasıyla ortaya konmuş[45].

F.Liu, Mobil robotların çoklu hedefe gidilen yollardan en yakın ve uygun yolu bulması için yeni bir uyarlanmış genetik algoritma önermiştir. Bu yöntem ile gereksiz gezinme olayı sonlanmış ve güç tüketimi uygun seviyelere getirilmiştir. Deneysel çalışmalarda sonuçların farklı nesillerde elde edildiği gözlemlendi. Nihai sonuçların 40 nesilde ortalama sonuca ulaştığı, en iyi sonucun ise yaklaşık 62 nesilde olduğu gözlemlendi. Algoritmanın yapısına bağlı olarak yaklaşık sonuçların oluştuğu belirlendi[46].

Das ve diğ. Çoklu robotların birbirleri arasındaki haberleşmeyi daha etkili gerçekleştirmesi için bal arılarının iletişim için kullandıkları dansa yönelik MRoCS iletişim sistemi önerilmiştir. Hareket için genellikle geometrik hareket şekilleri temel alınmıştır. Bu geometrik hareketlerin başarımları sonucunda daha ileri olarak bal arılarının esnek hareketlerinin yapılması ve genelde kullanılan iletişim yöntemlerinin başarısız olduğu durumlarda iletişimi devam ettirmesi noktasında yararlı olması hedeflenmiştir[47].

I. Vasilyev ve diğ. Aşırı hava şartları altında kurtarma operasyonunda tahliye amaçlı kullanılan özerk çoklu robotların grup halinde sorunu çözmesine yönelik yaklaşımlar incelenmiştir. Robotların görev ile ilgili güvenilirliğinin artırılmasının yolları belirtilmiştir. Güvenirlilik için yedeklilik ve değiştirilebilirliğin güvenilirliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu kriterlerle görevin kararlılığının ve devamlılığının sağlandığı belirlenmiştir[48].

T.Abukhalil ve diğ. Çoklu robotların görev dağılımını optimum robot sayısına atayan, hata toleranslarını en aza indirecek, başarısız robotların görevlerini üstlenecek RUTA adlı bir yazılım uygulaması sunmaktadır. Böylece başarısızlıkların kötü sonuçlar doğuracağı görevlerde daha sağlam ve güvenilir robot grup çalışmalarının yapılması sağlanmış olacağını vurgulanmıştır. Deneysel çalışmada 5 robot ve 15 insan kuklasıyla kurtarma operasyonu yapılmıştır. Ekibin görevi 100.2 saniyede ortalama 10.3 saniyelik beklenen zamana göre sapmayla gerçekleştirdiği ve olumsuz durumlara rağmen görevlerin başarıyla tamamlandığı gözlemlenmiştir[49].

A.Prasad ve diğ. Dinamik engellere göre bir robotun otonom olarak hareketini ayarlaması üzerine potansiyel fonksiyonlar ve dipolar ters Lyapunov fonksiyonlar ile yeni bir model çalışması sunmaktadır. Bu çalışma ile hem birbirlerine çarpma hem de engel önlemlerini göz önüne alan bir hareket planlaması hedeflenmiştir. Sunulan model sistemin başlangıç koşullarından bağımsız olarak sistemin asimptotik kararlılığını sağladığı öne sürülmüştür[50].

Y. Dai ve diğ. Çoklu robotların hareketleri sırasında birbirlerine çarpmamaları için kendi yarıçaplarına ve büyüklüklerine göre bir kafes alan tasarımı yapılmıştır. Kayma kipli kontrol tasarımı ile nesneyi hedef pozisyona taşımaya hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda hedefe önceki çalışmalara oranla daha az hata ile yaklaştığı gözlemlenmiştir[51].

S.Triguí ve diğ. Çoklu görevli çoklu robotların görev paylaşımını en iyi şekilde yapması üzerine birden fazla kriteri tek bir kriter gibi alarak optimize eden iki merkezli bulanık mantık yaklaşımlı çözüm modeli sunulmuştur. Bu yaklaşımda her ajanın aynı görevi yapması veya görevi gerçekleştiren her ajan için yerel bilgiye dayalı görev tanımlanması hedeflenmiştir. Deneysel sonuçlara göre tek kriterli çözüme oranla %89 oranında daha hızlı olduğu belirlenmiştir[52]. Çoklu görevlilik konusunda bir başka çalışma M. Khawaldaha ve A.Nuether tarafından çoklu keşif robotlarının arama görevlerini gerçekleştirmek ve keşif sürelerini en aza indirmek amacıyla çakışmayı engelleyerek hareketlerini sağlamaları, çevre durumlarını ve yol planlamalarını daha hızlı hesaplamaları üzerine gerçekleştirilmiştir [53].

B.Das ve diğ. Su altı otonom çoklu robotlarının koordineli hareket etmesi için Lyapunov teorisine dayalı kayma kipli kontrol adaptif kontrolör ve algoritması üzerine bir çalışma sunulmuştur. Özellikle su altında iletişim ve istenilen görevlerde bilgi paylaşımı üzerine odaklanılmış. Pasiflik tabanlı denetleyiciyle kıyaslaması

yapılmış. İstenilen hareket yörüngesinin önerilen yaklaşımla daha kısa sürede ve doğrulukta alındığı doğrulanmıştır[54].

H.Sugiyama ve diğ. Felaket alanlarında çoklu robot kurtarma sistemi geliştirmesi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışmada her robot kendi bölgesini keşfeder ve bir baz istasyonu yardımıyla birbirleriyle bilgi paylaşımı ve iletişimi gerçekleştirirler. Geçici iletişim ağı kurulması ve haritalama bu çalışmanın temel amacı[55].

Hoshino ve diğ. Çoklu robotların koordinasyonu, hareketi için hız ve davranış düzenleme yaklaşımı sunmaktadır. Hareket sırasında kalabalık olan robotların çarpışmalarını ve birbirlerini tıkamalarını engellemek için davranış kontrol tekniği önerilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre yaklaşım hatası 0.4 m'den fazla olmadığı saptanmıştır[56].

S. Gil ve diğ. Birden fazla robotun bir görev üzerinde işbirliği yaptığı ve araçların sabit bir alt kümesinin mobil yönlendiriciler olarak hareket ettiği sistemde sinyal gücüne göre birlikte hareket ve yönelim yapılması üzerine bir çalışma sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada sinyal gücü yüksek olana göre hareket yapılmasının başarıyla sağlandığı gözlenmiştir. Bu yöntemle kesin istemci konumlarını veya çevre hakkında bilinen bir harita bilgisi ortadan kalkmıştır[57].

O. Kosak ve diğ. Özerk sürü robotlarının gerçek dünyadaki sorunlara karşı ortamı tanıma, kendini fark etme, aynı anda verilen birden fazla görevi yerine getirebilme becerisi gösterme üzerine özerk ajan tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Deneysel çalışmada zehirli gaza maruz kalmış bir bölgede insanların giremeyeceği yere insansız hava araçlarının gönderilip bir dizi görevi yerine getirilmesi senaryosuna göre n robota n görevin dağıtım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kısıt çözücünün mümkün olduğunu göstermiştir. Özellikle görevleri daha detaylı tanıma ve görev atamalarını yapmanın özerkliği arttıracığı gözlenmiştir[58].

A. Kılıç ve S. Kapucu. Makalede, OMNIMO adlı dört dönme 1 öteleme serbestlik derecesinde özerk çalışabilen bir robot modül tasarımı sunulmuştur. Bu modül sayesinde tekli ve çoklu robot sistem üretkenliği sağlama açısından beş farklı şekilsel robot haline dönüşüm yapılabilme imkanı sağlamıştır. Tekli homojen modül konfigürasyonunun testlerle özdeş robot parçalarıyla başarılı bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir.[59]

Kızır ve diğ. Beyin cerrahisinde kullanılan endoskop stewart platformunun, haptik güdümlü endoskop konumlayıcı ve tutucu olarak hipofiz bezi cerrahisinde kullanımı üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile bu alanda kullanılacak haptik sistemin etkileri üzerinde durulmuş. Konumlandırma özelliklerine göre bu cerrahi çözümlerinde kullanılabileceği görülmüştür[60].

H.Saeidi ve diğ. Lider tabanlı çoklu robotlarda, haptik sistemle güvene dayalı lider seçimi üzerine bir çalışmadan bahsedilmiştir. Robotların dinamik olarak liderlik güven performansları hesaplanarak geri bildirim ölçekleme stratejisi ile operatöre iletilir. Operatör fiziksel yük kuvvetini ayarlayarak kontrol eder. İnsanın rasyonel karar verme özelliğine göre göreve ve ortama uygun lider seçimi belirlenerek sistem çalışır. Yapılan deneysel çalışmada, sabit lider ile güven tabanlı lider seçimi stratejisi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre güven tabanlı lider seçimiyle görev tamamlama süresi %36.25 ve oluşum hatasının %41.64 azaldığı belirlenmiştir[61].

M.Rahul ve diğ. Bir haptik sistem ile tekerlekli mobil robotun uzaktan kontrolü üzerine yarı özerk bir sistem çalışmasından bahsedilmiştir. Bu çalışma ile insanların bulunmasının zor ve tehlikeli olduğu yeraltı, uzay, su altı, tıp cerrahisi, radyoaktif ortamlarda kullanılan robotların kontrolü için hassas kontrol modellemesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada Omni-Bundle haptik aygıtı ile Q-Bot 2 mobil robotu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarda, tekerleklerin kayma ve sürtünmeden dolayı izleme hatası oluşturmasına rağmen istenilen yörüngeden hareket ettiği ve duyarlılığın çok yüksek olduğu görülmüştür[62].

H. Saeidi ve diğ. Uzaktan kumanda haptik sistemli mobil robot kontrolünde çift yönlü güven performansına dayalı kontrol sistemi sunulmuştur. Belirsiz ortamlarda kumanda edilen bir robotun insan rehberliğinde çeşitli bozucu ve engelleyici etkilere karşın başarıyla elde ölçülmüştür. Robotun kontrolü dokunsal kuvvet geribildirimleriyle yapılmıştır. Geri bildirimler ölçekleme stratejisine göre yapılmıştır ve kontrol hassasiyet yoğunluğunun ayarlanmasında kullanılmıştır. Böylece küçük ve büyük güç algılamaları duruma ve kullanıma göre ayarlanarak fiziksel yükün azalması sağlanmıştır. Manuel kullanımlara göre %12. Performans artışı ve operatör iş yükünde % 10.7 azalma olduğu saptanmıştır[63].

M.Kütük ve diğ. Kuvvet geri beslemeli bir haptik sistem ile üst ekstremité rehabilitasyon robotlarının kullanıcının fiziksel özelliklerini dikkate alarak çalışması üzerine dokunsal algılamalı kuvvet geri beslemeli bir uygulamadan bahsedilmiştir. Kullanılan robotların uygulayacağı yörüngeyi, öncelikle haptik aygıt ile hastanın ilk kullanımıyla öğrenmesi ve daha sonra tekrar eden uygulamalarda aynı şekilde hastaya uygun devam etmesini sağlayan bir sistem sunulmuştur. Sistemin arayüz simülasyonu ile rehabilitasyon tedavilerinde ve cerrahi müdahalelerde hassas kontroller sağlayacağı ortaya konmuştur[64].

A. Surendran ve Mija. Bir haptik cihazın doğru konum takibi için kayma mod kontrolörlü bir yapının geliştirilmesinden bahsedilmiştir. Bu sistem ile sistemin değişen dinamikleri dikkate alınarak devamlı ve kararlı

bir kontrol yapısı önerilmiş. Bu sistem sayesinde değişme ve bozulma durumlarına rağmen izleme hatası sıfırlanarak uygun yörünge oluşumu ve devamlılığı sağlanmış. Deneysel çalışmaya göre izleme hatası 4.5 saniye sonra sıfıra ulaşmış[65].

N. Popescu ve diğ. Serebrovakueller kaza travması geçiren hastaların etkin rehabilitasyonu için geliştirilen haptik eldiven tasarımı ve analizi üzerine bir makale sunulmuştur. Tasarlanan eldiven sese göre çalışacak şekilde tasarlanmış. Hastanın sesinin tanınması ve buna göre belirlediği komutlara göre eldivenin çalışması ayarlanmış. Araştırmanın analiz sonuçlarına göre basit komutların algılanmasında tam başarı varken, birden fazla kelimeyle oluşturulan karmaşık komut tanımlamalarında gürültülerin etkilerinin olumsuz etkilediği gözlenmiştir[22].

H.Weı ve diğ. ROS (Robot Operation System) robot işletim sistemi robotların kontrolü için tasarlanmış Linux tabanlı bir işletim sistemidir. Bu makalede işletim sisteminin gerçek zamanlı uygulamalarındaki eksikliklerini gidermek amacıyla RT-ROS adlı yeni bir ROS mimarisi sunulmuştur. Sonuçta, gerçek zamanlı uygulamalarda ve farklı işlemci platformlarında etkinliğinin yüksek olduğu görülmüş[66].

Biyolojik ilhamlı robot alanda yapılan en son çalışmalardan biri Harvard ve Seoul National üniversiteleri tarafından su üzerinde ince eklem bacaklarıyla durabilen, sıçrayabilen su tutucu robottur [67].

M.A.Woodward ve M Sitti. Vampir yarasalardan esinlenerek MultiMo-Bat adlı atlama ve kayma entegrasyonlu bir robot tasarımından bahsedilmiştir. Bu robot yapısı ile ortam izleme, güvenlik gibi uygulamalarda kullanılması hedeflenmiş. Yaklaşık 3 m'ye kadar zıplama özelliğine sahip. Bu çalışmada özellikle atlama performansının yaklaşık %80'ini koruyabildiği gösterilmiş. Bu sayede çok yüksek sürüklenme önlenmiş. Geri kalan %20 ise kaymada sistemin kütesinden kaynaklı olarak gerçekleşmiş[68].

Y.Mulgaonkar ve diğ. Havadaki küçük ölçekli sürü robotlarında çarpışma önleme algoritmalarına bağlı kalmadan çarpışma yeteneğini ve sağlamlığını geliştirme üzerine bir uygulama sunulmuştur. Basit çarpışma modelleri kullanılarak çarpışma davranışlarının ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmiş. Bu sayede daha hızlı ve çevre hakkında çok fazla bilgiye ihtiyaç duymadan yüksek hareket performansı gerçekleştirilmesi sağlanmış[69].

L.S.Junior ve N.Nedjah. Sürü robotlarının birlikte hareketi ve ortak görev yürütümü için dalga sürüsü algoritmalarına dayalı yeni bir toplu hareket stratejisinden bahsedilmiştir. Bu stratejide sürü dağılık olarak dikkate alınmış. Asıl karmaşık ortak görevler bir dizi basit alt görevlerin birleşimi olarak düşünülerek gerçekleştirilir. Simulasyonda strateji robotların seçimi, hizalanması ve hareket stratejileri şeklinde 3 alt görev ele alınarak oluşturulmuş. Bu şekilde daha organize, hızlı hareket ettiği gözlenmiştir[70].

A.Ravelli ve diğ. Balık yetiştiriciliğinde çiftliklerin pH seviyesi, sıcaklık, amonyak, hidrojen sülfür gibi kimyasalların düzeylerinin takibi için tasarlanmış bir balık robottan bahsedilmiştir. Balık robotun balıkları rahatsız etmeden uygun hızda ve kuyruk hareketinde bulunması için pH bilgisine dayalı yüzme stratejisi geliştirilmiştir. Elde edilen bilgilerle balıklara yönelik oluşacak olumsuzluklar önceden tespit edilmesi sağlanmış [71].

J.Zang ve diğ. Çekirge ilhamlı bir atlama robotun modellenmesi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Atlama için yaylı bir mekanizma kullanılmış. Düşüşte dengede kalması için ek bir kol bacağı ve dönmeyi dengeli yönlendirme için kutup bacağı geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda 80 derecelik bir kalkışta 88 cm'den daha fazla dengeli bir şekilde atlayabildiği gözlenmiştir. Enerji verimliliğinin %49.9 olduğu ve atlama sırasında %83.4'ünün serbest bırakıldığı, %35.5'lik enerjinin ise kaybolduğu belirlenmiştir. Enerji kaybının robotun dönme mekanizmalarındaki sürtünme olduğu tespit edilmiştir[72].

Y. Liu ve diğ. Serica orientalis böceğinden esinlenerek T şeklinde iki tekerlekli ve bir kuyruktan oluşan tekerlek etrafında küçük dikenlerin bulunduğu beton tuğla üzerine tırmanabilen Tbot adlı duvar tırmanma robotundan söz edilmiştir. Geliştirilen bu modelle omurgaya etki eden kuvvet ve kendini oluşturan yapılar arasındaki yük paylaşımları analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda 100⁰'lik bir duvara 10 cm/s hızla çıkabildiği gözlenmiştir[73].

S.Martel ve diğ. Tümörlü ve kanserli hastaların tedavisinde magnetotaktik bakteriler şeklinde terapötik, kendinden tahrikli ve duyuşal tabanlı ajan mikro nano robotların geliştirilmesi üzerine bir araştırma çalışması sunulmuş. Amaçlanan tümörlerin tespiti ve nano robotların enjekte edebileceği ilaçlarla etkisiz hale getirilmesi olarak ifade edilmiş [74]. Benzer bir çalışmayı M. Al-Fandi ve diğ. bio nano sensör ile kanser hücrelerinin tespiti için gerçekleştirmişlerdir [75].

C. Hu ve diğ. Çekirgelerden ilham alınarak mikro robotlar için engel önleme ve hareket yörünge kontrolü için düşük maliyetli yeni bir görme sistemi sunulmuş. Yapılan deneylerde çevreye uyum sağlama noktasında güç sağlamlığa sahip olduğu ve gerçek uygulamalarda başarıyla kullanılacağı tespit edilmiştir[76].

C. Tang ve diğ. Mikro- nano robotların hangi alanlarda araştırma konusu oluşturduğu ve acilen çözülmesi gereken zorlukların tespiti üzerine bir çalışma sunulmuştur. Araştırmada, mikro nano robotların tıp, imalat, biyoloji, biyomedikal, mikrobik hareket sistemleri, mikro organizmaların ve dokuların kombinasyonu ve zarar

vermeden sistemlerde dolaşımı, yazılımlı veya yazılımsız görev gerçekleştirilmesi, güç teminleri, iletişimleri, küçük boyutlarda tasarımı gibi alanlarda çalışma sahası bulunduğu tespit edilmiş[77].

3. Robotların Kullanım Alanlarına Göre Karşılaştırılması

Bu bölümde incelenen çalışmalar ışığında robotlarla ilgili son yıllarda hangi alanlar, konular, yöntemler ve algoritmalar üzerine çalışmaların yoğunlaştığı tablo şeklinde özetlenmiştir.

Tablo1. Robotların sınıflarına göre karşılaştırılması ve analizi

Robot sınıfları	Kullanım alanları	Çalışma konuları	Kullanılan algoritma ve sınıflandırıcılar	Donanımsal algılama sistemleri	İlgili literatür	
Endüstriyel Robotlar	Endüstride montaj, imalat, taşıma, nakil	Robot kol uzayları, otonom çalışma, kavrama, uygun pozisyon alma, robot kolun iş ile uygun zamanlamada çalışması, gereksiz işlemlerin en aza indirilmesi, güç tasarrufu, doğru pozisyon alma, tekrar eden hareketlerin devamlılığı, eklemlerin esnekliği	Ters kinematik, düz kinematik hesaplamalar, denge, güç ve hareket yörünge algoritmaları	Kamera, eklem motorları, ses tanıma, hibrit güç üniteleri, eklem yapıları	[24,25,28,31,, 45, 59]	
Mobil Robotlar	İnsansı Robotlar	Ev, ofis ve hizmet sektörlerinde, tehlikeli ortamlarda, askeri alanlarda	Dengede kalma, tırmanma, iki ayak senkron yürüme stratejisi, ayak hareket koordinasyonu, güç tasarruf stratejileri, robot görmesi, tehlikeli ortamlarda gezinme, asker robot uygulamalarında	Kamera, eklem motorları, ses tanıma, hibrit güç üniteleri, ses cihazları	[23,26,27,28,29,32,33,35, 43,44, 59]	
	İşbirlikçi Robotlar	Ev, ofis, hizmet sektörlerinde insanla ortak yaşam, endüstriyel ortamda işbirlikli çalışma, tıp ve tarımda, güvenlik	İnsan nesne etkileşimi, insan insan etkileşimi, insan robot iletişimi, duyuusal algılamalar, sözlü ve sözsüz iletişim, insan hareketlerini anlama, rehabilitasyon cihazlarında uyumlu destek, heterojen robotların işbirliği, EEG robot kontrolü, insan robot ara yüzleri	Kamera, Kinect sensörü, dokunmatik sensörler, eeg, emg cihazları, kuvvet sensörleri, renk sensörleri, 3D sensörü	[7,10,20, 23-35, 41- 46, 58]	
	Çoklu ve sürü robotlar	Tehlikeli ortamlarda, alan haritalamada, karmaşık görevlerde, bilinmeyen ortamlarda, uzay, askeri, havacılık ve güvenlik alanlarında	Ortak senkronize hareket, çarpışma engelleme, görev paylaşımli çalışma, otonom çalışma, bilinmeyen ortamlarda hedefe en uygun yolla hareket, engellere çarpmadan ilerleme, çoklu ve sürü robotların iletişimi, güç tasarruflu görev planlaması, alan haritalama (SLAM) uygulamaları, otonom çalışma, göreve göre sürü sayısının belirlenmesi ve güncellenmesi, sürü canlıların hareketlerinin ve yiyecek arama stratejilerinin incelenmesi, yapısına uygun algoritma tasarımı, kontrol için işletim sistemi robotlar arası iletişim	Genetik algoritma, Parçacık sürü algoritması, bulanık mantık, YSA, dalga sürü algoritması, dipolar ters lyapunov fonksiyoları, çarpışma önleme, Gizli markov modeli, SLAM algoritmaları genişletilmiş ve dağıtılmış kalman filtresi,	Ultrasonik, lazer mesafe sensörleri, kamera sistemleri, lidar lazer sistemleri, WSN -RF iletişim araçları, Xbee, geçici baz istasyonları	[4,10, 34, 38, 40, 49-54, 57,58 61,69, 70]
	Biyolojik ilhamlı robotlar	Uzay, askeri, tıp, biyoloji, mekanik tasarım	Canlıların birebir özellikleriyle benzetimi, sorunları çözme yöntemleri, kendi ortamlarındaki davranışların analizi, insanlar için benzer sorunlara çözüm yaklaşımları	Sensör hassas algılama algoritmaları, sınıflandırıcılar, güç algoritmaları	Kamera, ses, kamera, eklem yapıları, kimyasal tespit	[9, 19, 68, 69, 72,73, 76]
	Mikro Nano	Tıp alanında, duyarğalarla	Canlı vücudunda dolaşma, bilgi alma, onarım stratejileri geliştirme,	Hasarlı veya bozuk dokuların tespit yaklaşımları	Ses, sıcaklık vb. duyu algılama sensörleri, iletişim sistemleri, mikro kameralar, hareket mekanizmaları	[27, 74, 76, 77]
Haptik Sistem	Haptik sistem	Uzay, tıp, endüstri ve askeri alanlarda uzaktan kontrollerde,	Tıp cerrahisinde kontrol mekanizmalarının oluşturulması, uzay ortamında uzaktan manipülâtör kontrolü, tehlikeli ortam manipülâtör kullanımı, sanal ortam simülâtör uygulamalarında, kontrollerin hassas ve senkron kullanımı, haptik algılayıcı tipleri, kontrol arayüz tasarımı	Sensör hassas algılama algoritmaları, manipülâtör insan iletişim arayüz yazılımları,	Kuvvet sensörleri, giyilebilir eldiven manipülâtör, eeg ve emg araçları,	[20, 22, 27,31, 33, 43, 61-66]

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, robotlarla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Robotların kullanım alanlarının genişlemesi çözülmesi gereken sorunların artmasına da neden olmuş ve gerçek dünyanın algılanması, insanlarla iletişim ve işbirliği içerisinde iş yapabilme yeteneği kazandırmak temel konular olarak ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte aşağıda belirtilen alanlarda çeşitli problemlerin çözümüne yönelik olarak çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır:

Robotlarda formasyon oluşumu ve birlikte koordineli hareket: Robotların belirlenen göreve ve gidilecek hedefe göre sürü halinde birlikte hareketleri sırasında ne tür bir dizilim ile gidecekleri veya şekilsel hareket edecekleri, robotların sayısına göre karmaşık şekiller oluşturarak hareket etmektense birden fazla alt şekilli gruplar oluşturarak hareket planlamak, sürü halinde yapılan formasyon uçuşlarında birbirlerine çarpmamak, hedef noktaya giderken formasyonun korunması, formasyon uçuşlarında lider takipçi hedefe yönelme ve liderin takibi gibi konular üzerine çalışmalar yoğunudur.

Görev tahsisi: Belirlenen görevlerin robotlara yapısal özelliklerine ve görevin niteliğine görev paylaşımı, görev tahsislerinde kontrol istasyonlarının en doğru noktada bulunarak iletişimin kesintilerini önleyecek şekilde bulunması, dağılma, toplanma, koordineli hareket kabiliyetleri.

Robot sürülerinde lider seçimi: Hangi robotun lider olacağı önemlidir. Lider seçimi rastgele mi, yoksa robotun özelliklerine veya görevin niteliğine göre mi seçilmeli? Seçilen liderin takibi nasıl yapılmalı?

Hareket sırasında engellere ve birbirlerine çarpmaması: Çoklu robotların birlikte veya dağınık, birbirlerine bağımlı veya bağımsız hedefe yönelimlerinde çarpışmaları görevin başarımında en önemli konulardan biridir. Hareket ortamındaki engellerin algılanması ve kaçınma hareketlerinin geliştirilmesi

Ortam haritalama ve konumlandırma: Robotlarda yapılan çalışmalarda robotların bilinen veya bilinmeyen ortamlarda kendi konumlarını ve diğer robot veya nesnelerin konumlarını bilmeleri, görev ortamlarının lidar, kızılötesi, termal vb. aygıtlarla görevin niteliğine göre algılanıp, takip edilmesi, hedefe yönelimde belirlenen güzergâhın izlenmesinde konum sapmalarının en aza indirilmesi, GPS'siz ortamlarda konum belirleme, görüntü tabanlı konum belirleme.

Hedefe en iyi rotayla varma ve navigasyon: Belirlenen başlangıç ve hedef nokta arasında sistemin ve görevin yapısına göre en kısa veya uygun rotanın belirlenmesi gereksiz hareketlerden kaçınmayı sağlama, navigasyonun ortamın dinamiklerine göre yenilenebilir olması.

Görev planlama ve koordinasyon: Belirli sorunlara yönelik görevlerin oluşturulup çoklu robotlarla koordineli olarak belirli bir plan ile çözülmesi, görev planının devamlılığının sağlanması.

Robotlarda yapay zekâ: Robotların öğrenebilme ve karar verebilme durumlarının otonom oluşumlarda yapay zeka algoritmalarıyla çözümlenmesi.

Robotların birbirleriyle iletişimi: Robotların birbirleriyle iletişimi şu anki teknolojilerle sınırlıdır. Bu iletişim için uygun bir yapının oluşturulması gereklidir. Var olan iletişim araç ve yöntemlerinde önemli bir konuda verilerin gecikme durumudur. İletişim kopmalarında görevlerin veya verilerin tahmini oluşumları.

Robot programlama, donanımsal yapıların kolay kullanımı için yazılımsal çözümler ve robot işletim sistemleri: Robotların gerçek zamanlı kullanımları için genelde veya özelde görevlere uygun işletim sistemlerinin veya platformların geliştirilmesi ve bu yazılımların donanımları tanıma ile veri alışverişindeki başarımları önem arz etmektedir. Robot çalışmalarının genelde simülasyonlar ile teorik olması ve uygulama maliyetlerinin yüksekliği geliştirilecek sistemlerin gerçekte hangi başarımlarda ve sonuçlarla var olduğunun bilinme gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu anlamda gerçek dünya tasvirli ve ortam ayarlamalı simülatör yazılımların geliştirilmesi bu alandaki eksikliklerden biridir. Tüm robotların ve donanımların ortak kullanabileceği bir dilin varlığı gerekli olan durumlardan biridir.

Kaynaklar

- [1] Acar M., İki Ayaklı Yürüme Hareketinin Modellemesi ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [2] Çayırpunar Ö. , Çoklu Robot Sistemlerinde Robotlar Arası Haberleşme ve İşbirliği Kullanılarak Arama Verimliliğinin Artırılması, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [3] Yapıcı K. O., 14 Serberstlik Dereceli İki Ayaklı Bir Robotun Dinamik Yürüme Hareketinin Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [4] Wang T., Dang Q. ve Pan P., A Multi-Robot System Based on A Hybrid Communication Approach, c. 1, sayı 1, ss. 91–100, 2013.
- [5] Kara M., Oğul Robotları Yön Bulma Problemi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [6] Bahadır L., A Probabilistic Geometric Model Of Self Organized Aggregation In Swarm Robotic Systems, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.

- [7] Oh H., Ramezan A., Sun C. ve Jin Y, Bio-inspired self-organising multi-robot pattern formation : A review, *Rob. Auton. Syst.*, c. 91, ss. 83–100, 2017.
- [8] Technique M., Bucharest U. P ve Technique M., *Research in Micro-Nano Robotics*, sayı 46, ss. 83–90, 2014.
- [9] Rozo D., Silverio L., Caldwell J., “Learning Controllers for Reactive and Proactive Behaviors in Human – Robot”, c. 3, sayı June, ss. 1–11, 2016.
- [10] Bloesch P ve Fankhauser M., *Collaborative Navigation for Flying and Walking Robots*, sayı August, 2016.
- [11] Çakmak T. T., *Robotlar*, ss. 15-20, 2006.
- [12] Şahin Y., *Scara Tip Bir Robotun Yörünge Kontrolünde PID Kontrol Uygulaması*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [13] Christensensen J. L. ve Nielsen J., *Development Modeling and Control of A Humanoid Robot*, Aalborg University, Master’s Thesis, 2007.
- [14] Park I., Kim J., Lee J. ve Oh J., *Mechanical Design of Humanoid Robot Platform KHR-3 (KAIST Humanoid Robot - 3 : HUBO)*, c. 3, ss. 321–326, 2005.
- [15] Tuna G., *Çoklu Algılayıcı Füzyonunun Çoklu Robot Sistemlerinde Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama Proglemine Uygulanması*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2012.
- [16] Akyol S. ve Alataş B., *Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları*, c. 1, ss. 36–50, 2012.
- [17] Bakhshipour M., Ghadi M. J. ve Namdari F., *Swarm robotics search & rescue: A novel artificial intelligence-inspired optimization approach*, *Appl. Soft Comput. J.*, 2017.
- [18] www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/nano-robotlar. erisim:22.12.2017 .
- [19] Wang L., *Collaborative robot monitoring and control for enhanced sustainability*, ss. 1433–1445, 2015.
- [20] Dionisio V. C. ve Brown D. A., *Collaborative robotic biomechanical interactions and gait adjustments in young , non-impaired individuals*, ss. 1–13, 2016.
- [21] Rozo L, Calinon S., Caldwell D. G. ve Jim P., *Learning Physical Collaborative Robot Behaviors From Human Demonstrations*, c. 32, sayı 3, ss. 513–527, 2016.
- [22] Popescu N., Popescu D., Cozma A. ve Vaduva A. J., *Hardware design and implementation of an Intelligent Haptic Robotic Glove*, *EPE 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, sayı Epe, ss. 174–177, 2014.
- [23] Canal G., Escalera S. ve Angulo C., *A real-time Human-Robot Interaction system based on gestures for assistive scenarios*, c. 149, ss. 65–77, 2016.
- [24] Cherubini A., Passama R., Crosnier A., Lasnier A. ve Fraise P., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Collaborative manufacturing with physical human – robot interaction*, c. 40, ss. 1–13, 2016.
- [25] Skantze G., *Real-time Coordination in Human-robot Interaction using Face and Voice*, c. 37, sayı 4, ss. 19–31, 2016.
- [26] Sigalas M., Baltzakis H. ve Trahanias P., *Temporal gesture recognition for human-robot interaction*.
- [27] Burke M. ve Lasenby J., *Pantomimic Gestures for Human – Robot Interaction*, c. 31, sayı 5, ss. 1225–1237, 2015.
- [28] Makris S., Tsarouchi P., Surdilovic D. ve Krger J., “Intuitive dual arm robot programming for assembly operations”, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, c. 63, sayı 1, ss. 13–16, 2014.
- [29] Pinillos R., Marcos S., Feliz R., Zalama E. ve Gómez-García-Bermejo J., *Long-term assessment of a service robot in a hotel environment*, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 40–57, 2016.
- [30] Kennedy J., Baxter P. ve Belpaeme T., *Nonverbal Immediacy as a Characterisation of Social Behaviour for Human – Robot Interaction*, *Int. J. Soc. Robot.*, c. 9, sayı 1, ss. 109–128, 2017.
- [31] Leica P., Roberti F., Monllor M., Toibero J. M. ve Carelli R., *Control of bidirectional physical human – robot interaction based on the human intention*, *Intell. Serv. Robot.*, c. 10, sayı 1, ss. 31–40, 2017.
- [32] Li S. ve Zhang X., *Implicit Intention Communication in Human – Robot Interaction Through Visual Behavior Studies*, ss. 1–12, 2017.
- [33] Cifuentes C. A., Rodriguez C., Frizzera-neto A., Bastos-filho T. F., Carelli R. ve Member S., *Multimodal Human – Robot Interaction for Walker-Assisted Gait*, c. 10, sayı 3, ss. 933–943, 2016.
- [34] Fraga D., Gulerrez A., Vallejo J.C, Campo A. ve Bankovic Z., *Improving Social Odometry Robot Networks with Distributed Reputation Systems for Collaborative Purposes*, ss. 11372–11389, 2011.
- [35] Singh A. K. ve Nandi G. C., *NAO humanoid robot : Analysis of calibration techniques for robot sketch drawing*, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 108–121, 2016.
- [36] Alonso I. G., *Collaborative Tasks Between Robots Based on the Digital Home Compliant Protocol over UPnP*, ss. 357–371, 2013.
- [37] Maeda G. J., Neumann G., Ewerton M., Lioutikov R., Kroemer O. ve Peters J., *Probabilistic movement primitives for coordination of multiple human – robot collaborative tasks*, *Auton. Robots*, c. 41, sayı 3, ss. 593–612, 2017.
- [38] Mondada L., Ehsanul M. ve Mondada F., *Electroencephalography as implicit communication channel for proximal interaction between humans and robot swarms*, c. 10, sayı 4, ss. 247–265, 2016.
- [39] Micea M. V., Stancovici A., Chiciudean D. ve Filote C., *Indoor Inter-Robot Distance Measurement in Collaborative Systems*, c. 10, sayı 3, ss. 21–26, 2010.
- [40] Grau A., Guerra E., Munguia R. ve Bolea Y., *Collaborative Localization for Autonomous Robots in Structured Environments*, ss. 219–224, 2016.
- [41] Diprose J., MacDonald B., Hosking J. ve Plimmer B., *Designing an API at an appropriate abstraction level for programming social robot applications*, *J. Vis. Lang. Comput.*, c. 39, ss. 22–40, 2017.
- [42] Tenorth M. ve Beetz M., *Representations for robot knowledge in the KNOWROB framework*, *Artif. Intell.*, c. 247, ss. 151–169, 2017.

- [43] Ferrús R. M. ve Somonte M. D., Design in robotics based in the voice of the customer of household robots, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 99–107, 2016.
- [44] Lizundia E. R., Marcos S., Zalama E., Gómez-García-Bermejo J. ve Gordaliza A., A bellboy robot: Study of the effects of robot behaviour on user engagement and comfort, *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, c. 82, ss. 83–95, 2015.
- [45] Sejati P., Suzuki H., Kitajima T., Kuwahara A. ve Yasuno T., Object Conveyance Algorithm for Multiple Mobile Robots based on Object Shape and Size, c. 7, sayı 5, 2016.
- [46] Liu F., Liang S. ve Xian X., Optimal Robot Path Planning for Multiple Goals Visiting Based on Tailored Genetic Algorithm, c. 6891, sayı March, 2017.
- [47] Das B., Couceiro M. S. ve Vargas P. A., MRoCS : A new multi-robot communication system based on passive action recognition, *Rob. Auton. Syst.*, c. 82, ss. 46–60, 2016.
- [48] Vasilyev I., Kashourina A., Krasheninnikov M. ve Smirnova E., Use of Mobile Robots Groups for Rescue Missions in Extreme Climatic Conditions, c. 100, ss. 1242–1246, 2015.
- [49] Abukhalil T., Patil M., Patel S. ve Sobh T., Coordinating a Heterogeneous Robot Swarm Using Robot Utility-based Task Assignment (RUTA).
- [50] Prasad A., Sharma B. ve Vanualailai J., A new stabilizing solution for motion planning and control of multiple robots, c. 34, sayı 2016, ss. 1071–1089, 2017.
- [51] Dai Y., Kim Y., Wee S., Lee D. ve Lee S., Symmetric caging formation for convex polygonal object transportation by multiple mobile robots based on fuzzy sliding mode control, *ISA Trans.*, c. 60, ss. 321–332, 2016.
- [52] Triguí S., Cheikhrouhou O., Koubaa A., Baroudi U. ve Youssef H., FL-MTSP : a fuzzy logic approach to solve the multi-objective multiple traveling salesman problem for multi-robot systems, *Soft Comput.*, 2016.
- [53] Al M. ve Nüchter A., Enhanced frontier-based exploration for indoor environment with multiple robots, c. 29, sayı 10, ss. 657–669, 2015.
- [54] Das B., Adaptive sliding mode formation control of multiple underwater robots, c. 24, sayı 4, ss. 515–543, 2014.
- [55] Sugiyama H., Tsujioka T. ve Murata M., Real-time exploration of a multi-robot rescue system in disaster areas, c. 27, sayı 17, ss. 1313–1323, 2013.
- [56] Hoshino S. ve Seki H., Multi-robot coordination for jams in congested systems, *Rob. Auton. Syst.*, c. 61, sayı 8, ss. 808–820, 2013.
- [57] Gil S., Kumar S., Katabi D. ve Rus D., Adaptive Communication in Multi-Robot Systems Using Directionality of Signal Strength, ss. 1–18, 2010.
- [58] Kosak O., Wanninger C., Angerer A., Hoffmann A., Schiendorfer A. ve Seebach H., Towards Self-organizing Swarms of Reconfigurable Self-aware Robots, 2016.
- [59] Kılıç A. ve Kapucu S., Modüler yeniden yapılandırılabilir robot modülü OMNIMO ' nun tasarımı ve üretimi”, c. 3, ss. 521–530, 2016.
- [60] Kızır Z., Bingül S., Haptik Kontrollü Stewart Platformu ile Endoskop Konumlama.
- [61] Saeidi H., Mikulski D. G. ve Wang Y., Trust-Based Leader Selection for Bilateral Haptic Teleoperation of Multi-Robot Systems, ss. 6575–6581, 2017.
- [62] M R., B. A. Vishnu, T P., Reghu N. C. ve M. S, Tele-Operated Trajectory Tracking of Differential Drive Wheeled Mobile Robot Using Haptic Robot, ss. 587–592, 2017.
- [63] Saeidi H., Wagner J. R. ve Wang Y., A Mixed-Initiative Haptic Teleoperation Strategy for Mobile Robotic Systems Based on Bidirectional Computational Trust Analysis, *IEEE Trans. Robot.*, c. 33, sayı 6, ss. 1500–1507, 2017.
- [64] Hotel I. C. ve Family S., Haptik Rehabilitasyon Uygulamalar, ss. 293–296, 2016.
- [65] Surendran A. ve S J M., Sliding mode controller for robust trajectory tracking using haptic robot, 2016 IEEE 1st Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst., ss. 1–6, 2016.
- [66] Wei H., Shao Z., Huang Z., Chen R. ve Guan Y., RT-ROS : A real-time ROS architecture on multi-core processors, *Futur. Gener. Comput. Syst.*, c. 56, ss. 171–178, 2016.
- [67] www.techradar.com.erisim:10.10.2017
- [68] Woodward M. A. ve Sitti M., MultiMo-Bat: A biologically inspired integrated jumping-gliding robot, *Int. J. Rob. Res.*, c. 33, sayı 12, ss. 1511–1529, 2014.
- [69] Mulgaonkar Y., Makineni A., Guerrero-Bonilla L. ve Kumar V., Robust Aerial Robot Swarms Without Collision Avoidance, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, c. 3, sayı 1, ss. 596–603, 2018.
- [70] Silva L. ve Nedjah N., Efficient strategy for collective navigation control in swarm robotics, *Procedia Comput. Sci.*, c. 80, ss. 814–823, 2016.
- [71] Ravalli A., Rossi C. ve Marrazza G., Sensors and Actuators B : Chemical Bio-inspired fish robot based on chemical sensors, *Sensors Actuators B. Chem.*, c. 239, ss. 325–329, 2017
- [72] Zhang J., Song G., Li Y., Qiao G., Song A. ve Wang A., Mechatronics A bio-inspired jumping robot : Modeling , simulation , design , and experimental results, *Mechatronics*, c. 23, sayı 8, ss. 1123–1140, 2013.
- [73] Liu Y., Sun S., Wu X. ve Mei T., A Wheeled Wall-Climbing Robot with Bio-Inspired Spine Mechanisms, *J. Bionic Eng.*, c. 12, sayı 1, ss. 17–28, 2015.
- [74] Martel S., Mohammadi M., Switching between magnetotactic and aerotactic displacement controls to enhance the efficacy of MC-1 magneto-aerotactic bacteria as cancer-fighting nanorobots, *Micromachines*, c. 7, sayı 6, 2016.
- [75] Al-Fandi M., Alshraideh N., Owies R, Alshdaifat H, Al-Mahaseneh O., Al-Tall K., Alawneh R., Novel Selective Detection Method of Tumor Angiogenesis Factors Using Living Nano-Robots, *Sensors*, c. 17, sayı 7, s. 1580, 2017.

- [76] Hu C., Arvin F. , Yue S., Development of a bio-inspired vision system for mobile micro-robots, IEEE ICDL-EPIROB 2014 - 4th Jt. IEEE, ss. 81–86, 2014.
- [77] Tang C., Liu J., Chen X., Micro / Nano-Robotics in Biomedical Applications and Its Progresses, sayı 1966, ss. 376–380, 2015.

Benzinli Bir Motorda Isıtılmış Biyoetanölün İkincil Yakıt Olarak Kullanımının İncelenmesi

Tahsin Yüksel^{1*}, İlker Temizer², İbrahim Can³, Ferhat Koca⁴

¹Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye
^{*}tyuksel@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 21/03/2018;

Kabul/Accepted: 01/12/2018)

Özet: Bu çalışmada, benzinli bir motor üzerinde birtakım düzenlemeler yapılarak biyoetanöl gaz halinde ikincil yakıt olarak kullanıldı. Farklı oranlarda ikincil yakıt olarak kullanılan biyoetanölün motorun performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değişimleri araştırıldı. Yakıtın silindir içerisine gaz haliyle gönderilmesi sayesinde sıvı yakıtın oluşturduğu bazı olumsuzluklara çözüm bulunmaya çalışıldı. Deneylerde kullanılan motor 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 dak⁻¹ devirlerde tam yükte (tam gazda) çalıştırılarak motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri incelendi. Elde edilen sonuçlara göre emisyon salınımlarında iyileşmelerin olduğu gözlemlendi ve farklı çalışma şartları altında silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları Febris yanma analiz programı yardımı ile hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Biyoetanöl, biyoyakıtlar, çift yakıt, yanma analizi, febris

Investigation of the Using Heated Bioethanol as a Dual Fuel in a Gasoline Engine

Abstract: In this study, the bioethanol was used as dual fuel in gas form by making some arrangements on a gasoline engine. Fuel consumption and emission values were investigated as experimental the use of evaporated bioethanol as a dual fuel at various mixture ratios in a gasoline engine. It was tried to find solutions to some of the negative effects of liquid fuel thanks to the gas form fuel being sent in to the cylinder. The engine used in the experiments was operated to examine the engine performance, emission and combustion characteristics at full load (full throttle) at speeds of 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 and 2250 rpm. According to the obtained experimental results, improvements in the emission values were observed and maximum cylinder pressures and heat release amounts under different operating conditions were calculated with the aid of Febris combustion analysis program.

Keywords: Bioethanol, biofuels, dual fuel, combustion analysis, febris

1. Giriş

Otomotiv sektöründe kullanılan yakıtların fosil kökenli kaynaklardan karşılanması noktasında ülkeler bazında durum pek iç açıcı değildir. Araçların yürütülmesi için gerekli olan enerjinin karşılandığı yakıtı yani petrolü, büyük oranda ithalat yoluyla tedarik eden petrolde dışa bağımlı olan ülkeleri olumsuz olarak etkilemektedir. Petroldeki dışa bağımlılığı azaltmak, üretimdeki en önemli gider kalemlerinden olan akaryakıt giderlerini azaltarak ürün maliyetlerini düşürmek ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunmak gerekmektedir. Bu hususların yanı sıra dünya üzerindeki fosil kaynakların azalmakta ve tükenecek olması da en önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeplerle yeni enerji kaynaklarının bulunması ve kullanılması zorunluluk haline gelmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya enerji talebi içinde gelecekteki konumları Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmaya göre, 2000-2030 yılları arasında fosil enerji kaynaklarının payının %85, petrol ve doğal gazın payının ise %60 seviyelerinde olacağı öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji payı ise %15 düzeyinde olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele biyokütle sahiptir [2]. Biyoyakıtları ve özellikle etanolü uluslararası gündeme taşıyan esas gelişme, 2007 yılı başlarında ABD yönetiminin, Brezilya ile beraber, biyoyakıtları küresel çapta bir enerji kaynağı haline getirme kararı almasıdır [3].

Biyetanöl; petrol esaslı olmayan şekerli ve nişastalı bitkilerin fermantasyonu veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilmektedir. Şeker pancarı, şeker kamışı, buğday, mısır, patates, sap-saman-kabuk gibi odunsu atık veya artıklar ile odun biyoetanöl üretiminde kullanılabilir. Şeker üretimi yan ürünü melas da önemli bir alkol hammaddesi olarak kullanılmaktadır [2]. Biyoetanöl, etil alkol, bitkisel alkol veya iştirto olarak da adlandırılmaktadır. Biyoetanöl, renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvıdır. Soluk, mavimsi ve ıssız bir alevle yanmaktadır. Etanol suyla karışması neticesinde hacminde küçülme meydana gelmektedir. Yüksek oktan

* Sorumlu yazar: tyuksel@cumhuriyet.edu.tr.

Yazarların Orcid Numarası: ¹0000-0003-3238-9113, ²0000-0003-1170-3898, ³0000-0003-4774-3744, ⁴0000-0001-8849-5295

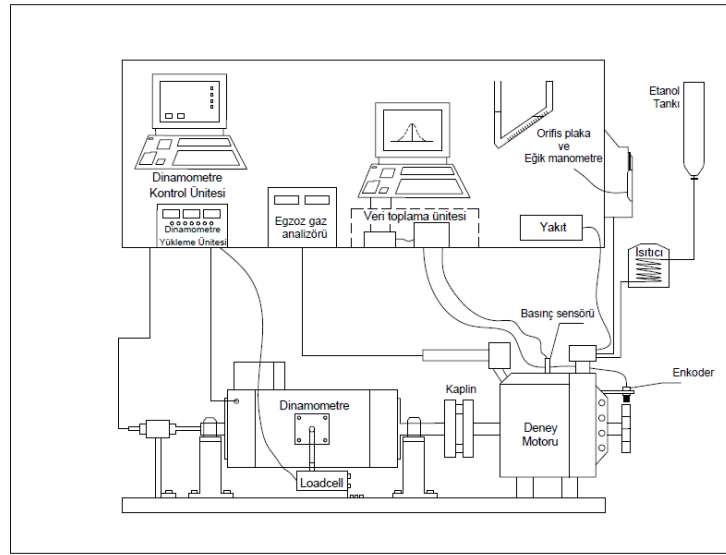
sayısına (yaklaşık 108 ROS) sahip olması, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığı için bu tür motorlarda kullanılması avantaj sağlamaktadır [4 - 7]. Günümüzde sıvı etanol, benzin motorlarında yaygın olarak saf halde veya karışım olarak kullanılmaktadır ve benzin-biyoyakıt karışım oranı standart bir değere kadar olabilmektedir [8]. Benzine etil alkol katılması sayesinde yanma iyileşmekte ve vuruntu dayanımı artmaktadır. Aynı zamanda alkol kullanımı hava kirliliğini azaltmakta oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Alkoller, içeriğindeki oksijen miktarı ve oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle yanma sonucu çevreye verdikleri zarar, fosil kökenli yakıtlara göre daha düşüktür. [5]. Bunun yanı sıra benzinle kıyaslandığında yüksek buharlaşma ısısına sahip olan alkoller, silindir içerisine emilen karışımı soğutmakta ve bu durumda motorun volümetrik verimini arttırmaktadır. Ancak fosil kökenli yakıtlara göre alkollerin ısı değerlerinin düşük oluşu özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır [9]. Buharlaşma ısısının yüksek olması motorun soğukta ilk hareketini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekmektedir. Keskin ve arkadaşları, ısı değerinin düşük olmasından dolayı alkollerin benzine katılmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış tespit etmişlerdir. Ayrıca CO emisyonlarında önemli derecede düşüş, CO₂ emisyonlarında benzine göre artış, HC emisyonlarında benzine göre artış ve NO_x emisyonlarında düşme eğilimi gözlemlerken, O₂ emisyonlarında önemli bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir [10]. Turner ve arkadaşları, benzine eklenen etanolün motor emisyonlarının azalmasına ve verim artışına olumlu katkısının olduğunu belirlemişlerdir [11]. Egzoz gazlarının küresel ısınma ve çevre felaketlerine olan etkisini azaltmak için dünya genelinde pek çok yasal sınırların ve desteklemelerin olduğu bilinmektedir. Avrupa'da 2020 yılına kadar toplam enerji ihtiyaçlarının en az %10'unu biyoyakıtlardan ve alternatif yakıtlardan karşılanması amaçlanmaktadır [12].

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların en başta gelen özellikleri arasında ucuz olmaları, düşük emisyon değerlerine sahip olmaları, ihtiyaçları karşılayacak miktarlarda üretilebilmeleri, kolaylıkla depolanabilir ve taşınabilir olmaları istenir. Ayrıca vuruntuya neden olmamaları için yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya uygun olmaları da gerekmektedir. Biyoyakıtlar, bu özellikleri karşılama noktasında çözümler arasında yer almakla birlikte kullanılan motorlarda önemli değişikliklere ihtiyaç yoktur. Yüksel ve arkadaşı, etanol-benzin karışımı kullanarak yaptıkları deneyler neticesinde ısı veriminde önemli bir değişiklik olmadığı, özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, motor momenti ve motor gücünde azalma olduğu, %80 oranında CO emisyonunda, %50 oranında HC emisyonunda azalma ve motorun çalışma koşullarına göre %20 oranında CO₂ emisyonunda artış olduğunu belirlemişlerdir [13]. Cohn ve arkadaşları, sıvı etanolün direkt püskürtülmesi ve ikincil yakıt olarak benzin ile eş zamanlı püskürtülmesinin avantaj sağladığını belirtmişlerdir [14-15]. Benzer şekilde Ford, ikincil yakıt metodunu kullanarak daha yüksek basınçlarda püskürtme yaptıklarını ve olumlu sonuçlar aldıklarını ifade etmişlerdir [16]. Çelik, benzinli bir motor için yüksek sıkıştırma oranında uygun etanol-benzin karışımı oranının deneysel olarak belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada, etanolün yüksek oktan sayısına ve düşük emisyon değerleri verdiğini ifade etmiştir [17]. Al-Hasan, çeşitli oranlardaki kurşunsuz benzin-etanol karışımları kullanarak yaptığı araştırmada bütün motor devirlerinde ölçülen bütün parametreler için en iyi sonuçlar hacimsel olarak %20 etanol yakıt karışımında elde etmiştir [18]. Bayraktar, benzin-etanol karışımı kullanılan motorda %7,5 etanol karışımı motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından en uygun olduğunu ifade etmiştir [19]. Koç ve arkadaşları, yaptıkları testlerin sonuçlarına göre kurşunsuz benzine eklenen etanolün motor torkunu, gücü ve yakıt tüketimini arttırırken, karbon monoksit (CO), azot oksit (NO_x) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarını azalttığını göstermişlerdir [20]. Abdel-Rahman ve arkadaşı, hacimce %10, 20, 30 ve 40 etanol içeren etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkilerini üzerine yaptıkları testlerin sonuçlarına göre, benzine etanol ilavesinin oktan sayısını artırdığını, etanolün buharlaşma ısısının benzine göre daha yüksek olmasından dolayı etanol ilavesinin, karışımın ısı değerini azalttığından dolayı performansı olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir [21]. Huang ve Hong, ısıtılmış etanolün silindir içerisine enjektörle püskürtülerek motor emisyon değerlerini deneysel olarak incelemişlerdir. CO ve HC emisyonlarını önemli derecede azalttığını ve NO emisyonunu az miktarda artırdığını belirlemişlerdir. Sonuçta etanolün ısıtılmasının olumlu etkisi olduğunu göstermişlerdir [22].

Günümüzde yeni ihtiyaçlara cevap verebilecek motorları üretmek veya alternatif yakıtların hâlihazır motorlarda kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi için deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda zaman ve masraf açısından kayıplar olmakla beraber birçok ölçüm parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile kayıpları azaltmak ve çeşitli ölçüm parametrelerini elde etmek amacıyla yanma analiz programları ile bu sıkıntı giderilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada, çeşitli oranlarda buhar etanolün motora gönderilmesi sonucu motordan ve yanma analiz programı (FEBRİS) kullanılarak elde edilen verilerin birlikte işlenmesi yoluyla biyoetanölün kullanımı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılmış olan çalışma ile benzinli motorların temel çalışma prensipleri göz ardı edilmeden, motorun sıkıştırma oranı değiştirilmeden yakıt sisteminde birtakım değişiklikler yapılarak benzin/hava ve benzin-buhar etanol/hava karışımlarının homojen olarak doldurulmasının sonucunda motorun performans, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri üzerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı miktarlardaki etanolün bir buharlaştırıcıdan geçirilerek buharlaştırılması ve emme manifoldundan karışım halinde silindire ulaşan benzin ve buhar etanolün hava ile karışımının daha iyi olması sağlanarak silindirde özellikle etanolün buharlaşması aşamasındaki enerji kaybının önüne geçilmesi planlanmıştır. Bilindiği üzere, biyoetanol farklı yöntemlerle motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtlardan biridir. Benzinli bir motorda biyoetanolün gaz halinde ikincil yakıt olarak kullanılması sonucu motorun performansı, yakıt tüketimi, emisyon değişimlerinin yanı sıra yanma analiz programı yardımı ile silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları araştırılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda motora ilave yapılan sistemler ile deney düzeneğinin elemanları montajlanarak şematik görünümü Şekil 1’de gösterilen hale getirilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Bu çalışmada bazı özellikleri Tablo 1’de verilen değişik oranlardaki benzinin ve ısıtılarak buharlaştırılan etanolün farklı yollardan teknik özellikleri Tablo 2’de verilen buji ateşlemeli benzinli bir motora gönderilmesi sayesinde emme manifoldunda karışım oluşturulmuş ve karışımın silindire alınması sağlanmıştır.

Tablo 1. Benzin ve etanolün kimyasal özellikleri [6-7]

	Benzin	Etanol
Kimyasal formülü	$C_7H_{16}-C_8H_{18}$	C_2H_5OH
Yoğunluk (gr/cm^3) (20 °C)	0.72-0.76	0.789
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44300	26900
Parlama noktası (°C)	-45 - -13	12-20
Kaynama noktası (°C)	27-225	78
Donma noktası (°C)	-40	-114
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	349	900-920
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	228-470	363
Araştırma oktan sayısı (ROS)	91-100	108.6-110
Motor oktan sayısı	82-92	92
Hava / Yakıt oranı (kg/kg)	14.2-15.1/1	8.97/1
C/H oranı	0.55-0.7	0.33

Motorun yüklenmesi işlemi, Baturalp Taylan marka elektrikli (aktif) dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Yakıtın silindir içerisine gaz haliyle gönderilmesi sayesinde buharlaşma ısısının sebep olduğu olumsuz etkiler ortadan kaldırılmaya çalışılarak hacimsel olarak farklı oranlardaki etanol deneyde kullanılan motorda 1000-2250 dak^{-1} devir aralıklarında tam yükte (tam gazda) çalıştırılarak motorun performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değişimleri ve yanma karakteristikleri incelenmiştir. Silindir içi maksimum basınç değişimlerinin ölçümü, krank açısı değişimlerinin belirlendiği enkoder (krank açısı sensörü) aracılığı ve silindir kapağına yerleştirilen optik basınç sensörü yardımıyla tespit edilmiştir. Farklı çalışma şartları altında silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları Febris yanma analiz programı yardımı ile hesaplanmıştır. Deney esnasında ölçülen motor teknik verileri Febris sensör arayüzü aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarımı sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada, yakıt sisteminde yapılan düzenlemelerle yakıt olarak benzin ve buhar halindeki etanol aynı anda ayrı ayrı sistemlerden motor içerisine gönderilmiştir. Bu aşamada motor devir sayısı, yakıt tüketimi, motor torku gibi motor çalışma parametreleri ve motor emisyon değerlerinin ölçümleri ve eş zamanlı olarak kaydedilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, enkoder ve basınç sensörü kullanılmasının yanı sıra deney motorunun motor silindir çapı, strok boyu, silindir sayısı, sıkıştırma oranı ve biyel kolu uzunluğu gibi teknik veriler yazılım programına girilmiş [23-24] ve kompleks yanma analizlerini yapabilen Febris yanma analiz yazılımı ile deneysel veriler elde edilmiştir.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

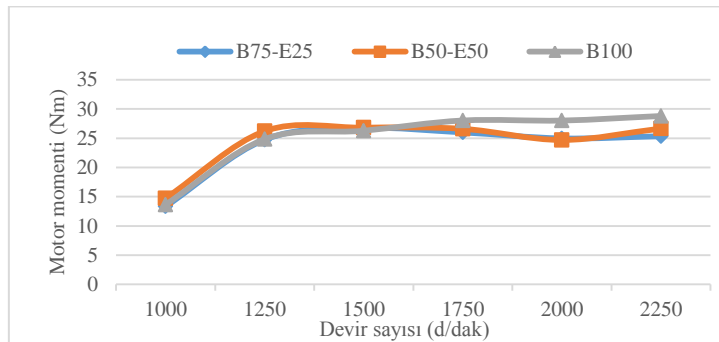
Motor modeli	Loncin G420 F
Motor soğutması	Hava soğutmalı
Silindir sayısı	1
Motor Hacmi	420 cc
Maksimum Güç	3600 dev/dak, 8.5 kW
Sıkıştırma oranı	8.3:1
Çevrim sayısı	4 zamanlı
Çalışma şekli	Buji ateşlemeli

Deneylerde test yakıtı olarak kullanılan biyoetanol, Elâzığ Şeker Fabrikasından temin edilen şeker pancarı melasının Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarlarında işlenmesi yoluyla üretimi gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyon değerlerinin ölçümü BOSCH marka BEA 350 tipi egzoz gaz analiz cihazı yardımı ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda motor, testlerden önce yaklaşık 15 dakika yüksüz olarak çalıştırılarak çalışma sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Tüm deneyler için ortam sıcaklığının sabit değerde olduğu yaklaşık 22°C'de gerçekleştirilmiştir.

3. Deneysel Bulgular

3.1. Motor Momenti

Şekil 2'de farklı yakıt tiplerinde ve oranlarında çalışma durumunda gaz keleşliği tam açıkken motorun tam yükteki moment değişimi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi her iki yakıt türü için devir sayısının yükselmesi ile motor momentinin artması birim zamandaki çevrim sayısının artmasının sonucudur.



Şekil 2. Motor momentleri

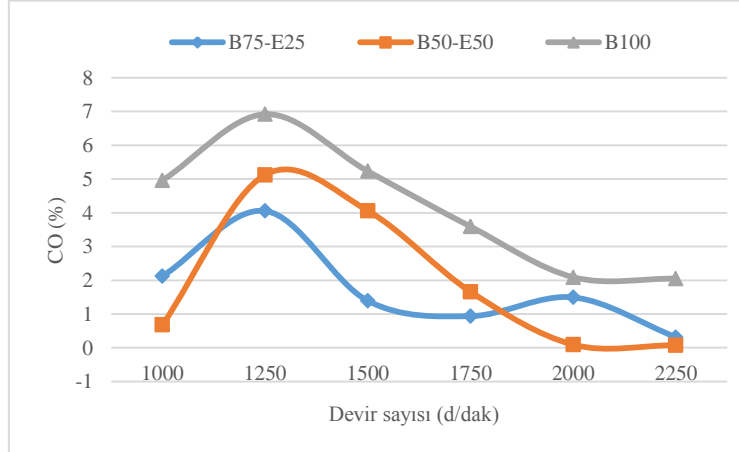
İçten yanmalı motorlarda motor momentini belirleyen temel değişken parametrenin ortalama efektif basınç (Pme) olduğu bilinmektedir [21, 25]. Motorlarda Pme'nin maksimum olduğu devirlerde motor momenti de maksimumdur. Çalışma verilerine bakıldığında da düşük motor devirlerinde tüm çalışma durumlarında motor momenti de düşüktür. Devir artışı ile birlikte motor momentlerinin arttığı görülmektedir. Saf benzinle (B100) çalıştırılan motorda, motor momenti sürekli artış durumunda iken benzin-etanol karışım yakıtı kullanılan durumda ise moment artışı gözlemlenirken %25 (B75-E25) oranında etanol kullanılan motor için 1500 dak⁻¹ üzerindeki devirlerde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Karışım yakıt oranı %50 (B50-E50) olan motor çalıştırma koşullarında aynı devir üzerindeki devirlerde motor momenti sabit değer göstermektedir. Bu durumlar karışım yakıtlarda etanol miktarının artması ile alt ısıl değeri düşük olan yakıt miktarının artması olarak yorumlanabilir.

Alt ısıl değerinin düşmesi ile yanma sonucu motora giren enerji miktarının azalması ile Pme'nin azalmasına sebep olur. Sonuç olarak motor momentinin azalması beklenen bir sonuçtur. Karışım yakıtlar içerisinde etanol miktarının artması bu durum itibari ile bir avantaj olarak görülmemektedir.

3.2. CO Emisyonları

CO, eksik yanmayı gösteren zararlı bir emisyon türüdür. Temel oluşum nedeni, silindir içerisindeki O₂ yetersizliği şeklinde açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde alkollü yakıtların bulunduğu çalışmalarda referans yakıtımıza göre önemli düşüşler elde edilmiştir. Bu azalmada, yakıt içerisindeki O₂ varlığı ve alkol yakıtlarının stokiyometrik oranlarının etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi karışım yakıtlarla saf benzin kıyaslandığında karışım yakıtlardaki CO emisyon oranlarında önemli oranlarda azalmalar olduğu ve bu azalmanın yüksek devirlerde de devam ettiği görülmektedir. Bu durum etanolün molekül yapısında var olan oksijen miktarının yüksek olması ve beraberinde yüksek oktan sayısı ve içeriğinde kükürt bileşiklerinin olmamasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Etanol oranı yüksek olan karışım yakıt için yüksek devirlerdeki CO miktarı düşüşü daha yüksek olduğu görülmektedir [10, 13, 20, 22]. Motor devrinin artması sonucu her çevrimde silindire alınan etanol miktarındaki artışın bu duruma imkân verdiğini söylemek mümkündür.

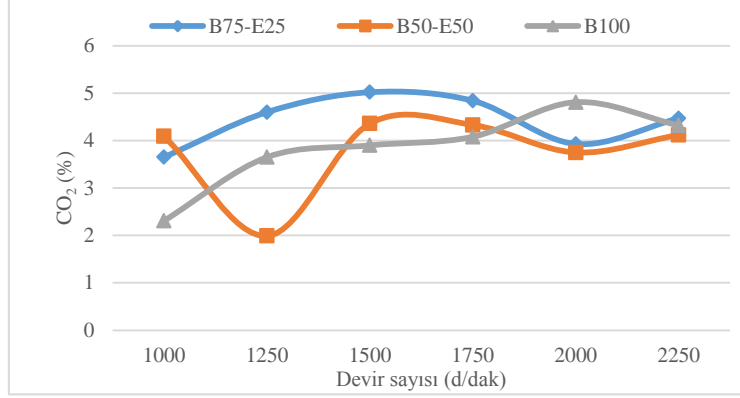


Şekil 3. CO emisyon oranları

3.3. CO₂ Emisyonları

CO₂ emisyonu, motorlardaki yanma kalitesi hakkında bilgi veren önemli bir emisyon türüdür. Tam yanma ürünleri içerisinde bulunan CO₂ emisyonu, yakıtın C/H oranı, O₂ konsantrasyonu gibi yakıt özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bilindiği üzere etanolün C/H oranı benzine kıyasla düşüktür. Aynı zamanda referans benzin yakıtına kıyasla CO emisyonundaki azalmalar ile CO₂ emisyonlarındaki artışlar birbirine bağımlı gelişmektedir. CO₂ emisyonlarının ortamdaki O₂ konsantrasyonu ile beraber arttığı deney sonuçlarında elde edilmiştir [10, 13]. Şekil 4'de de görüldüğü üzere CO₂ oranı karışım yakıtlarda benzine oranla yüksek olduğu görülmektedir. Motorun çalıştırılma koşulu tam yük ve tam gaz keleşliği açıklığında gerçekleştirildiği için yani tüm motor çalıştırma koşullarında gaz keleşliği açıklığı değiştirilmediğinden silindir içerisine alınan karışım miktarı

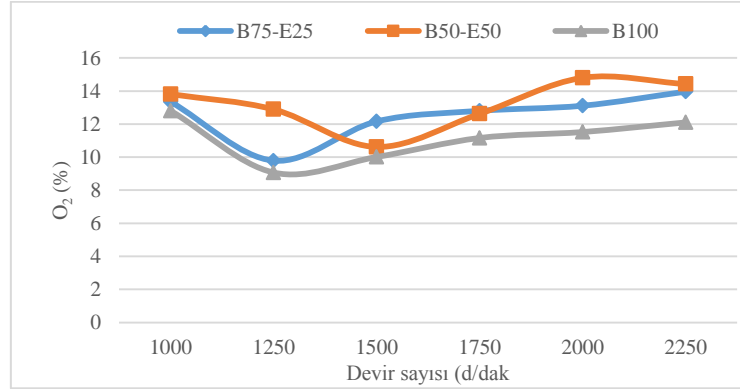
benzinden daha fazladır. Yaklaşık olarak iki katı civarına denk gelmektedir. Bu sebeple karışım yakıtlarda kullanılan etanol miktarı da benzindeki karbon oranına yaklaşmaktadır. Dolayısı ile karışım yakıt kullanımındaki CO₂ oranı da yüksek çıkmaktadır. Artan motor devirleri ile birlikte silindire alınan karışım yakıt miktarındaki artış neticesinde CO₂'deki artış da devam etmiştir. Ayrıca CO₂ emisyonu tam yanmanın bir göstergesi olarak karışımıza çıkmaktadır. Bu nedenle emisyondaki artış, silindire alınan karışımların tam yanma olayına yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. CO₂ emisyonları

3.4. O₂ Emisyonları

Egzoz emisyonları içerisindeki O₂ varlığı yanmanın hangi şartlarda gerçekleştiği hakkında bilgi veren önemli bir parametredir. Yüksek devirlerde yanma için ayrılan sürenin azalması yeterli miktarda oksijenin reaksiyona girememesine neden olmuştur. Orta devirler için ise oksijen miktarındaki azalma yanma için yeterli oksijenin reaksiyona girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzine kıyasla karışım yakıtlardan elde edilen O₂ emisyon değerleri Şekil 5'de görüldüğü gibi daha yüksek çıkmıştır [5, 11]. Bu durumu karışım yakıtların kimyasal yapılarında yer alan oksijen miktarının fazlalığı sonucu yanma ürünlerinde de emisyon değerlerindeki O₂ miktarının fazlalığı ile açıklamak mümkündür.

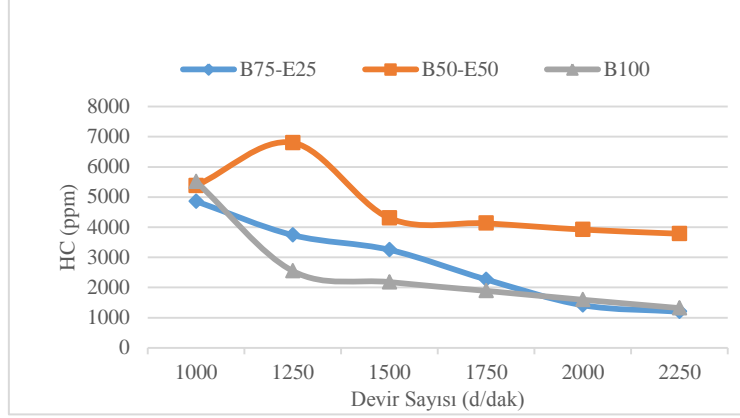


Şekil 5. O₂ emisyonları

3.5. HC Emisyonları

HC emisyonu, tam yanmayan ürünlerin dışarı atılması sonucu eksik yanmadan kaynaklanmaktadır. Bu durum iyi hazırlanmış bir karışımın yüksek yanma verimleri ve yanmayı olumsuz etkileyecek yapısal ve işletme faktörlerin iyileştirilmesi ile azaltılabilmektedir. Silindir cidarlarına yakın soğuk bölgelerde alev sönmelerine yol açması neticesinde HC emisyon değerleri daha yüksek çıktığı bilinen bir durumdur. Şekil 6'da görüldüğü üzere motor devirlerinin yükselmesi ile HC emisyonlarının her üç yakıt tipi için azaldığı ancak karışım yakıtlar benzine göre yüksek çıkmıştır [10]. Ayrıca karışım yakıttaki etanol oranı attıkça bu artış daha yüksek değerlere

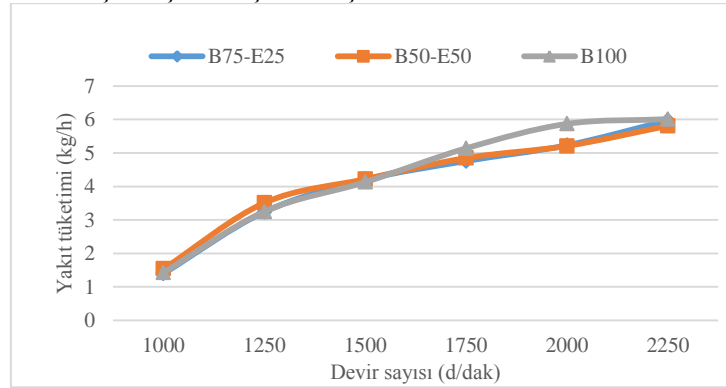
ulaştığı görülmektedir. Etanolün motora buharlaştırılarak gönderilmesinden ötürü emme manifoldun da etanolün buharlaştırılması için ekstra ısı çekilmemesi ve buhar halde emme manifolduna alınan etanolün hava ile karışım oluşum hızının artması yüksek devirlerde kısalan emme sürelerinde avantaj sağlamıştır. Bu avantaj grafikte görüldüğü üzere benzin ile %25'lik karışım oranına sahip yakıt karşılaştırıldığında açığa çıkan HC değerlerinin çok yakın olduğu ifade edilebilir. Elde edilen deneysel veriler ve motor üreticisinin belirttiği %10 etanol benzin sıvı karışımları çalışma sınırlarının %20-25 karışım oranlarına çıkarılmasını mümkün olduğunu göstermektedir. Etanol oranının artması, HC emisyon değerlerinin daha da yüksek çıkması ise etanolün yanma hızının düşük olmasına bağlanmaktadır. Dolayısı ile düşük oranda etanol karışım yakıt kullanmak daha avantajlı görülmektedir.



Şekil 6. HC emisyon oranları

3.6. Yakıt Tüketimleri

Motor testlerinde her bir test yakıt tipi için aynı devirlerde ve kelebek pozisyonunda birim zamandaki tüketim miktarları ölçülmüştür. Şekil 7'deki grafikte de görüldüğü üzere devir sayısının artması ile birim zamandaki çevrim sayısı arttığından motora giren yakıt miktarlarının artması olağandır. Ancak grafiğe bakıldığında yakıt içerisindeki etanol miktarının artması ile tüketilen yakıtın kütsel değerinin arttığı görülmektedir [5, 13, 20]. Bu durum etanolün alt ısıl değerinin azalması ve stokiometrik karışım oranının benzinden daha düşük olması ile açıklanabilir. Her üç yakıt türünde yapılan çalışmalarda Hava Fazlalık Katsayısı (λ) değeri 1 olacak şekilde karışım teşkili oluşturulmuştur.

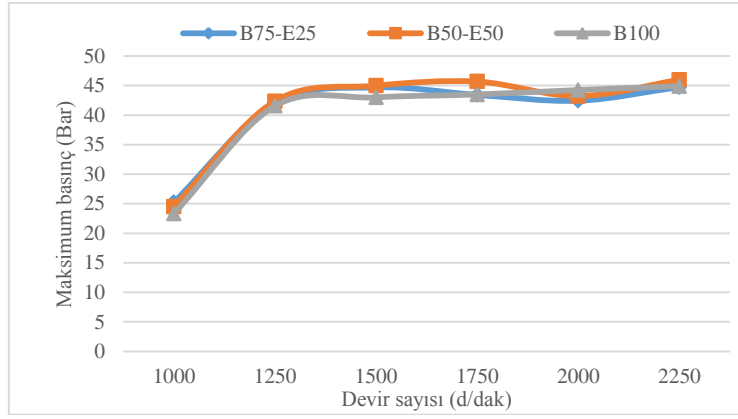


Şekil 7. Yakıt tüketimleri

3.7. Silindir İçi Maksimum Basınçlar

Yanma sonu silindir içi basınç ve krank mili açısına bağlı hacim değişimleri ile motorların performans ve iş çevrim parametreleri hakkında önemli bilgiler üretebilmektedir. Silindir içi basınç değişimleri deneysel ve teorik olarak farklı şekillerde elde edilebilmektedir. Deneysel olarak yapılan çalışmada, FEBRİS yanma analizörü

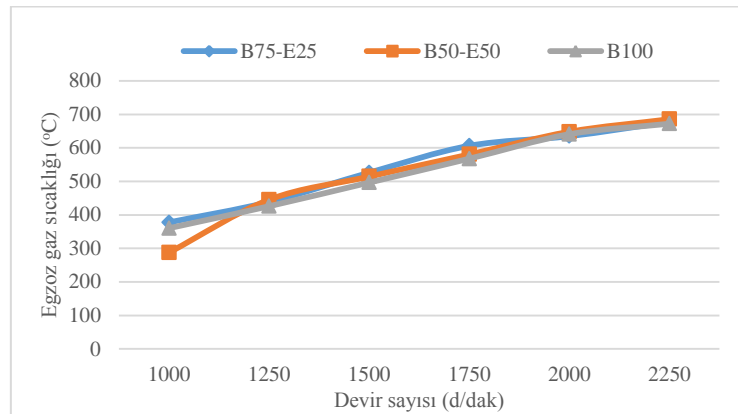
kullanılarak silindir kapağına yerleştirilen optik basınç sensörü ve krank mili üzerine yerleştirilen enkoder ile gerçek test şartlarında ölçülen basınç-krank mili açısı (KMA) değerleri FEBRİS ara yüzü aracılığı ile Şekil 8'deki grafik elde edilmiştir. Grafiğe baktığımızda aynı kelebek açıklığında her üç yakıt tipi için maksimum basınç değerlerinin devire bağlı arttığı 1500 dak^{-1} değerinden sonra ise maksimum basınç değerindeki artış daha düşük kaldığı görülmektedir. Yüksek devirlerde devir artışının bir takım mekanik kayıpların ve hidrodinamik kayıpların artmasına sebep olduğu bilindiğinden, iş çevrim parametrelerindeki olumsuz değişimler ile yüksek devirlerdeki basınç artış hızındaki yavaşlama ile izah edilebilir. Her üç yakıt tipi için maksimum basınç değişimlerin yakın olduğu görülmektedir, bu durum ise yakıt tiplerine göre kalorifik değerlerin değişimi söz konusu olsa dahi ve yakıtların alt ısıl değerleri farklı olmasına rağmen etanolün stokiyometrik karışım oranları ve hava fazlalık katsayısının (HFK) toplamda 1- 1.05 aralığında olduğu dikkate alındığında silindir içerisine alınan kilogram başına karışımların kalorifik değerlerinin birbirine yakın olması şeklinde izah edilmektedir [25].



Şekil 8. Silindir içi maksimum basınçlar

3.8. Egzoz Gaz Sıcaklıkları

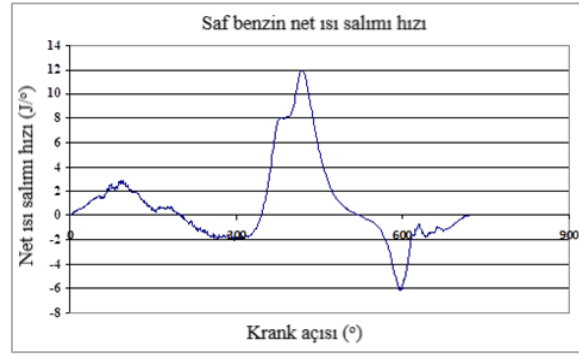
Egzoz gazı sıcaklıkları benzin ve karışım yakıtlar için kıyaslandığında, Şekil 9'da görüldüğü gibi karışım yakıtlarda daha yüksek çıkmıştır. Bu durum her ne kadar etanolün buharlaştırılması yoluyla çözülmeye çalışıldıysa da etanolün gizli buharlaşma ısıl değerinin yüksek olması ve düşük yanma hızı sebebi ile yanma olayının piston alt ölü noktaya doğru ilerlemesi halinde bile devam etmesi neticesindeki ısı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9. Egzoz gaz sıcaklıkları

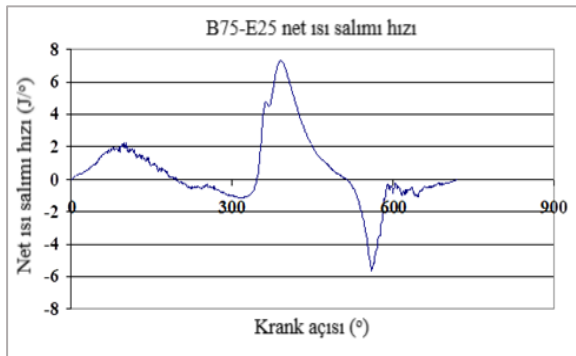
3.9. Net Isı Salımı

Isı salımı oranı, yanmanın incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Silindir içerisinde yanma sonucu oluşan ısının krank mili açısına (KMA) bağlı olarak ısı salımı FEBRİS yanma analiz programı yardımı ile incelenmiştir. FEBRİS yanma analiz programında ısı salımı, KMA'na bağlı olarak hacim değişimi, basınç, transfer edilen ısı ve yakıtın özgül ısı oranlarına bağlı olarak incelenmektedir. Net ısı salımı hesabı yapılırken silindir içerisindeki ısı transferi ihmal edilmektedir. Şekil 10'da B100 yakıtının net ısı salımı oranı, Şekil 11'de B75-E25 karışım yakıtının net ısı salımı oranı ve Şekil 12'de B50-E50 karışım yakıtının net ısı salımı oranı gösterilmektedir. 1250 dak⁻¹ için grafikler incelendiğinde, benzin içerisindeki etanol miktarı arttıkça net ısı salımı oranındaki düşüş şeklinde gözlemlenmektedir. Bu durumu benzinle beraber silindire gönderilen etanolün artışı ve etanolün buharlaşma nedeniyle silindir içerisinde ısı çekmesi şeklinde yorumlanabilir. Net ısı salımı ateşleme zamanı öncesi eksi değerleri göstermektedir.

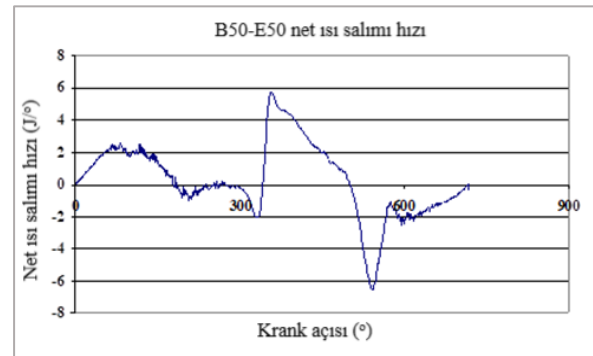


Şekil 10. B100 yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)

Bu durumun sebebi silindire alınan yakıt/yakıtların ateşleme zamanı öncesinde buharlaşma süreci esnasında ortamdaki ısı çekmesidir. Bujinin oluşturduğu kıvılcım ile başlayan yanma olayının neticesinde yakıt bir anda yanmaya başlayarak ani yanma gerçekleşerek ısı salımı artı değerlere ulaşmıştır. Devam eden süreçte yanma gerçekleşerek silindir hacminin genişlemesi ve yanmanın sona ermesi ile ısı salımı oranı giderek azalmaktadır. Egzoz supabının açılması ile ortamda ani ısı ve sıcaklık düşüşü olduğundan ısı salımı oranı yine negatif değerlere düşmektedir. Grafikler benzer olmalarına rağmen karışım içerisindeki etanol yüzdesi arttıkça yakıtların buharlaşması için gereken ısı miktarındaki artışın etkisi ile net ısı salımı değerleri de düşüş göstermiştir. Saf benzin ve karışım yakıtlar için 1250 dak⁻¹ görülen net ısı salımı oranları, motor devrinin artması ile birlikte artmış ve bu durum tüm motor devirlerinde benzerlikler göstermiştir. Motor devrindeki artışla silindirde sıcaklık değerlerinin yükselmiş olması ve beraberinde ısı transferi hızının düşmesi bu durumu izah etmektedir.



Şekil 11. B75-E25 karışım yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)



Şekil 12. B50-E50 karışım yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)

4. Sonuçlar

1. Isıtılmış etanol kullanımı sonucu, etanolün kalorifik değerinin düşük olmasından kaynaklı tüm karışım oranlarında moment değerlerinde bir miktar düşüş gözlenmiştir.
2. Karışım yakıtlar içerisinde etanol miktarının artması, etanolün alt ısıl değerinin düşük olmasından kaynaklı motorda enerji veriminin azalmasına yol açmıştır. Bu durumla, belirli oranların üzerinde etanol kullanımının avantajlı olmadığı belirlenmiştir.
3. Motor momenti düşüşü önemli derecede olmamasına karşın yakıt tüketimindeki artış iki katına çıkmadığı görülmüştür. Etanolün buharlaştırılması sonucu hava ile daha iyi karışım teşkil etmiş ve yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.
4. Etanol miktarının artışı ile yanmaya giren O₂ miktarı artmıştır. Aynı zamanda CO emisyon oranında düşüş tespit edilmiştir.
5. Silindir içerisine yaklaşık olarak benzine kıyasla iki katı etanol alınması, silindire alınan karbon miktarını arttırmıştır. CO₂ emisyonunun yükselmesinde bu durum tespit edilmiştir.
6. Karışım yakıtlarda benzine oranla, artan oranda silindire alınan etanol HC emisyonunu daha yüksek değerlere çıkarmıştır.
7. Karışım yakıtlar ve benzin yakıtı için maksimum basınç değişimleri yakın değerlerde çıkmıştır.
8. Buharlaşma ısıl değerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak yanma olayının uzaması egzoz sıcaklıklarının karışım yakıtlarda bir miktar daha yüksek kaldığı tespit edilmiştir.
9. Net ısı salımı değerleri ise saf benzine göre karışım yakıt içerisindeki etanol oranının artması ile silindir içerisinden çekilen ısı oranının artması sebebi ile düşüş göstermiştir.

Son Bilgi

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen TEKNO 003 nolu proje çalışmasından üretilmiştir. Bu çalışmanın bir bölümü 8. International Advanced Technologies Symposium (IATS17)'de yayınlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, İ., İlbaş, M., Su, Ş. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB, 3-4 Ekim 2003, Kayseri, 401-408.
- [2] Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları Filiz KARAOSMANOĞLU, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul.
- [3] US Ethanol Industry: the next inflection point. BCurtis Energies and Resource Group, 2007 year in review; 2008
- [4] www.kimyaborsasi.com.tr/e/etil-alkol-186.html
- [5] Gibilisco, S. Gasoline Engine Demystified, McGraw-Hill, London, 2007; 120-123.
- [6] Balki, M. K., Sayın, C., Çanakçı, M., Farklı Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi, 12. Uluslararası Yanma Sempozyumu, (ICS 2012), Mayıs 2012, 228-234
- [7] Thakur, A. K., Kaviti, A. K., Mehra, R., Mer, K.K.S. Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blend on SI engine, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017; 69, 324-340.
- [8] Wua, X., Daniel, R., Tianb, G., Xub, H., Huang, Z., Richardson, D. Dual-injection: The Flexible, Bi-Fuel Concept for Spark-Ignition Engines Fuelled with Various Gasoline and Biofuel Blends, Applied Energy, 2011; 88, 2305-2314.
- [9] Lee, S., Speight, J.G., Loyalka, S.K. Handbook of Alternative Fuel Technologies, Taylor&Francis Group, London, 2007; 297-343.
- [10] Keskin, A., Reşitoğlu, İ.A., Özcanlı, M. Butanol, Etanol ve Benzin Karışıklarının Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Özgül Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkisi, Ç.Ü.Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2009; 24, 147-156.
- [11] Turner, D., Xu, H., Cracknell, R.F., Natarajan, V., Chen, X. Combustion Performance of Bio-Ethanol at Various Blend Ratios in a Gasoline Direct Injection Engine, Fuel 2011; 90, 1999-2006.
- [12] Directive 2009/28/EC. Directive 2009/28/EC Official Journal of the European Union. 2009
- [13] Yüksel, F., Yüksel, B. The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine, Renewable Energy, 2004; 29, 1181-1191.
- [14] Bromberg L, Cohn DR, Heywood JB. Water Based Systems for Direct Injection Knock Prevention in Spark Ignition Engines, United States, 2010.
- [15] Cohn DR, Bromberg L, Heywood JB. Direct Injection Ethanol Boosted Gasoline Engines: Biofuel Leveraging for Cost Effective Reduction of Oil Dependence and CO₂ Emissions, Cambridge, MA 02139: Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [16] Levine M. Ford's , Bobcat, Dual Fuel Engine, 2009.

- [17] Çelik, M.B. Experimental Determination of Suitable Ethanol–Gasoline Blend Rate at High Compression Ratio for Gasoline Engine, *Applied Thermal Engineering* 2008; 28, 396–404.
- [18] Al-Hasan, M. Effect of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission, *Energy Conversion and Management*, 2003; 44, 1547–1561.
- [19] Bayraktar, H. Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline–Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines, *Renewable Energy*, 2005; 30, 1733–1747.
- [20] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine, *Renewable Energy*, 2009; 34, 2101–2106.
- [21] Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M. Experimental Investigation on Varying The Compression Ratio of SI Engine Working under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends, *International Journal of Energy Research*, 1997; 21, 31-40.
- [22] Huang, Y., Hong, G. Investigation of the effect of heated ethanol fuel on combustion and emissions of an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+ GPI) engine, *Energy Conversion and Management*, 2016; 123, 338-347.
- [23] Woschni, G. A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine, *SAE Technical Paper 670931*, 1967.
- [24] Heywood, J. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Macgraw-Hill Book Company, NY, 1988.
- [25] Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. *İçten yanmalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2013.

Yolçatı Köyü (Bingöl) Çevresinde Yüzeyleyen Solhan Volkanitlerinin Petrografisi ve Ana Oksit Jeokimyası

Sevcan KÜRÜM^{1*}, Tuğçe BAYKARA², Abdullah SAR¹

¹Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119-Elazığ

²Çelikler Holding, Elbistan - Kahramanmaraş

*¹email:skurum@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11/04/2018;

Kabul/Accepted: 04/02/2019)

Özet: Bingöl çevresinde geniş yüzeyleme oluşturan volkanik istif, bazik-ortaç bileşimli lavlar ile piroklastiklerden oluşmuştur. Petrografik olarak bazalt, andezit, ve trakitik özellikte olduğu belirlenen bu kayaların plajiyoklas, olivin, sanidin ve piroksen fenokristal ve mikrolitler ile oksitlerden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç türüne göre farklı dokusal özellikler gösteren bu kayalar genel olarak porfirik, vesiküler, glomeroporfirik, intersertal-intergranüler, ofitik-subofitik ve trakitik doku göstermektedir. Kayalarda özellikle plajiyoklas fenokristallerindeki erime-çözünme yapıları, kapanımlar, zonlanmalar ve yeniden büyüme yapısı ile olivin ve piroksenlerde iddingsitleşme ve korona dokusunun oluşumu gibi dengesizlik dokuları, asimilasyon-magma karışımı ve post-magmatik mineral oluşumunu göstermektedir. SiO₂ içeriği %47.07 - 67.18, Mg# ise %52.67-3.84 (bazalt, trakit) arasında değişim gösteren bu volkanik kayaların ana element içeriklerine göre, alkali-kalkalkali özellikte olduğu ve düşük-K'lu seriden şoşonitik özelliğe kadar değiştiği görülür. En düşük-K'a sahip kayalar bazaltlar olup, sırasıyla andezit, trakibazalt, trakiandezit ve en yüksek-K'lu kayalar şoşonitik özellikli trakitlerdir. Alkalen örneklerde Na₂O-2.0 ≥ K₂O olup, örnekler sodik karakterli hawaiiit ve benmoreit olarak tanımlanmıştır. Bu kayalardaki normatif mineral bileşimleri de petrografik özellikler ve ana element bileşimleriyle uyumludur. Normatif kuvars, andezit ve trakitte gözlenirken, nefelin yalnızca trakibazaltlarda gözlenir. Diyopsit ve hipersten hemen tüm kayalarda ve farklı oranlarda bulunurken, kayaların ana oksit bileşenini magnetit ve ilmenit mineralleri oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bingöl, Solhan Volkanitleri, Petrografi, Hawaiiit-Benmoreit, Normatif mineral.

The Petrography and Major Oxide Geochemistry of Solhan Volcanics Around the Yolçatı Village (Bingöl)

Abstract: The large volcanic sequence outcrops around Bingöl and consist of lavas of basic to intermediate composition and pyroclastics. These rocks are petrographically of basaltic, andesitic and trachytic character; display porphyritic, vesicular, glomerophytic, intersertal-intergranular, ophitic-subophitic and trachytic texture and made up of phenocrysts of plagioclase, olivine and sanidine in a matrix of plagioclase, olivine, pyroxene and oxides. In these rocks, melting-dissolving structures, inclusions, zonings and regrowth structures in the plagioclase phenocrysts in particular and disequilibrium textures such as iddingsitization and corona textures in the olivine and pyroxene phenocrysts indicate the formation of an assimilation-magma mixture and post-magmatic minerals. SiO₂ content and Mg # value of the basalt and trachytes vary between 47.07 - 67.18% and 52.67-3.84%, respectively. These volcanic rocks have alkaline-calc-alkaline characteristics according to their main element contents and they range from low-K lavas to shoshonitic lavas. The rocks with the lowest-K are basalts, andesites, trachybasalts, trachyandesites respectively and shoshonitic trachytes have the highest-K content. Alkaline samples have Na₂O-2.0 > K₂O and these were defined as hawaiiites and benmoreites of sodic character. The normative mineral compositions in these rocks are also compatible with petrographic properties and the major element compositions. The andesite and trachyte contain normative quartz, whereas in trachybasalt only nephelines are observed. Diopside and hypersthene are present in almost all rocks and in different ratios, while the major oxide component of these rocks is made up magnetites and ilmenites.

Key words: Bingöl, Solhan volcanites, Petrography, Hawaiiite-Benmoreite, Normative mineral.

1. Giriş

Çalışma alanı, Bingöl ilinin yakın batısında, Elazığ-Bingöl karayolu üzerindeki Yolçatı köyü ve çevresi olarak belirlenmiştir. Bingöl ve çevresinde gerek bölgenin jeolojisine ve gerekse volkanizmasına ilişkin önemli katkılar oluşturmuş, birçok öncel araştırmacının çalışması [1, 2] yakın tarihe kadar devam etmiştir [3 - 6]. Bu çalışmalarda farklı isimlendirmelerin Bingöl / Solhan volkanitleri, [7] kullanıldığı gibi, bu volkanitlerin Pliyo-Kuvaterner yaşlı gölsel-eski akarsu çökelleri ile yanal ve düşey geçişli olması nedeniyle, Miyosen'de başlayıp Pliyo-Kuvaterner'e kadar sürdüğü ileri sürülmektedir [8].

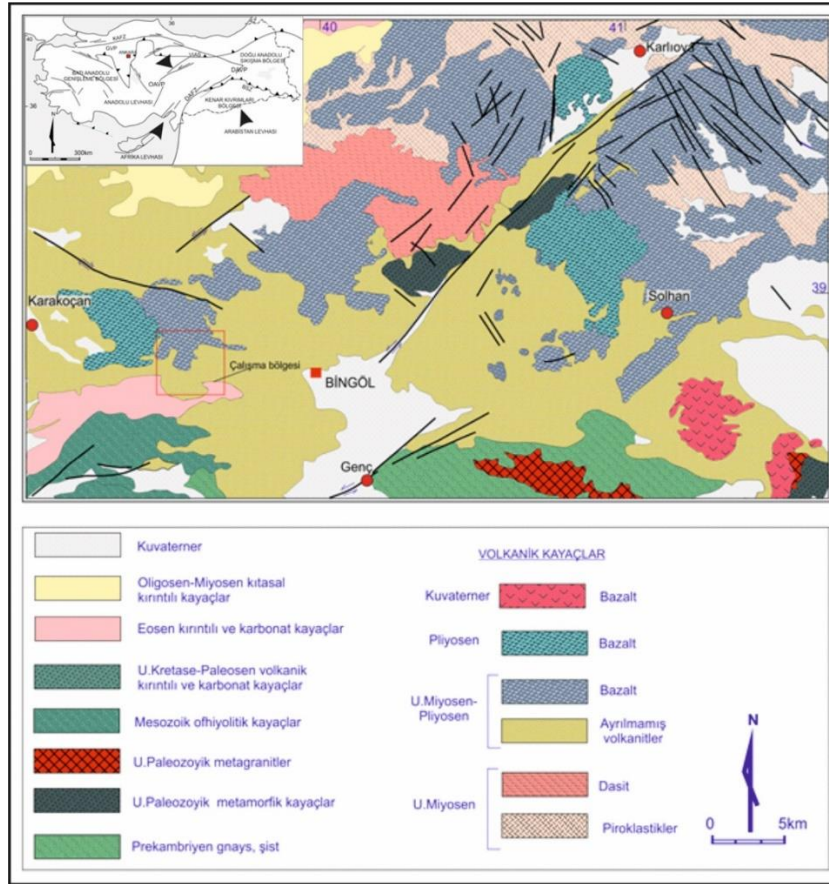
* Sorumlu yazar: skurum@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6121-5564, ² 0000-00016713-3789, ³ 0000-0002-9752-7807

Bölgede volkanizmanın yaklaşık 1000 m. kalınlığa eriştiği ve farklı evrelerde farklı volkanik ürünler oluşturduğu genel kabul görmektedir [3, 7, 9, 10]. Çalışma alanının Doğu Anadolu Bölgesinde olması nedeniyle, volkanizmanın oluşumu ve petrolojisi de bölge tektoniğiyle birlikte yorumlanılmaktadır. Örneğin Orta-Üst Miyosen yaşında olduğu belirtilen Bingöl/Solhan volkanitlerinin, zayıf alkali karakter gösterdiği ve Doğu Anadolu'da kabuğun henüz maksimum kalınlığa erişemediği dönemde, yukarı mantodan sığ derinliklerde kısmi ergimeyle oluştuğu belirtilmektedir [7].

Bu çalışmanın amacı, genellikle yeterli çalışmanın yapılmadığı Bingöl batısındaki volkanik kayaların mineralojik-petrografik özellikleri, normatif mineral içerikleri ve ana element oksit özelliklerini belirlemektir.

2. Bölgesel-Yerel Jeoloji

Doğu Anadolu'nun yapısal evrimini denetleyen en önemli jeodinamik olay, Arap Plakası ile Anadolu-Avrasya plakasının Geç Oligosen - Erken Miyosen sürecinde Bitlis-Zagros Sütur Zonu boyunca kenetlenmesi olarak kabul edilir [11]. Bu yitim ve çarpışma olayı, Mesozoyik-Senozoyik sürecinde kapanan Neotetis Okyanusunun orojenik işlevleridir [12, 13]. Bu çarpışma ile bölgedeki kabuk kalınlaşması / kısılması [14-21] bu jeodinamik olayın en önemli sonuçlarından biri olarak kabul edilir. Bu jeodinamik olaya bağlı olarak Doğu Anadolu'daki kabuk kalınlaşması sonucunda tüm Anadolu levasının batıya doğru hareketini sağlayan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) gelişimi gerçekleşmiştir [22, 23]. Bölgedeki yaygın volkanik aktivite de bu jeodinamik olaylar sonucunda post-orojenik işlevler olarak oluşmuştur [24-26].



Şekil 1. (a) Anadolu'nun basitleştirilmiş tektonik haritası ve ana Neotektonik yapıları [29, 30], (b) Bingöl ve çevresinin 1/500 000 ölçekli jeolojik haritası [31]. GVP: Galatya Volkanik Provensi, OAVP: Orta Anadolu Volkanik Provensi; VİAS: Vardar-İzmir-Ankara-Erzincan Sütur; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZS: Bitlis-Zagros Süturu, DAVP; Doğu Anadolu Volkanik Provensi.

Çalışma bölgesi, dünyadaki kıtasal çarpışma zonlarının en güzel örneklerinden biri olarak kabul edilen [27, 28] Doğu Anadolu'da bulunur. Lokal olarak Bingöl'ün yakın batısında bulunan bölge (Şekil 1), Arap-Avrasya çarpışma zonunun (Bitlis Sütür Zonu) kuzeyinde yer alır. Çalışma bölgesinin hemen kuzeyinde Karlıova bölgesinde, Karlıova üçlü kavşağının karmaşık, kinematik ve mekanik etkileşimleriyle tektonik oluşumlar, yükselme ve yaygın sismisite ile volkanizma oluşturduğu kabul edilir [32].

Bu bölgede, volkanitlerle beraber Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu [33] yüzeyler. Çalışma bölgesi ve yakın çevresinde daha çok kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve killi marn litolojisinde ve kaba ve ince tabakalanma gösteren birimde, tabakalanmanın yönü ve eğimindeki farklılıklar bölgedeki aktif tektonizmanın etkisini işaret etmektedir. Bölgede genellikle yumuşak bir topoğrafya oluşturan birim, litolojik özelliklerine de bağlı olarak ayrılmış-topraklaşmış olup, bitki anomalisi bakımından zengindir.

3. Solhan Volkanitleri ve Lokal Özellikleri

Solhan volkanitleri, çarpışmanın hemen sonrasında başlayan ve birinci evreye ait ilk volkanizma ürünleri olarak tanımlanır [7]. Bu ilk ürünlerin D.Anadolu'nun henüz maksimum kabuk kalınlığına erişmediği dönemlerde üst mantodan, sıg derinliklerde kısmi ergime ile oluştuğu kabul edilir [7, 34]. Araştırmacılar birimin daha sonraki evrelerde oluşan volkanik ürünlerinin ise kabuksal kökenli olduğunu belirtirler. Öncel çalışmalarda [2, 35-37] farklı adlamaların kullanıldığı Solhan volkanitlerinde [38] stratigrafik olarak Orta-Üst Miyosen – Pliyosen yaş aralığı genel kabul görmektedir [7, 24, 36-41]. Ancak Akay ve diğerleri [42], Solhan volkanitleri altındaki sedimanter kayaçlardan elde ettikleri fosillere dayanarak birimin yaşını Erken-Geç Pliyosen olarak belirtmişlerdir. Radyometrik olarak ise, Innocenti ve diğ. [24]'nin, Solhan volkanitleri lavları ile eşdeğer kabul edilen Pasinler yakınındaki lavların yaşları olan ve en yüksek yaş verisi olan $8.3 \pm 0.1 - 5.6 \pm 0.3$ My ile başlayıp, en düşük yaş verisi olan obsidiyenlerde $4.2 \pm 0.1 - 4.7 \pm 0.1$ My [43] aralığında değiştiği kabul edilir. Bu çalışmada Solhan volkanitlerinin yaşı, öncel çalışmalardaki [3-6] veriler ve stratigrafik ilişkilere dayanarak Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Solhan Formasyonu, aynı ve/veya farklı çıkış merkezlerindeki farklı mineralojik bileşimli volkanoklastik (aglomera, volkanik breş, lapilli, tüf, kül) ve lavlar (bazalt, bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit, dasit, latit) ile ince-orta katmanlı tüfit, marn, tüflü marn, gösel kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı gibi kırıntılı sedimanter/volkanoklastik kayaçlar içermektedir [42]. Bu formasyon içerisinde kabul edilen Solhan volkanitlerinin, karasal ortam özellikli ve yaklaşık 1000 m kalınlığa sahip olduğu kabul edilir [3, 7, 9, 10].

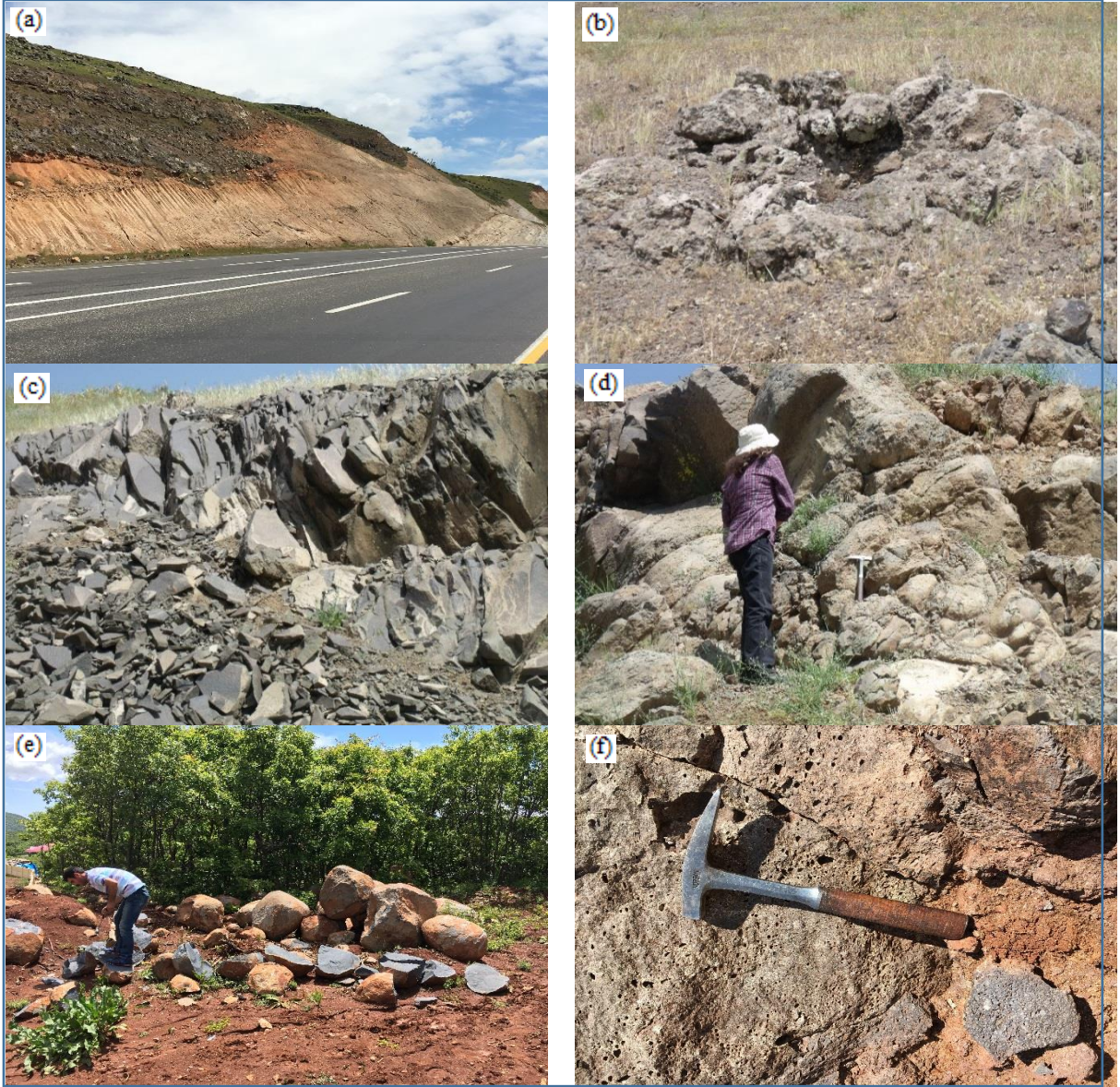
Çalışma konusu volkanitler bölgede geniş yayımlıdır. Esas olarak birincil volkanizma ürünü (lav ürünleri ve piroklastik) kayaçlardan oluşmuştur. Ancak çalışma alanı içerisinde çok yerel olmakla beraber özellikle Karakoçan-Bingöl yol güzergâhında, yaklaşık 30 m kalınlıkta, tabanda genellikle ince katmanlı ve kama şekilli tüfit, marn, tüflü marn seviyeleri içeren, Solhan Formasyonu kırıntılı kayaçları da görülmektedir (Şekil 2a).

Çalışma bölgesinde genellikle yumuşak bir topoğrafya oluşturan piroklastik kayaçlar lapilli ve volkanik çakıl, blok ve bombalardan oluşan, düzgün yüzey görüntüsü olmayan bazen küçük çıkıntılar şeklinde, yumrulu, çatlaklı, çıkıntılı bir yapı oluşturmaktadır (Şekil 2b). Bu piroklastik kayaçlardaki piroklastlar grimsi renkte, çok yoğun gaz boşluklu, yer yer kalsit dolgulu ve yuvarlaklaşmışlardır.

Lavlar ise koyu siyah-grimsi renkli, yer yer soğuma çatlaklı ve ince tabakalanmalı (Şekil 2c) yer yer de yuvarlaklaşmış büyük bloklar şeklinde bulunur (Şekil 2d, e). Lavların kırılgenliği, rengi, çatlaklanması, dokusu, minerallerin boyutları, alterasyonlanması, bloklu, laminalı ve soğuma yapıları (exsfoliasyon soğuma) gibi fiziksel, mineralojik ve morfolojik özellikleri kayaçların türlerine göre farklılık göstermektedir. Özellikle bazaltik lavlarda yuvarlaklaşmış büyük bloklar (Şekil 2e), ince kristalli, çok sert ve keskin kenarlar karakteristik iken, diğer lavlarda daha yumuşak, çok çatlaklı, porfirik-vesiküler doku gibi özellikler baskındır (Şekil 2f). Bazen bu lavlarda uzamış ve/veya yönlenmiş şekilde gaz boşlukları ve feldispatlarda alterasyonlanma görülür (Şekil 2f). Ayrıca en belirgin özelliklerden birisi de lav akıntılarının alt sınırında pişme zonunun bulunmasıdır (Şekil 2a). Pişme zonunun rengi ve kalınlığı lav akıntısının kalınlığı ve diğer özellikleriyle beraber alttaki volkanoklastik/kırıntılı kayaçların türüne göre de değişim göstermektedir.

4. Analitik Metot

Çalışma alanındaki lavlardan petrografik ve jeokimyasal analiz için yaklaşık 40 adet örnek alınmıştır. Petrografik tanımlama için ince kesitlerin hazırlanması Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Detaylı petrografik tanımlamaların sonucunda belirlenen 15 örneğin ana element analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Vancouver-Canada) yaptırılmıştır. Ana element içerikleri ICP (Inductively Coupled Plasma) yöntemi ile yapılmıştır.



Şekil 2. Volkanitlerin arazi görünümü. (a) Bingöl-Elazığ yolu, yaklaşık 25. km yol yarmasında Solhan Formasyonunun görünümü. Alttaki volkanoklastik/kırıntılı kayaçlar ile lavların sınır ilişkisi ve dokanakta pişme zonuunun görünümü, (b) çıkıntılar şeklinde bulunan piroklastik kayaçlar, (c) ince tabakalanmalı, koyu siyah renkli bazik lavlar, (d) exsfoliasyon soğuma (e) yuvarlaklaşmış lavlar, (f) porfirik-veziküküler dokulu, daha yumuşak ve altereli lavlar.

5. Petrografik Özellikler

Mineralojik, petrografik ve dokusal özellikler dikkate alındığında, çalışma konusu volkanitleri oluşturan lavların esas olarak andezit, bazalt ve trakitik kayaçlardan oluştuğu belirlenmiştir.

5.1. Andezitler

Andezitler, porfirik, vesiküler ve zayıf akıntı doku özelliği gösterir. Yüksek fenokristal indeksine sahip ve hamuru mikrolitik kristalindir. Hâkim fenokristal fazını plajiyoklas (yaklaşık % 65), sanidin ve piroksenler

oluşturmaktadır. Plajiyoklas fenokristalleri oldukça değişken boyutlu olup, özşekilli ve yarı özşekilli olarak bulunurlar. İkizlenmeli ve yer yer zonlanmalı olan hemen tüm plajiyoklas fenokristalleri genellikle çok yoğun alterasyonlu ve erime çözünme yapıları gösterir (Şekil 3a, b). Plajiyoklaslarda bazen tamamen, bazen düzensiz parçalar halinde, bazen de çatlak ve dilinimler boyunca alterasyonlanma görülür. Diğer fenokristal fazı oluşturan sanidin, plajiyoklaslardan çok daha az oranda olup, düşük rölyefli, gri polarizasyon renkli ve farklı boyutlardadır. Plajiyoklaslarda olduğu gibi bazı özşekilli sanidin kristallerinde de erime-çözünme yapıları görülür. Bazı sanidin fenokristallerinde ise plajiyoklasa benzer alterasyonlanma gözlenir. Ancak, bu alterasyonlu zonlar olası olarak sanidin fenokristalleri içerisindeki plajiyoklas kapanımları olabilir. Andezitlerdeki hamur, esas olarak mikrolitik plajiyoklaslardan oluşmuştur. Kayaç genelinde alterasyonun yoğun olmasından dolayı mikrolitlerde de anortit oranı saptanamamıştır. Bu kayaçlarda mafik mineral olarak piroksen ve ayrıca psödomorf şeklinde opaklaşmış amfibol mineralleri vardır. Andezitlerde bulunan opak mineraller az miktarda ve özşekilsiz küçük kristaller şeklindedir.

5.2. Bazaltik kayaçlar

Bazaltik kayaçlar kendi içinde mineralojik ve dokusal farklılıklar gösterirler. Bu farklılıklar fenokristal bileşimi ve dokusal özelliklerine göre aşağıda verilmiştir.

Plajiyoklas ve olivinden oluşmuş porfirik dokulu bazaltlar; Bu kayaçlarda plajiyoklaslar çok iyi zonlanma, olivinler ise iddingsitleşme gösterir (Şekil 3c). Bazı plajiyoklas fenokristallerinde erime-çözünme yapıları çok belirgindir. Fenokristal sınırının çok keskin olduğu bu kayaçlarda hamur malzemesi camsı olup, mikrolitik plajiyoklas ve olivin içerir. Bu bazaltlarda yer yer glomeroporfirik doku, veziküler doku ve reaksiyon dokusu olan korona dokusu da (Şekil 3d) görülmektedir.

Plajiyoklas, piroksen ve olivin fenokristallerinden oluşan bazaltlar; Ana fenokristal fazı oluşturan plajiyoklaslar, genellikle öz ve yarı özşekilli, ikizlenmeli ve bazen zonlanmalı ve iyi gelişmemiş çift yönde dilinimlidirler. Erime çözünme yapılı ve yer yer kemirilmiş plajiyoklaslarda yeniden büyüme zarfı gözlenmektedir (Şekil 3e). Bu özellik magma karışması ve buna bağlı olarak minerallerin kemirilmesi ve dengeye ulaştıktan sonra yeniden büyümesi şeklinde açıklanabilir [44]. Genellikle plajiyoklaslarda ikizlenmeler ve zonlanma yaygınken bazı plajiyoklas fenokristallerinde piroksen ve olivin kapanımları görülmektedir (Şekil 3f). Yaygın olarak camsı ve mikrolitik porfirik doku az oranda da intersertal dokunun görüldüğü bu kayaçlarda, hamur malzemesi fenokristal bileşimi ile aynıdır. Plajiyoklaslar latalar şeklinde iken diğer mineraller düzensiz kristaller şeklindedir. Olivinlerde değişik şekil ve oranlarda iddingsitleşme, piroksenlerde ise canlı polarizasyon rengi ve yoğun gelişmiş çatlaklar baskındır. Genellikle hamurda opak minerallerin çok baskın olduğu bu kayaçlarda yer yer iri kristalli opak mineraller de görülür.

Plajiyoklas klinopiroksen ve olivinden oluşan ofitik-subofitik dokulu bazaltlar; Bu grup bazaltlar, mineralojik olarak diğer bazaltlar ile benzerlik gösterse de dokusal olarak tipik ofitik-subofitik doku özellikleri gösterirler (Şekil 3g). Özşekilsiz ve farklı polarizasyon renkli klinopiroksen fenokristalleri, uzamış plajiyoklas lataları ile dokuyu oluştururken, kayaçta özşekilli, ikizlenmeli, zonlanmalı ve erime-çözünme yapılı plajiyoklas fenokristalleri de bulunmaktadır. Diğer fenokristal fazı oluşturan olivin mineralleri, diğer kayaçlardaki olivinlere (iddingsitleşme vs.) benzerdir. Tüm bu mineraller mikrokristaller şeklinde kayacın hamur malzemesini oluşturur. Ancak plajiyoklas mikrokristalleri latalar halinde ve zonlanmalı olarak bulunurken mafik mineraller özşekilsiz mikrokristalindirler.

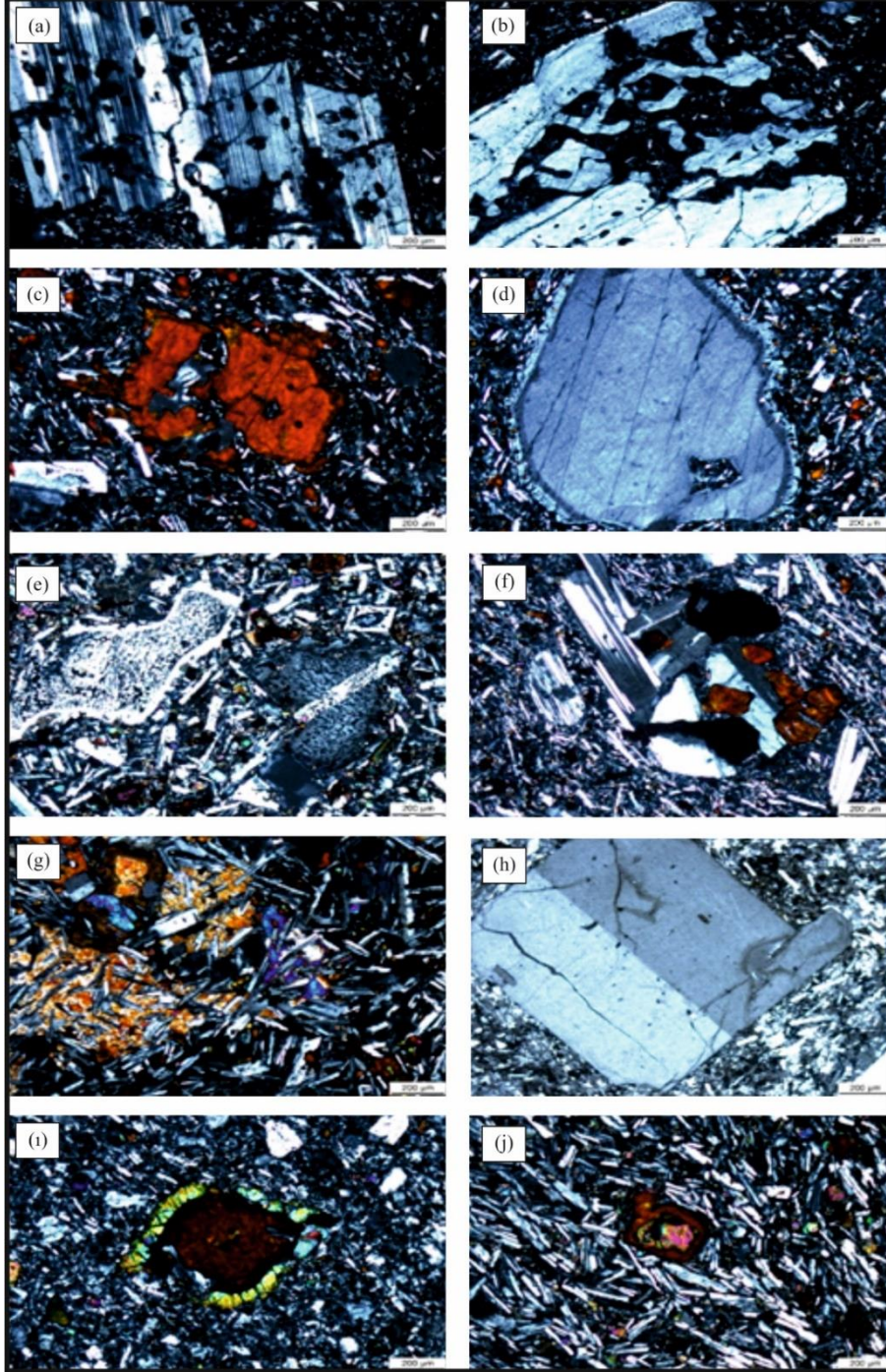
5.3. Trakitik kayaçlar

Mineralojik ve dokusal farklılıklar gösteren trakitik bileşimli kayaçlar trakit, trakiandezit ve trakidasit olarak tanımlanmıştır.

Trakitler; Trakitik ve porfirik-glomeroporfirik doku gösteren bu kayaç grubunun ana mineral bileşenlerini plajiyoklas ve sanidin oluşturmaktadır. Kayaçta az oranda bulunan olivin, amfibol, ortopiroksen, klinopiroksen, biyotit gibi mafik mineraller, özşekilsiz ve genellikle küçük kristalidirler. Kayacın esas bileşenini oluşturan sanidinlerin hamur malzemesi ile sınır ilişkisi belirgin olup, özşekilli ve ikizlenmelidir (Şekil 3h).

Trakiandezitler; Kayaç mikrokristalin porfirik dokulu olup, fenokristal oranı <math>< 35\%</math> dir. Kayacın fenokristal bileşeni plajiyoklas, olivin ve piroksenden oluşmuştur. Hamur malzemesi mikrokristalindir ve bu mikrokristaller yer yer fenokristaller etrafında yönelimler gösterirler. Plajiyoklas fenokristallerinde albit ikizlenmesi, zonlanma ve yer yer erime çözünme yapıları çok belirgindir. Olivinler bazen tamamen iddingsitleşmiş iken bazı olivinlerin kenarlarında korona dokusu oluşmuştur (Şekil 3i). Zayıf yeşil bir pleokrizmanın gözleendiği piroksenlerde az

oranda oksitlenme gözlenir. Bazı klinopiroksen minerallerinde yoğun alterasyonlanma, yer yer erime çözünme yapıları gözlenirken bazen de plajiyoklaslar tarafından mantolanmış klinopiroksen mineralleri bulunur. Bazı örneklerde ana mafik mineral bileşimini piroksenler oluşturur. Trakiandezitlerde mikrolitik hamur malzemesi fenokristal bileşimi ile aynıdır.



Şekil 3. İncelenen volkanik kayaların ince kesit görünüşleri. Andezitlerde (a, b) plajiyoklas fenokristallerinde gözlenen ikizlenme, zonlanma ve erime-çözünmeler. Porfiritik bazaltlarda (c) porfiritik doku ve iddingsitleşmiş olivin, (d) plajiyoklasta korona dokusu, (e) erime çözünme ve yeniden büyüme zarfı, (f) farklı polarizasyon

renkli olivin ve piroksen mineraller ile (g) ofitik-subofitik dokuların görünümü. Trakitlerde (h) sanidin fenokristalli mikro-porfirik doku, (i) korona dokulu olivin, (j) trakitik dokunun görünümü.

Trakibazaltlar; Trakitik ve seri porfirik (seriate porfiric) doku özelliği gösteren bu kayalar, plajiyoklas, klinopiroksen, olivin ve bazı örneklerde çok az sanidin mineralinden oluşmuştur. Yalnızca olivin mineralinin fenokristal faz olarak bulunduğu bazı örneklerde latalar halinde yönelmiş plajiyoklaslarla beraber olivin fenokristalleri tipik trakitik dokuyu oluşturmaktadır (Şekil 3j). Ayrıca bu örneklerdeki olivinlerde iddingsitleşme yaygındır. Trakibazalt olarak tanımlanan bazı örneklerin en belirgin özellikleri olivin ve piroksenlerde çok yaygın olarak korona dokusunun görülmesidir. Hyalo-porfiritik dokulu bu kayalarda mineral bileşimleri hem fenokristal faz olarak hem de hamur içerisinde mikrolitik olarak bulunmaktadır. Plajiyoklas fenokristallerinin ikizlenmeli ve yer yer erime-çözünme yapılarının gözlendiği bu kayalarda az oranda mikrolitik sanidin bulunur. Hamur malzemesindeki mikrolitik mineraller fenokristaller etrafında bazen yönelme göstermektedir.

6. Ana Element Oksit Özellikleri

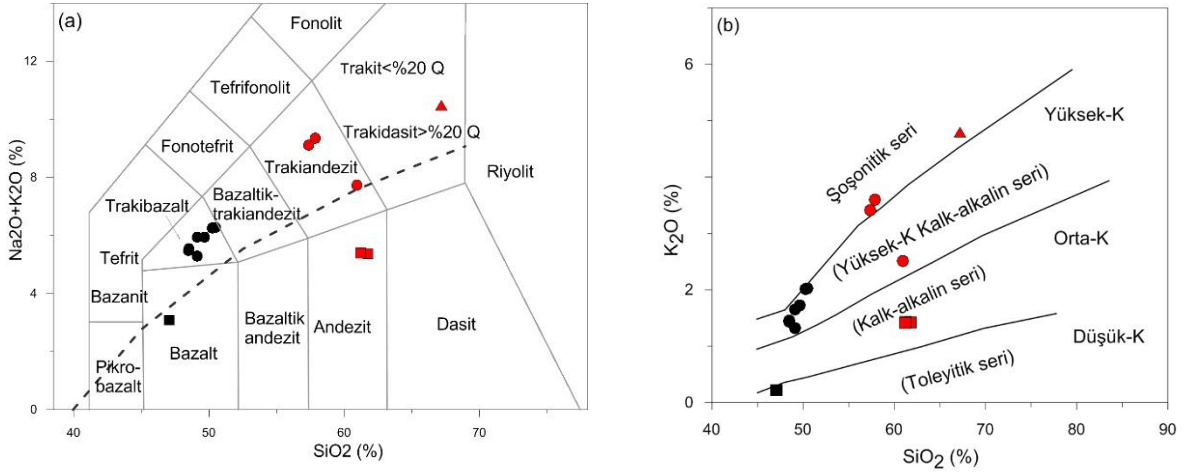
Çalışma konusu volkanitlerden 15 örneğin majör element analiz sonuçları ile normatif mineral dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Örneklerin SiO₂ içeriği dikkate alındığında, %46-52 ile %57-63 arasında değişen iki gruba ayrıldığı görülür. SiO₂ içeriğine bağlı olarak oluşan bu farklılığa rağmen, genel olarak tüm örneklerin ana element dağılımları kendi aralarında birbirine çok yakın değerlerde değişim göstermektedir. Ancak B10 nolu örneğin analiz sonuçları, özellikle SiO₂ değeri de (% 67.18) olmak üzere pek çok majör element değerlerinde de farklılık gösterir. Genel olarak örneklerin düşük (%0.1-1.6) ateşte kayıp (LOI) değerleri bu volkanitlerde alterasyonlanmanın az olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Çalışma konusu volkanik kayalara ait ana oksit (% ağırlık) ve normatif mineral değerleri.

Örnek no	Bazalt	Trakibazaltlar							Andezitler			Trakiandezitler			Trakit
	B-30	B-8	B-11	B-12	B-16	B-25	B-26	B-34	B-3	B-5	B-13	B-1	B-14	B-27	B-10
SiO ₂	47.07	50.47	50.24	48.48	49.66	49.11	49.14	48.5	61.25	61.74	61.20	60.93	57.38	57.85	67.18
Al ₂ O ₃	17.10	16.58	16.61	16.73	16.70	16.81	16.82	16.58	16.62	16.46	16.54	16.92	17.79	17.80	13.90
Fe ₂ O ₃	10.78	11.58	11.54	11.88	11.21	11.79	11.37	11.98	5.66	5.40	5.69	6.08	7.52	7.22	5.16
MgO	7.57	5.05	4.48	6.49	6.15	6.02	6.47	6.11	3.24	2.92	3.06	1.38	2.22	2.02	0.13
CaO	11.58	6.31	6.36	7.93	7.37	7.33	8.00	7.81	6.01	5.78	5.97	4.21	4.15	3.93	0.48
Na ₂ O	2.85	4.24	4.24	4.04	4.22	4.30	3.98	4.09	3.98	3.94	3.97	5.22	5.71	5.75	5.68
K ₂ O	0.23	2.03	2.02	1.44	1.73	1.65	1.32	1.46	1.44	1.43	1.42	2.51	3.41	3.60	4.80
TiO ₂	1.74	2.08	2.07	2.33	2.08	2.27	2.35	2.31	0.85	0.81	0.86	0.96	1.15	1.07	0.46
P ₂ O ₅	0.19	0.72	0.73	0.46	0.49	0.50	0.44	0.46	0.21	0.20	0.22	0.37	0.23	0.22	0.04
MnO	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.09	0.09	0.09	0.11	0.14	0.14	0.25
LOI	0.4	0.5	1.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.4	0.2	0.5	1.0	0.8	1.1	0.1	0.2	1.6
Topl.	99.74	99.75	99.75	99.72	99.74	99.73	99.73	99.73	99.85	99.85	99.84	99.86	99.86	99.85	99.67
Normatif mineraller															
Kuvars (Q)	-	-	-	-	-	-	-	-	15.03	16.62	15.46	9.95	-	-	13.69
Ortoklas (Or)	1.36	12.00	11.94	8.51	10.22	9.75	7.80	8.63	8.51	8.45	8.39	14.83	20.15	21.27	28.37
Albit (Ab)	24.12	35.88	35.88	31.82	34.36	33.75	33.68	32.63	33.68	33.34	33.59	44.17	48.32	48.65	44.77
Anortit (An)	33.19	20.21	20.32	23.26	21.52	21.69	24.13	22.57	23.23	23.00	23.12	15.32	12.84	12.13	-
Nefelin (Ne)	-	-	-	1.28	0.73	1.43	-	1.07	-	-	-	-	-	-	-
Dioyopsid (Di)	18.48	5.19	5.26	10.53	9.55	9.21	10.20	10.63	4.21	3.53	4.10	2.61	5.14	4.90	1.87
Hipersten (Hy)	2.61	7.29	7.96	-	-	-	0.93	-	9.49	8.86	9.10	5.79	3.19	3.56	4.14
Olivin (Ol)	9.87	6.69	5.13	12.54	12.16	12.18	11.60	11.92	-	-	-	-	3.22	2.59	-
Magnetit (Mt)	15.63	16.79	16.73	17.22	16.25	17.09	16.49	17.37	8.21	7.83	8.25	8.82	10.90	10.47	6.03
Ilmenit (Il)	3.31	-	3.93	4.43	3.95	4.31	4.46	4.39	1.61	1.54	1.63	1.82	2.18	2.03	0.87
Apatit (Ap)	0.44	-	1.69	1.07	1.14	1.16	1.02	1.07	0.49	0.46	0.51	0.86	0.53	0.51	0.09
Mg#	52.67	40.86	38.09	46.40	46.51	44.72	47.42	44.70	47.56	46.15	46.01	26.45	31.87	30.72	3.84

Petrografik çalışmalarla bazalt, andezit, trakibazalt, trakiandezit ve trakit bileşiminde olduğu belirlenen volkanik kayalar, silis ve alkali değerlerinin esas alındığı toplam alkali-silis (TAS) [45] isimlendirilme diyagramında sınıflandırılmıştır (Şekil 4a). TAS diyagramında, bazalt ve andezit bölgesindeki 3 örneğin dışında diğer örneklerin genel olarak alkalin bölgesinde ve trakitik özellikte (trakibazalt, trakiandezit ve trakit) olduğu görülmektedir. Alkalin özellikli bu kayaların Na₂O ve K₂O değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde

($\text{Na}_2\text{O}-2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$), sodik bileşimli oldukları görülür. Buna göre trakibazaltların havaiit, trakiandezitlerin benmoreit ve trakitin ise normatif kuvars içeriğine bağlı olarak ($\text{kuvars} < \%20$) [46] trakit bileşiminde olduğu görülür. TAS diyagramında alkali özellik gösteren örneklerin Na_2O bakımından zenginleşmesi normatif mineral bileşimleriyle de uyumluluk gösterir (Tablo 1). Alkalin bileşimli örneklerin tamamı yüksek oranda albit ($\%31.82-48-65$) ve sanidin ($\%7.80-28.37$) içerirken bazı trakibazalt örnekleri ise çok düşük oranda da olsa normatif nefelin ($\%0.73-1.28$) içermektedir. Benzer şekilde, $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diyagramında (Şekil 4b) [47] bazalt örneği hariç diğer örneklerin orta ve yüksek K'lu kalkalkalen özellikte olması bunu teyit etmektedir. Ayrıca tüm andezitler ve trakit ile B1 kodlu

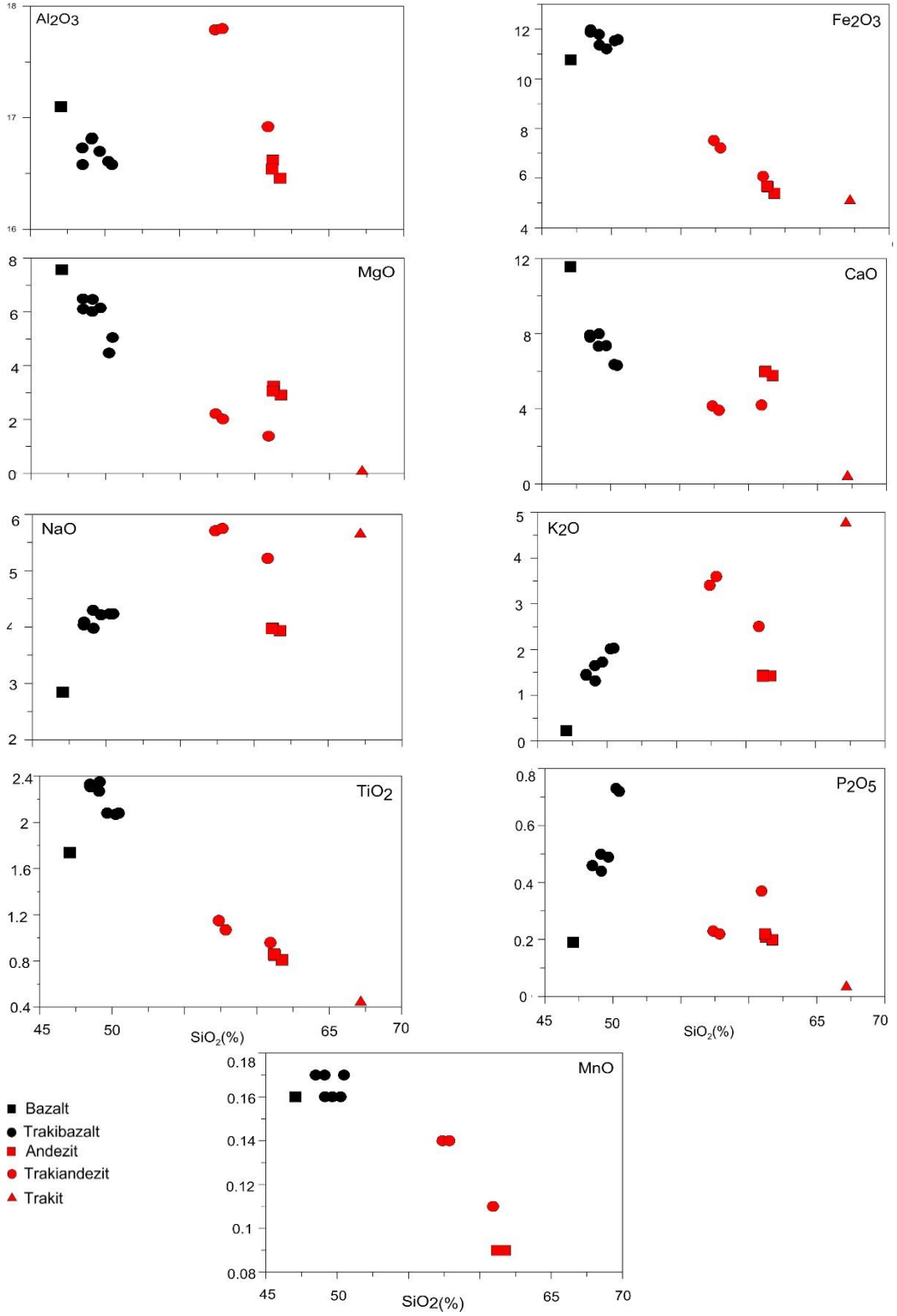


Şekil 4. İncelenen volkanik kayaçların (a) $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diyagramı ile (b) $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ diyagramında dağılımları.

trakiandezit örneği normatif kuvars içerirken, diyopsit tüm kayaçlarda, hipersten ise bazı trakibazaltlar hariç yine diğer kayaçlarda bulunmaktadır. Örneklerin Mg# değerleri ($\text{Mg\#} = 100 \times \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}^*)$) trakit örneği hariç (B10, $\%3.84$) en yüksek $\%52.67$ ile bazalıtta ve en düşük $\%26.45$ ile trakiandezit örneğinde olmak üzere değişim gösterir. Buna göre bu volkanitlerin bir kısmı normatif kuvars ve hipersten içeren, silise aşırı doymuş ve ileri derecede evrimleşmiş bir magmadan itibaren farklılaşırken, silise daha fakir olan diğer magma ise yüksek Mg# değerlerine sahip olup, normatif olivin \pm hipersten içeren silise doymuş magma bileşimini temsil ettiği söylenebilir.

Ana oksit elementlerin SiO_2 ile olan değişimlerine bakıldığında (Şekil 5), SiO_2 içeriğine göre kayaçların bazik ve daha asidik bileşimliler olmak üzere iki farklı grup şeklinde bulunduğu görülür. Bu diyagramlarda benzer şekilde bazı ana element dağılımlarında da farklı yönelimler görülmektedir. Tüm bu elementlerde en düzenli yönseme MgO, TiO₂, CaO ve Fe₂O₃ dağılımlarında, negatif şekildedir. Na₂O ve K₂O'ın ise artan SiO_2 oranıyla birlikte zayıf bir pozitif yönseme gösterdiği görülür.

Örneklerin Al₂O₃ değerleri özellikle yüksek SiO_2 'li örneklerde çok belirgin negatif yönsemelidir. Yüksek ve düşük SiO_2 'li kayaçlardaki en belirgin farklı yönelimler P₂O₅ ve MnO dağılımlarında gözlenir. P₂O₅- SiO_2 değişiminde bazik bileşimli örnekler pozitif yönelim gösterirken daha asidik örnekler ise negatif bir yönelim göstermektedir. Benzer şekilde MnO'te asidik örneklerde, daha bazik olanlardan farklı olarak negatif yönseme göstermektedir. B10 kodlu trakit örneğinin Al₂O₃ ve MnO değeri diğer tüm örneklerden oldukça düşük ($\%13.90$, $\%0.13$) olduğundan, bu diyagramlarda aşırı sapma göstermektedir ve bu nedenle diyagramda değerlendirilmemiştir. Trakit örneği 1 adet (B10) olduğundan bu sapma ve örnek ile ilgili yorum yapmak sağlıklı olmayacaktır. Ancak kuvars içeren trakitlerin (B10= $\%13.69$; Tablo 1) nefelin içerenlere göre daha düşük Al₂O₃ içermesi ve buna bağlı olarak ta düşük MnO içeriği beklenir. Ana element oksitlerde gözlenen bu şekildeki negatif veya pozitif korelasyonlar, genellikle fraksiyonel kristalleşme süreçlerini gösterirken az oranda da magma karışımını işaret etmektedir.



Şekil 5. Major element oksitlerin %SiO₂ ile değişimleri (Al₂O₃ ve MnO diyagramında trakit örneği

7. Sonuçlar

Arap-Avrasya çarpışma zonunun (Bitlis Sütur Zonu) kuzeyinde yer alan ve Bingöl'ün yakın batısında bulunan bu volkanik kayalar, Solhan Formasyonu içerisinde tanımlanan Solhan volkanitleridir. Bölgedeki volkanizma bazalttan trakite değişen kalkalkalen ile havaiit ve benmoreit bileşimli zayıf alkalin özelliklidir. Petrografik verilerde belirlenen bazı reaksiyon dokuları magma karışımına işaret eder. Normatif mineral bileşenlerine göre bu volkanik kayalardan bir kısmı normatif kuvars ve hipersten içerirken bir kısmı ise normatif olivin ± hipersten içerir.

Ana oksit özelliklerine göre, orta ve yüksek-K'lu kalkalkalen özellikli bu volkanitler, SiO₂ içeriğine göre bazik ve daha asidik bileşimliler olmak üzere iki farklı yönseme gösterir. Böylece petrografik ve normatif mineral bileşimi ile ana element değişimlerine göre bu volkanitlerin silise aşırı doygun ve ileri derecede evrimleşmiş bir magma ile silisçe daha fakir ve yüksek Mg# değerlerine sahip bir magmadan farklılaştıklarını söylemek olasıdır.

Sonuç olarak, coğrafik konumu nedeniyle Doğu Anadolu Volkanik Provensi içinde tanımlanan bu volkanitler, öncel alımlarda da belirtildiği gibi bölgenin jeodinamiğinde etken olan Arap-Avrasya levhaları çarpışması ve çarpışma sonrası volkanizma, yani post orojenik volkanik aktivite ürünü olarak tanımlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından MF.16.08 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle Fırat Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Altınlı E. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. MTA Dergisi 1966; 66: 35-73.
- [2] Şaroğlu F, Güner Y. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 1981; 24(2), 39-50.
- [3] Türkekcan A. Muş yöresindeki Pliyosen yaşlı volkanitlerin petrolojisi. MTA Dergisi 1991; 112: 85-102.
- [4] Bigazzi G, Yeğingil Z, Ercan T, Oddone M, Özdoğan M. Doğu Anadolu'daki obsidiyen içeren volkaniklerin Fizyon Track yöntemiyle yaş tayini. Türkiye Jeoloji Bülteni 1997; 40(2): 57-72.
- [5] Poidevin JL. Provenance studies of obsidian artefacts in Anatolia using the fission track dating method. An overview. L'Obsidienne au Proche et Moyen Orient, du Volcan à l'Outil. In: Gourgaud A, Gratuze B, Poupeau G, Poidevin JL, Cauvin MC, editors, BAR International Series Hadrian Books (Oxford), 1998; 738: 105-156.
- [6] Hubert-Ferrari A, King G, Van Der Woerd J, Villa I, Altunel E, Armijo R. In Collision and Collapse at the Africa-Arabia-Eurasia Subduction Zone, Longterm Evolution of the North Anatolian Fault: New Constraints from its Eastern Termination. Geological Society London, Special Publication 2009; 311: 133-154.
- [7] Yılmaz Y, Şaroğlu F, Güner Y. Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. Tectonophysics 1987; 134: 177-199.
- [8] Seymen İ, Aydın A. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi. MTA Derg 1972; 79: 1-8.
- [9] Yılmaz Y. Türkiye'nin jeolojik tarihinde magmatik etkinlik ve tektonik evrimle ilişkisi. Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Simpozyumu Bildiriler Kitabı 1984; 63-81.
- [10] Ercan T, Fujitani T, Matsuda JI, Notsu K, Tokel S, Ui T. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 1990; 110: 143-164.
- [11] Dilek Y, Altunkaynak S. Cenozoic crustal evolution and mantle dynamics of post-collisional magmatism in western Anatolia. International Geology Review 2007; 49: 431-453.
- [12] Dilek Y, Pavlides S. Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean and Asia. Geological Society of America, Special Papers 2006; 409.
- [13] Taymaz T, Eyidoğan H, Jackson J. Source parameters of large earthquakes in the east Anatolian fault zone (Turkey). Geophys. J. Int 1991; 106: 537-550.
- [14] Şengör A.M.C., Kidd, W.S.F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55: 361-376.
- [15] Şengör, AMC. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu yayını 1980; 40s.
- [16] Şengör A.C, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. Tectonophysics 1981; 75: 181-241.
- [17] Fytikas M, Innocenti F, Manetti P, Mazzuoli R, Peccerillo A, Villari L. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region: In: Dixon JE, Robertson AHF, editors. The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. The Geological Society, London, Special Publications 1984; 17: 687-700.
- [18] Buket E, Temel A. Major-element, trace-element, and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 1998; 5: 405-422.

- [19] Temel A, Gündoğdu N, Gourgaud A, Le Pennec JL. Ignimbrites of Cappadocia, Central Anatolia, Turkey: petrology, geochemistry and evolution through time. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 447–441.
- [20] Yılmaz Y, Güner Y, Şaroğlu F. Geology of the Quaternary Volcanic Centres of the East Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 173-210.
- [21] Yürür TM, Chorowicz J. Recent volcanism tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian Plates in the Eastern Mediterranean, *J. Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 1–15.
- [22] McKenzie DP. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 1972; 30: 109–185.
- [23] McKenzie D, Yılmaz Y. Deformation and volcanism in western Turkey and the Aegean. *Bulletin of Technical University* 1991; 44: 345–373.
- [24] Innocenti F, Mazzuoli R, Pasquarè G, Radicati Di Brozolo F, Villari L. Tertiary and Quaternary Volcanism of the Erzurum, Kars area (Eastern Turkey): Geochronological data and geodynamic evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1982; 13: 223-240.
- [25] Şengör AMC, Görür N, Şaroğlu F. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 1985; 37: 227-264.
- [26] Koçyiğit A, Yılmaz A, Adamia S, Kuloshvili S. Neotectonics of east Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta* 2001; 14: 177-195.
- [27] Keskin M. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophys. Res. Lett* 2003; 30: 8-46.
- [28] Keskin M. Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia. 2005; <http://www.MantlePlumes.org/Anatolia.html>.
- [29] Göncüoğlu MC. Türkiye Jeolojisi'ne Giriş: Alpin ve Alpin öncesi tektonik birliklerin jeodinamik evrimi. Monografi Serisi No: 5, MTA Ankara, 2010.
- [30] Ersoy YE, Helvacı C, Palmer MR. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW–trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contrib Mineral Petrol* 2012; 163: 379-401.
- [31] MTA. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara 2002.
- [32] Karaoğlu Ö, Selçuk AS, Gudmundsson A. Tectonic controls on the Karlıova triple junction (Turkey): Implications for tectonic inversion and the initiation of volcanism. *Tectonophysics* 2017; 694: 368-384.
- [33] Perinçek D. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ- Malatya Area, Guide Book. The Geological Society of Turkey 1979.
- [34] Yılmaz Y. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1990; 44: 69–87.
- [35] Türkünal S. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. *Jeol. Müh. Odası Yayınları*, 8, Ankara 1985.
- [36] Buket E, Görmüş S. Stratigraphy of the Tertiary sequence in the Varto (Muş) basin. *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University* 1986; 13: 17-31.
- [37] Tutkun SZ. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Eşil (Erzincan) ve Karlıova (Bingöl) arasındaki kesiminin tektonostratigrafisi. Melih Tokay Jeoloji Simpozyumu, Bildiri özleri 1987; ODTÜ, Ankara.
- [38] Şaroğlu F, Yılmaz Y. Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve ilgili magmatizması. *Türkiye Jeol. Kur. İhsan Ketin Simpozyumu Özel Sayısı* 1984; 149-162.
- [39] Tokel S. Erzurum-Muş bölgesi 1:25 000 ölçekli Erzurum J 46 c3, J 46 c4 paftalarına ait jeolojik rapor. MTA Rap., 4175 (yayımlanmamış) 1966; Ankara.
- [40] Şaroğlu F, Yılmaz Y. Effects of neotectonics on geological evolution in Eastern Anatolia. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri* 1986; 5-6.
- [41] Tarhan N. Hıms-Varto-Karlıova (Erzurum-Muş-Bingöl) Dolayındaki Neojen Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 1991; 113: 45-60.
- [42] Akay E, Erkan E, Ünay E. Muş Tersiyer havzasının stratigrafisi. *MTA Derg* 1989; 109: 59-76.
- [43] Chataigner C, Poidevin JL, Arnaud NO. Turkish occurrences of obsidian and use by prehistoric peoples in the Near East from 14,000 to 6000 BP. *J. Volcanol. Geotherm. Res* 1998; 85: 517-537.
- [44] Vernon RH. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press 2004.
- [45] Le Maitre W, Bateman P, Dudek A, Keller J, et al. *A Classification of Igneous rocks and Glossary of Term: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1989.
- [46] Le Bas M, Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 1986; 27: 745–50.
- [47] Peccerillo A, Taylor SR. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 1976; 58: 63-81.

Nümerik Optimizasyon için Kaotik Altın Sinüs Algoritması

Erkan TANYILDIZI^{1*}, Gökhan DEMİR²

¹ Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ

² Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ

*¹ etanyildizi@firat.edu.tr, ² gokhan.demir.dg@gmail.com

(Geliş/Received: 06/07/2018;

Kabul/Accepted: 28/12/2018)

Özet: Rastgele sayı dizileri, sezgisel optimizasyon algoritmalarının stokastik yapılarından dolayı sıkça kullanılmaktadır. Sezgisel optimizasyon algoritmaları global optimuma yakınsamalarında rastgele üretilen sayı dizilerinin dağılımları oldukça etkili olmaktadır. Rastgele üretilen sayıların belli bir alanda toplanması veya aynı değerler üretilmesi ile algoritmanın lokal optimumlara takılma riski artabilmektedir. Bu nedenle üretilen sayıların aynı olmaması, yayılmış spektruma sahip olması sezgisel algoritmaların performansını etkileyen durumlardır. Kaotik haritalar ayrık zamanlı sistemlerdir ve kaotik haritalarla üretilen sayılar geniş bir spektruma sahip olup periyodik değildir. Bu nedenle, sezgisel algoritmalarda kaotik harita kullanarak optimum noktalardan kaçmak ya da yerel optimuma takılma riskini azaltmak mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada kaotik haritaların yeni optimizasyon yöntemlerinden olan Altın Sinüs Algoritması üzerindeki etkisi incelenmiştir. **Anahtar kelimeler:** Kaotik haritalar, kaos, Altın Sinüs Algoritması, sezgisel optimizasyon.

Chaotic Gold Sine Algorithm for Numerical Optimization

Abstract: Random number sequences are frequently used for stochastic structures of metaheuristic optimization algorithms. The distributions of randomly generated sequences of numbers are quite effective in the convergence of heuristic optimization algorithms to the global optimum. By gathering randomly generated numbers in a certain area or by generating the same values, the risk of the algorithm to be localized may be increased. Therefore, the numbers produced are not the same, the spread spectrum has the effect of the performance of heuristic algorithms. Chaotic maps are discrete-time systems, and the numbers produced by chaotic maps have a broad spectrum and are not periodic. Therefore, it is possible to avoid the optimum points by using the chaotic map in heuristic algorithms or to reduce the risk of local optimization. In this study, the effect of chaotic maps on the Golden Sine Algorithm, which is one of the new optimization methods, has been investigated.

Key words: Chaotic maps, chaos, Golden Sine Algorithm, metaheuristic optimization.

1. Giriş

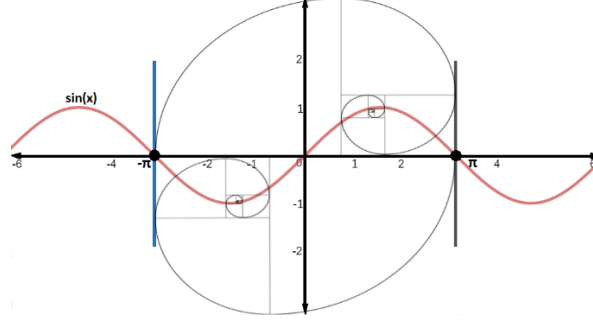
Sezgisel yöntemlerin büyük bir kısmında rastgele sayı dizileri önemli bir yer tutmaktadır. Rastgele üretilen sayıların belli bir alanda toplanması veya aynı değerler üretilmesi ile algoritmanın lokal optimumlara takılma riski artabilmektedir. Bu nedenle üretilen sayıların aynı olmaması, yayılmış spektruma sahip olması sezgisel algoritmaların performansını etkileyen durumlardır.

Kaos teorisi, kaotik dinamik sistemlerin çalışmasını ifade eder. Kaotik sistemler, başlangıç koşullarına duyarlı doğrusal olmayan dinamik sistemlerdir. Başlangıç koşullarındaki küçük değişiklikler, sistemin sonucunda yüksek varyasyonlara neden olur. Kaotik sistemler rastgele davranışlar sergilese bile, bir sistemin kaotik davranışlar sergilemesi için mutlaka rastgele olması gerekmez. Başka bir deyişle, deterministik sistemler de kaotik davranışlar gösterebilir. Sezgisel algoritmalarda kaotik harita kullanarak optimum noktalardan kaçmak ya da yerel optimuma takılma riskini azaltmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, optimizasyon algoritmalarının performanslarını arttırmak için rastgele sayı dizileri yerine kaotik haritalar yaygın şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak doğadan esinlenmiş olan Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması [1], Kaotik Arı Koloni Algoritması[2], Kaotik Genetik Algoritmalar [3], Kaotik Diferansiyel Gelişim [4], Kaotik Benzetilmiş Tavlama [5] ve Kaotik Ateşböceği Algoritması [6], Kaotik Kril Sürü Algoritması [7], Kaotik Balina Optimizasyon Algoritması [8] ve Kaotik Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon [9] dur. Bu çalışmaların sonuçları, kaosun metasezgisel algoritmalara başarıyla uygulanabilirliğini teyit etmektedir. Bu çalışmanın amacı literatüre yeni kazandırılmış matematik tabanlı bir metasezgisel algoritma olan Altın Sinüs Algoritması (ASA)[10]'nın kaotik versiyonları oluşturularak kaotik haritaların sezgisel algoritma üzerindeki etkisi incelenmiştir. ASA'nın seçilme sebebi ise kısıtsız kıyaslama fonksiyonlarında global optimumu bulmada diğer optimizasyonlardan daha başarılı sonuçlar vermesi ve daha az başlangıç parametresine sahip olmasıdır.

* Sorumlu yazar: etanyildizi@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2973-9389

2. Altın Sinüs Algoritması

Sezgisel yöntemler deterministik yöntemlerden farklı olarak stokastik tabanlı operatörler kullanırlar. Bu operatörlerin oluşturulmasında farklı kaynaklardan (biyoloji, fizik, müzik, spor, matematik vb.) ilham alınmaktadır. Önerilen matematik tabanlı algoritmanın ilham kaynağı sinüs fonksiyonudur. Sinüs fonksiyonu değerlerini düzenli aralıklarla tekrar eden bir periyodik bir fonksiyondur. Sinüs fonksiyonun tüm değerlerinin birim çemberini taraması optimizasyon problemlerindeki arama uzayının taranmasına benzemektedir. Bu benzerlik ASA'nın geliştirilmesine ilham kaynağı olmuştur. ASA, sinüs fonksiyonun ve altın oran yöntemini birleştirerek aramayı geliştirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 1) [10].



Şekil 1. Altın Sinüs Algoritması [10]

ASA'nın en iyi çözümü bulmak için Denklem 1'de verilen yapıyı kullanır.

$$V(i, j) = V(i, j) \cdot |\sin(r_1)| - p \cdot \sin(r_1) \cdot |x_1 \cdot D(j) - x_2 \cdot V(i, j)| \quad (1)$$

Burada $V(i, j)$; i . çözümdeki j . boyutun mevcut değerini göstermektedir. D , belirlenen hedef değerdir. $r_1 = [0, 2\pi]$ aralığında rastgele bir sayıdır. $p = [0, \pi]$ aralığında rastgele bir sayıdır. x_1 ve x_2 ise altın kesit yöntemi ile elde edilen katsayılardır. Sezgisel yöntemlerin temel hedefi arama uzayının en iyi sonuç vereceği düşünülen alanlarını keşfetmek ve bu alanların da mümkün olduğunca tamamının taranmasını sağlamaktır. Arama uzayının geniş olması problemlerin çözümü için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Arama uzayının daraltılması işleminin nasıl yapıldığı problemlerin çözümünde sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir. ASA bu işlemi en iyi şekilde yapmak için altın kesit yöntemini kullanmaktadır. ASA'nın sözde kodu Şekil 2'de gösterilmektedir.

```

1. Başlangıç popülasyonunu ( $V_{pop}$ ), arama ajanı sayısı ( $N$ ) ve altın oran ( $\tau$ : 0.618033)
ve maksimum iterasyon sayısını ( $t_{max}$ ) tanımla
2. Arama ajanlarının uygunluğunu hesapla
3. En iyi arama ajanını bul ve hedef değer olarak ata
4. while ( $t_{max}$ )
5.   for 1 to  $V_{pop}$ 
6.      $r \leftarrow rand(0,1)$ 
7.      $r_1 \leftarrow 2\pi * r$ 
8.      $p \leftarrow \pi * r$ 
9.     for 1 to  $N$ 
10.       $V(i, j) \leftarrow V(i, j) * |\sin(r_1)| - p * \sin(r_1) * |x_1 * D(j) - x_2 * V(i, j)|$ 
11.    end for
12.  end for
13. En iyi çözümü (arama ajanı) bul ve  $D(j)$ 'ye hedef değer olarak ata
14. if  $V(i, j) < D(j)$ 
15.   then  $b \leftarrow x_2$ ,  $x_2 \leftarrow x_1$ 
16.        $x_1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
17.   else  $a \leftarrow x_1$ ,  $x_1 \leftarrow x_2$ 
18.        $x_2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
19.   if  $x_1 == x_2$ 
20.     then  $a \leftarrow rand(0, \pi)$ ,  $b \leftarrow rand(0, -\pi)$ 
21.          $x_1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
22.          $x_2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
23.   end while
24. return en iyi çözüm kümesi ve elde edilen global optimum sonuç

```

Şekil 2. Altın Sinüs Algoritmasının sözde kodu.

3. Kaotik Haritalı ASA Yöntemleri

Literatürde birçok kaotik harita tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kaotik haritalar Tablo 1 de verilmiştir. ASA'da rastgele değerler kullanan kısımlar kaotik harita denklemleri ile değiştirilerek ASA'nın on farklı kaotik versiyonu oluşturulmuştur.

Tablo 1. Kaotik Haritalar

	Kaotik Harita	Foksiyon	
K1	Chebyshev	$x_{i+1} = \cos(\cos^{-1}(x_i))$	(2)
K2	Çember	$x_{i+1} = \text{mod}\left(x_i + b - \left(\frac{a}{2\pi}\right) \sin(2\pi x_i), 1\right), a = 0.5, b = 0.2$	(3)
K3	Gauss/Mouse	$x_{i+1} = \begin{cases} 1 & x_i = 0, \\ \frac{1}{\text{mod}(x_i, 1)} & \text{aksi takdirde} \end{cases}$	(4)
K4	İteratif	$x_{i+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_i}\right) a = 0.7$	(5)
K5	Lojistik	$x_{i+1} = ax_i(1 - x_i), a = 4$	(6)
K6	Parçalı	$x_{i+1} = \begin{cases} \frac{x_i}{P} & 0 \leq x_i < P \\ \frac{x_i - P}{0.5 - P} & P \leq x_i < 0.5, \\ \frac{1 - P - x_i}{0.5 - P} & 0.5 \leq x_i < 1 - P, 1 - P \leq x_i < 1 \\ \frac{1 - x_i}{P} & \end{cases}$	(7)
K7	Sinüs	$x_{i+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi x_i) a = 4,$	(8)
K8	Singer	$x_{i+1} = \mu(7.86x_i - 23.31x_i^2 + 28.75x_i^3 - 13.302875x_i^4), \mu = 2.3$	(9)
K9	Sinüzoidal	$x_{i+1} = ax_i^2 \sin(\pi x_i), a = 2.3$	(10)
K10	Tent	$x_{i+1} = \begin{cases} \frac{x_i}{0.7} x_i < 0.7 \\ \frac{10}{3} (1 - x_i)x_i \geq 0.7 \end{cases}$	(11)

Altın Sinüs Algoritması'nda p parametresi her arama ajanı için $[0, \pi]$ aralığında rastgele olarak belirlenmektedir. Rastgele üretilen sayılar bazen arama uzayının tamamının sömürülmesini engellemektedir. Seydedali Mirjalili ve Amir H. Gandomi [11], kaotik haritaları Denklem 12 ve Denklem 13 ile normalize ederek başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada normalize edilmiş kaotik haritalara entegre olarak adaptif olarak azalan Denklem 1'de gösterilen r_1 deseni ilk kez kullanılarak arama uzayının mümkün olduğunca tamamının taranması hedeflenmektedir.

$$V(t) = \text{Max} - \frac{t}{T}(\text{Max} - \text{Min}) \quad (11)$$

$$\text{Normalize } (K_i(t); [a, b]'dan [0, V(t)]'ye): K_i^{\text{norm}}(t) = \frac{(K_i(t) - a) \times (V(t) - 0)}{(b - a)} + 0 = \frac{(K_i(t) - a) \times (V(t))}{(b - a)} \quad (12)$$

burada, K : Kaotik harita, i : Kaotik haritanın indeksi, t : Mevcut iterasyon, T : Maksimum iterasyon sayısı, $[\text{Max} - \text{Min}]$: Uyarlanabilir aralığı temsil eder. $[a, b]$: Kaotik haritaların aralığını gösterir. $V(t)$ her iterasyonda azaltılırken her iterasyonda $[a, b]$, $[0, V(t)]$ ile eşleşir. Bu, adaptif normalizasyon sürecini ifade eder. Sonuç olarak p katsayısının değeri Denklem 13 kullanılarak güncelleştirilir.

$$p(t) = K_i^{\text{norm}}(t) + c - t \times ((c)/T) \quad (13)$$

p 'ye kaotik haritalar eklemek, hem adaptif p 'nin hem de kaotik haritaların rastgele davranışına aynı anda katkıda bulunur. Kaotik haritalar, p için farklı değerler sağlamaktadırlar. p 'nin değerini aniden değiştirerek yerel minimumdan kurtulmaya yardımcı olarak, daha iyi yakınsama hızı sağlamaktadır. Uyarlamalı normalleştirme yaklaşımı ise kaos tabanlı ASA algoritmalarının arama evresinden sömürü evresine yavaş yavaş geçmesine yardımcı olur.

4. Deneysel Sonuçlar

Global optimizasyon algoritmalarının performanslarını incelemek için farklı boyutlarda test fonksiyonlarının sayısal örneklerine göre değerlendirmek daha uygundur. Geliştirilen yeni yöntem literatürde yaygın olarak kullanılan beş farklı kıyaslama fonksiyonuna uygulanmıştır (Tablo 2) [12]. F1-F5, kalite testi fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 3'te gösterilmektedir.

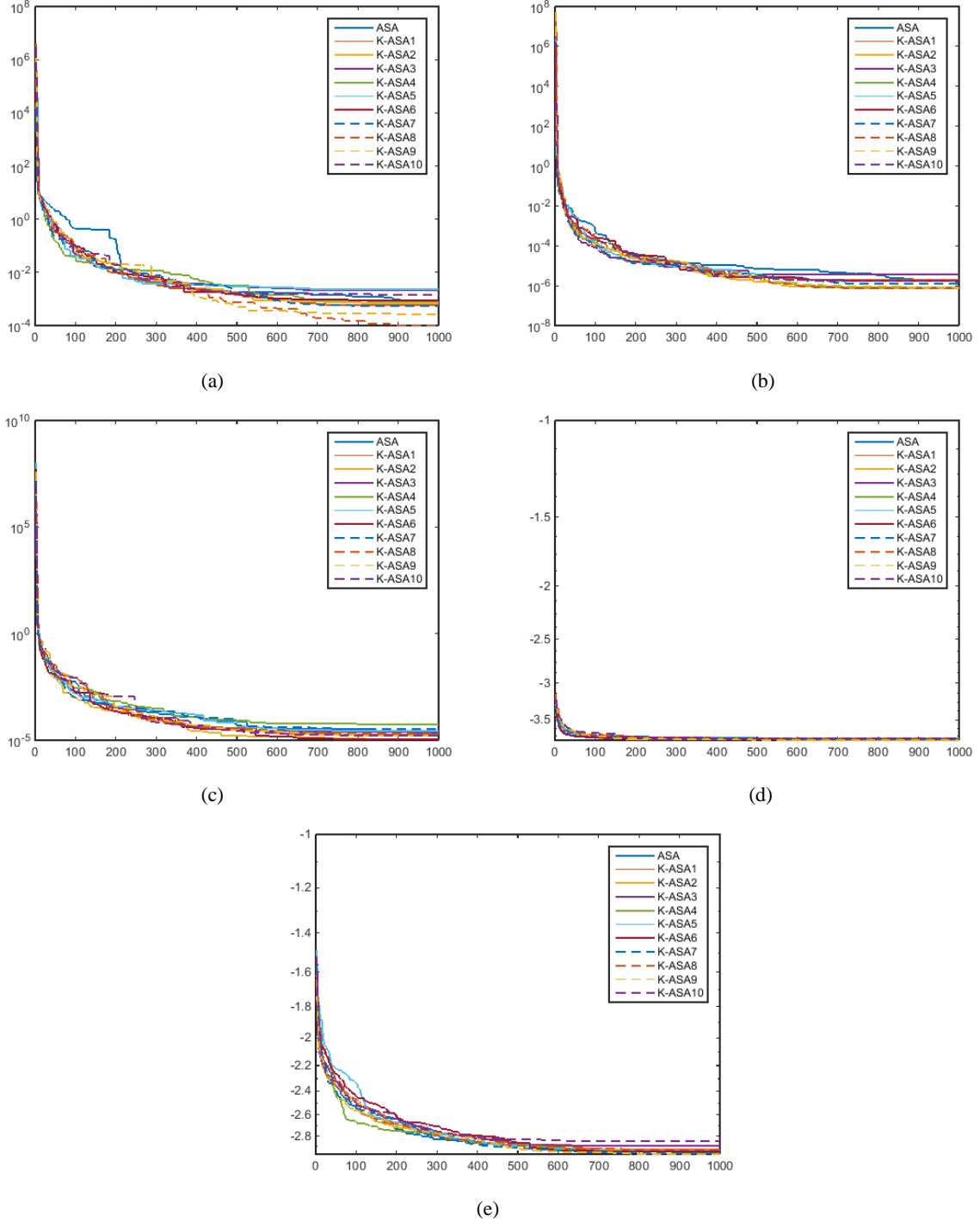
Tablo 2. Kalite test fonksiyonları

	Foksiyon	Boyut	Aralık	Optimum
F1	Rosenbrock	30	[-5, 10]	0
F2	Penalty(01)	30	[-50, 50]	0
F3	Penalty(02)	30	[-50, 50]	0
F4	Hartmann (H3,4)	6	[0, 1]	- 3.86278
F5	Hartmann (H6,4)	6	[0, 1]	- 3.32237

Tablo 3. Kalite testi fonksiyonları sonuçları (*F*:fonksiyon, *İ*: istatistikler)

<i>F</i>	<i>İ</i>	F1	F2	F3	F4	F5
ASA	<i>Ortalama</i>	7.6412e-04	1.5886e-06	1.9802e-05	-3.7841	-2.9592
	<i>Std</i>	0.0011	3.0044e-06	6.0729e-05	0.0865	0.3052
	<i>En iyi</i>	1.1344e-06	1.0691e-08	7.5857e-08	-3.8627	-3.3036
	<i>En kötü</i>	0.0042	1.3794e-05	3.3367e-04	-3.5980	-1.4908
K1-ASA	<i>Ortalama</i>	5.9770e-04	1.8438e-06	1.8587e-05	-3.7973	-2.9281
	<i>Std</i>	0.0017	4.6076e-06	4.9544e-05	0.0678	0.3884
	<i>En iyi</i>	1.3246e-08	4.5515e-11	2.4121e-09	-3.8624	-3.3114
	<i>En kötü</i>	0.0090	2.0640e-05	2.1019e-04	-3.6667	-1.6320
K2-ASA	<i>Ortalama</i>	7.1666e-04	7.3447e-07	1.1229e-05	-3.8036	-2.9376
	<i>Std</i>	0.0025	1.2626e-06	2.5533e-05	0.0766	0.2701
	<i>En iyi</i>	6.9253e-08	1.9028e-09	2.6391e-09	-3.8626	-3.2262
	<i>En kötü</i>	0.0139	4.3577e-06	1.2592e-04	-3.6089	-1.7379
K3-ASA	<i>Ortalama</i>	0.0021	3.5520e-06	2.3832e-05	-3.7973	-2.8948
	<i>Std</i>	0.0074	1.4880e-05	4.5442e-05	0.0745	0.4178
	<i>En iyi</i>	5.6950e-08	3.8111e-09	3.5240e-09	-3.8622	-3.2817
	<i>En kötü</i>	0.0403	8.1773e-05	1.9561e-04	-3.6044	-1.1704
K4-ASA	<i>Ortalama</i>	8.4300e-04	8.0683e-07	5.7996e-05	-3.7849	-2.9479
	<i>Std</i>	0.0028	1.3490e-06	1.7730e-04	0.0818	0.3961
	<i>En iyi</i>	4.6070e-08	1.7830e-09	1.0332e-08	-3.8627	-3.2552
	<i>En kötü</i>	0.0145	5.0969e-06	9.5103e-04	-3.6018	-1.4650
K5-ASA	<i>Ortalama</i>	0.0023	1.6635e-06	2.7116e-05	-3.7810	-2.9439
	<i>Std</i>	0.0072	4.6690e-06	6.1372e-05	0.0761	0.2922
	<i>En iyi</i>	5.8983e-08	4.6439e-10	4.7801e-10	-3.8625	-3.2723
	<i>En kötü</i>	0.0306	2.4306e-05	2.7017e-04	-3.6007	-1.5972
K6-ASA	<i>Ortalama</i>	8.9644e-04	1.7741e-06	1.1126e-05	-3.8007	-2.9447
	<i>Std</i>	0.0014	5.0282e-06	1.8043e-05	0.0714	0.3346
	<i>En iyi</i>	2.9675e-08	2.5383e-10	3.1385e-09	-3.8628	-3.3052
	<i>En kötü</i>	0.0052	2.6333e-05	6.6479e-05	-3.5950	-1.3301
K7-ASA	<i>Ortalama</i>	5.2884e-04	1.2585e-06	3.3608e-05	-3.7955	-2.9658
	<i>Std</i>	0.0010	3.6219e-06	6.8010e-05	0.0649	0.1243
	<i>En iyi</i>	8.4680e-08	4.3978e-10	5.7179e-09	-3.8627	-3.1448
	<i>En kötü</i>	0.0052	1.5491e-05	3.1941e-04	-3.6213	-2.6929
K8-ASA	<i>Ortalama</i>	1.0084e-04	7.2342e-07	2.0493e-05	-3.7863	-2.9263
	<i>Std</i>	1.7375e-04	1.1624e-06	3.6663e-05	0.0795	0.3267
	<i>En iyi</i>	4.3724e-08	4.7235e-10	4.6726e-09	-3.8614	-3.2193
	<i>En kötü</i>	8.3789e-04	3.8443e-06	1.2470e-04	-3.6099	-1.3824
K9-ASA	<i>Ortalama</i>	2.7427e-04	8.4349e-07	1.7158e-05	-3.8101	-2.9757
	<i>Std</i>	9.3238e-04	2.6673e-06	4.4625e-05	0.0575	0.2004
	<i>En iyi</i>	2.8276e-07	4.3278e-10	8.5489e-09	-3.8622	-3.2979
	<i>En kötü</i>	0.0051	1.4665e-05	2.0350e-04	-3.6634	-2.3267
K10-ASA	<i>Ortalama</i>	0.0015	1.7372e-06	1.7069e-05	-3.7870	-2.8510
	<i>Std</i>	0.0042	3.6962e-06	3.7362e-05	0.0823	0.4274
	<i>En iyi</i>	2.2575e-09	3.0208e-09	4.6515e-08	-3.8623	-3.1764
	<i>En kötü</i>	0.0199	1.3951e-05	1.3582e-04	-3.6016	-1.1698

Tablo 3'deki test sonuçlarından F1 fonksiyonunun çözümünde K10-ASA algoritmasının, F2 fonksiyonunun çözümünde K1-ASA algoritmasının, F3 fonksiyonunun çözümünde K5-ASA algoritmasının, F4 ve F5 fonksiyonlarının çözümünde K6-ASA algoritmasının optimum noktaya en yakın sonuçlar verdikleri görülmektedir. Kaotik haritalı ASA algoritmasının uygulandığı F1-F5 fonksiyonlarına ait ortalama yakınsama eğrileri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Ortalama yakınsama eğrileri; a) F1 fonksiyonu, b) F2 fonksiyonu, c) F3 fonksiyonu, d) F4 fonksiyonu, e) F5 fonksiyonu

Ortalama uygunluk eğrilerine bakıldığında F1 ve F2 fonksiyonu için K8-ASA algoritmasının iyi optimum değere sahip olduğu (Şekil 3a- Şekil 3b), F3 fonksiyonu için K8-ASA algoritmasının iyi optimum değere sahip olduğu (Şekil 3c), F4 ve F5 fonksiyonu için ise K9-ASA algoritmasının iyi optimum değere sahip olduğu (Şekil 3d- Şekil 3e) görülmektedir. Temel algoritma ile kaotik algoritmalar arasındaki farkların istatistiki anlamlılık düzeyini gözlemlenmek amacıyla Wilcoxon işaretli sıralar testi uygulanmıştır. Bu test her bir kaotik versiyon için en iyi algoritma ile temel algoritma çiftleri arasında uygulanmıştır (Tablo 4). Tablo 4'te *p*-değeri anlamlılık düzeyini R^+ kaotik algoritmaların ve R^- ise temel algoritmanın rank toplamlarını göstermektedir.

Tablo 4. Wilcoxon işaretli sıralar testi karşılaştırma sonuçları

F	İ	F5	F12	F13	F19	F20
ASA /K1-ASA	<i>p</i> -değeri	0.1915	0.5999	0.6583	0.5038	0.7343
	R^+	169	207	211	200	216
	R^-	296	258	254	265	249
ASA /K2-ASA	<i>p</i> -değeri	0.0285	0.1109	0.1986	0.2802	0.5999
	R^+	126	155	170	180	258
	R^-	339	310	295	285	207
ASA /K3-ASA	<i>p</i> -değeri	0.4653	0.2989	0.8774	0.5857	0.4779
	R^+	197	182	240	206	267
	R^-	268	283	225	259	198
ASA /K4-ASA	<i>p</i> -değeri	0.0428	0.2289	0.1986	0.8612	0.6583
	R^+	134	174	295	241	211
	R^-	331	291	170	224	254
ASA /K5-ASA	<i>p</i> -değeri	0.6143	0.1650	0.7189	0.7499	0.5577
	R^+	208	165	250	248	261
	R^-	257	300	215	217	204
ASA /K6-ASA	<i>p</i> -değeri	0.9918	0.1064	0.4284	0.6143	0.7655
	R^+	233	154	194	208	247
	R^-	232	311	271	257	218
ASA /K7-ASA	<i>p</i> -değeri	0.5038	0.1306	0.5440	0.9918	0.6143
	R^+	200	159	262	233	257
	R^-	265	306	203	232	208
ASA /K8-ASA	<i>p</i> -değeri	0.0068	0.0428	0.7971	0.9426	0.4165
	R^+	101	134	245	236	272
	R^-	364	331	220	229	193
ASA /K9-ASA	<i>p</i> -değeri	0.0148	0.0196	0.3709	0.0519	0.7971
	R^+	114	119	189	138	220
	R^-	351	346	276	327	245
ASA /K10-ASA	<i>p</i> -değeri	0.3493	0.4284	0.4779	0.7499	0.1306
	R^+	187	194	198	248	306
	R^-	278	271	267	217	159

p-değeri <0.05

Wilcoxon işaretli sıralar testi karşılaştırma sonuçlarına göre Tablo 4 incelendiğinde algoritmalar arasında $p>0.05$ olduğundan anlamlı bir fark görülmemiştir. Ancak rank değerlerine bakıldığında K1-ASA, ASA'ya 5/0, K2-ASA, ASA'ya 4/1, K3-ASA, ASA'ya 3/2, K4-ASA ASA'ya 3/2, K6-ASA, ASA'ya 3/2, K7-ASA, ASA'ya 3/2, K9-ASA, ASA'ya 5/0, K10-ASA, ASA'ya 3/2 üstünlük sağlamıştır. ASA ise, K5-ASA'e 3/2, K8-ASA'e 3/2 üstünlük sağlamıştır.

5. Sonuç

Bu bölümde ASA'nın performansını iyileştirmek için on kaotik harita kullanılmıştır. Kalite testi fonksiyonları üzerinde testler yapılarak sonuçlar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile desteklenmiştir. Sonuçlar, kaotik haritaların ASA'nın hem arama hem de sömürme evrelerini iyileştirme kabiliyetine sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca sonuçlar, Chebyshev ve Sinüzoidal kaotik haritanın en iyi olduğunu göstermektedir.

Kaotik haritaların ASA'nın, keşif aşamasını güçlendirir ve yerel minimuma sıkışmaktan kurtulmaya yardımcı olur. Önerilen yeni yaklaşımla keşif ve sömürünün adaptif olarak dengelenmesine izin verir. Başka bir

deyişle, K-ASA'nın keşif evresinden sömürü evresine aşamalı olarak geçmesine yardımcı olur. Gelecek çalışmalarda, gerçek dünya mühendislik problemlerinin çözümü için K-ASA algoritmalarının kullanılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, diğer kaotik haritaların da ASA'ya uygulanması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Alatas B, Akin E, Ozer AB. Chaos embedded particle swarm optimization algorithms. *Chaos, Solitons & Fractals* 2009; 40(4):1715-1734.
- [2] Alatas B. Chaotic bee colony algorithms for global numerical optimization. *Expert Syst Appl* 2010; 37(8): 5682-5687.
- [3] Jun-feng Y, Chi M, Xiao-qi P, Zhi-kun H, Jun H. A new optimization approach-chaosgenetic algorithm, *Syst Eng* 2001; 1:1-5.
- [4] Zhenyu G, Bo C, Min Y, Binggang C. Self-adaptive chaos differential evolution. *Adv Nat Comput* 2006; 972-975.
- [5] Mingjun J, Huanwen T. Application of chaos in simulated annealing. *Chaos Solitons Fractals* 2004; 21: 933-941.
- [6] Gandomi AH, Yang XS, Talatahari S, Alavi AH. Firefly algorithm with chaos. *Commun Nonlinear Sci* 2012; 18(1):89-98
- [7] Wang GG, Guo L, Gandomi AH, Hao GS, Wang H. Chaotic krill herd algorithm. *Inform Sciences* 2014; 274:17-34.
- [8] Tanyıldızı E, Cigal T. Kaotik Haritalı Balina Optimizasyon Algoritması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017; 29(1):309-319.
- [9] Saremi S, Mirjalili S, Lewis A. Biogeography-based optimisation with chaos. *Neural Comput Appl* 2014; 25:1077-1097.
- [10] Tanyıldızı E, Demir G. Golden Sine Algorithm: A Novel Math-Inspired Algorithm. *Adv Electr Comput En* 2017; 17: 71-78
- [11] Mirjalili S, Gandomi AH. Chaotic gravitational constants for the gravitational search algorithm. *Appl Soft Comput* 2017; 53:407-419.
- [12] Yao X, Liu Y, Lin G. Evolutionary programming made faster. *IEEE T Evolut Comput* 1999; 3(2): 82-102.

Kalite Ölçekleme Kriterleri ile Sosyal Ağ Hesaplarının Etkinliğinin Belirlenmesi

Hafzullah İŞ¹, Taner TUNCER^{2*}

¹ Batman Üniversitesi Bilgi İşlem Dairesi Batman Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Elazığ, Türkiye

*¹ hafzullah.is@batman.edu.tr, ² ttuncer@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11/04/2018;

Kabul/Accepted: 19/02/2019)

Özet: Sosyal ağlar; bilgi edinme, eğitim alma, içerik paylaşma, fikir beyan etme, eğlenme, haberleşme, arkadaşlık ve ticari girişimlerde bulunma gibi bireysel ve kurumsal iletişim ve etkileşime olanak sağlamaktadır. Bu ağlardaki ölçülebilir veriler üzerinde veri madenciliği teknikleri uygulanarak örüntüler tanımlanabilmekte akademik, ticari ve sosyolojik alanlarda kıymetli bilgiler elde edilebilmektedir. Ağdaki eğilimler ve ilişkiler; iş zekası, bilgi keşfi, reklam ve hizmetlerin özelleştirilmesi, suç tespitleri ve toplumsal hareketlerin izlenmesinde kullanılmaktadır. Sosyal ağlarda kullanıcıların trafik istatistikleri ve özellikleri yanı sıra etkinliklerine göre topluluklar tespit edilebilmektedir. Ancak bunların doğru bir şekilde yapılabilmesi için kullanıcı profillerinin etkinlik değerleri ortaya çıkarılmalıdır. Bu çalışmada; sosyal ağlardan çekilen kullanıcı verileri anonimleştirilip, filtrelenmiş ve sonrasında da çap (diameter), yoğunluk (density), karşılıklılık (reciprocity), merkezlilik (centralization), modülerlik (modularity) ve twit aktivitesi gibi nitelikler tespit edilmiştir. Böylece "Profil Kalite Ölçekleme" metodu ile kullanıcıların etkinlik değerleri derecelendirilmiş, gruplandırılmış ve etkin profilleri tanımlanmıştır. Analiz sonucunda algoritmanın başarı oranı %92 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sosyal ağ, Kalite ölçekleme kriteri, Profil kalite ölçümü.

Determining the Effectiveness of Social Network Accounts with Quality Scaling Criteria

Abstract: Social networks provide individual and institutional communication and interaction, such as acquiring information, receiving training, sharing content, expressing ideas, having fun, communicating, friendship, and being in business ventures. When Data mining techniques are applied on the scalable data in these networks, the patterns are defined and valuable information is obtained in academic, commercial and sociological fields. Trends and relationships in the network are used in business intelligence, discovery of information, privatization of advertisements and services, monitoring of crime detections and social movements. In social networks, as well as traffic statistics and features of users communities can be determined according to their activities. However, the efficiency values of user profiles must be revealed so that they can be done correctly. In this study; the user data extracted from the social networks are anonymized, filtered and then the diameter, density, reciprocity, centralization, modularity and twit activity have been determined. Thus, with the "Profile Quality Scaling" method, the activity values of the users have been graded, grouped and the active profile has been defined. As a result of the analysis, the performance ratio of the algorithm has been obtained 92%.

Key words: Social network, quality Scaling criteria, Profile quality measurement.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin her geçen gün daha çok gelişmesi ile birlikte birey, firma, kurum ve devlet bazında iletişim şeklimiz ve platformlarımız, sosyalleşme alanlarımız, beklenti ve duyarlılıklarımız şeklini değiştiriyor. İnternete kesintisiz erişim olanaklarının artması, sosyal ağların üye sayılarının astronomik şekilde yükselmesine ve hayatın birçok alanında kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Sosyal ağlar bireylere arkadaşlık kurmak, haberleşmek, medya takibi yapmak ve sosyal çevrelerini genişletmek amacıyla iletişim ve etkileşimde kalma imkânları sağlamanın yanı sıra devlet hizmetlerinin çevrimiçi olarak vatandaşa ulaştırılması ve firmalara reklam yapma, müşterileri ile iletişimde kalma, ürün ve hizmetler konusunda bildirim alma gibi olanaklar sağlamaktadır. Ayrıca, sosyal ağlar üzerinden elde edilen üyelik, paylaşımlar, yorumlar, beğeni, arkadaşlık ilişki ve etkileşimleri birer veri kaynağı olarak kullanılabilir. Ölçeklenebilir bu veriler üzerinde sosyal ağ analizi ile bireyler arasındaki bağıntılar bulunabilir, profil kalite ölçümleri yapılabilir, profiller kategori bazında ayrıştırılıp incelenebilir. Bu veriler iş zekası uygulamaları, organize suç tespitleri, toplumsal nabız ölçümleri, reklam ve pazarlama ile tanıtım ve halkla ilişkilerde kullanılabilir. Bu yılın heyecan verici en önemli kilometre taşı, dünya nüfusunun yarısından fazlasının, İnternete erişilebilir ve kullanılabilir olmasıdır[1]. İnternet dünya

* Sorumlu yazar: ttuncer@firat.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ ORCID, ² ORCID

genelinde ortalama %8 oranında gelişirken sosyal ağların kullanım oranı son bir yılda %20 oranında artış gösterdi. Aktif sosyal medya kullanıcı sayısı %30 artış ile 2.5 Milyar kişiye ulaştı. Mobil kullanıcıların sayısı hızlı ve pratik erişimden dolayı artmaya devam etmektedir. İnternet kullanıcılarının 2/3'ü mobil cihazlarından, bunların da %55'i akıllı telefonlarından internete erişim sağlamaktadır.

İngiltere merkezli yapılan ve 2100 kişi üzerinde denenen bir sosyal deneyde telefon kullanıcılarının %50'si telefondan kopmadığını belirtmiş ve "Nomofobi" yani cep telefonu yoluyla iletişimden kopmaktan korkma durumu yaşadığını belirtmiştir. Amazon Alexa[2] verilerine göre dünya çapında en çok ziyaret edilen ilk 500 sitenin yaklaşık 2/3'ü sosyal medya sitelerinden oluşmaktadır. GlobalWebIndex[3] verilerine göre Dünya genelinde kullanıcılar günlük ortalama 4.5 saatlerini internette geçirmekte iken, geçirdikleri vakitlerinin de ortalama 1/3'ünü sosyal ağlarda harcamaktadırlar.

İnternetin hızla yaygınlaşması, sosyal ağların gelişmesine ve dolayısıyla da astronomik oranlarda kullanıcı profiline ortaya çıkmasına sebep teşkil etmektedir. Bu kullanıcıların sosyal medyadaki aktiviteleri bireysel, kurumsal, ticari ve toplumsal çalışma ve eğilimlere yön vermektedir. Firmalar buralardan edindikleri izlenimlerle ürün ve pazar politikaları belirlerken, kurumlar itibar ve halkla iletişim kanalı yönetimleri yapmakta, devletler ise toplumsal nabız ölçümleri ile diplomatik, kültürel ve yatırımsal kararlar alabilmekte ve vizyon çalışmalarına yön verebilmektedir.

Sosyal ağlarda sahte hesaplar rahatsız edici boyutlarda olabilmektedir. Bu hesaplardan yalan haberler, yanıltıcı anketler, spam içerikler yayınlanabilmektedir. Sahte hesaplar fikirleri manipüle ederek yanlış yönlendirebilmekte, hatalı yatırım-değerlendirme kararları almada etkili olabilmektedir. Bunun yanı sıra zararlı link paylaşımları, manipüle edilmiş takipçi-takip sayıları, yasaklı spam içerik paylaşımları da yapabilmektedirler.

Bu derece etkili olabilen sosyal medya kullanıcılarının profillerinin incelenmesi, gerçekliklerinin analiz edilmesi ve bunların topluluk tespitleri yoluyla etkinliklerinin ortaya çıkarılması akademik, bilimsel ve toplumsal açıdan sağlayacağı faydalar dolayısıyla önem arz etmektedir. "Status People Fake Account" uygulaması "sahte", "iyi" ve "pasif" olarak twitter hesaplarının sınıflandırmasını yapabilmektedir. Ancak, bu sınıflandırmayı sadece twit analiz yaparak gerçekleştirdiğinden çok yönlü bir uygulama değildir.

Bu çalışmada, Twitter'dan halka açık kullanıcı profilleri ve ham verileri elde edilmiş veriler anonimleştirilerek kimlikleri gizlenmiştir. Veriler filtrelenmiş gereksiz bilgilerden arındırılarak işe yarar veri elde edilmiştir. Elde edilen bu verideki tüm kullanıcıların profil bilgileri üzerinde Anma ve Cevaplama kategorisinde olmak üzere sosyal ağ için önemli çap, yoğunluk, karşılıklılık, merkezileşme, modülerlik ve twit aktivitesi parametreleri bazında ölçümler yapılmış "Profil Ölçekleme Metodu" ile kalite dereceleri ortaya çıkarılmıştır. Ölçülen bu veriler kullanılarak tüm profiller; popüler, aktif, normal, pasif ve sahte hesap olarak sınıflandırılmış ve kümülatif bazda bir hesabın takipçilerinin genel kalite seviyeleri-nin ortaya çıkarılmasına çalışılmıştır. Böylece bir kullanıcının takipçilerinin profillerinden hesabının kalitesi ölçülenebilmektedir. Sosyal hesaplarda yoğun takipler, paylaşımlar, etkileşimler birçok konuda manipülasyona sebebiyet verebildiğinden bu çalışma profillerin gerçek değerlerinin ortaya çıkarılmasında akademik, ticari ve siyasi girişimler açısından önemlidir.

Makalenin geri kalan kısmı aşağıdaki gibi organize edilmiştir. İkinci bölümde literatür taraması ile akademik çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde sosyal ağlardan veri toplama ve toplanan verinin anonimleştirilip filtrelenmesinden bahsedilmiştir. Daha sonra Profil Ölçekleme Metodu açıklanarak Sosyal medya hesaplarının sınıflandırma işlemi sunulmuştur. Son bölümde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Literatür Taraması

Sosyal ağların popüler hale gelmesiyle birlikte bu alandaki spam trafik ve sahte hesap sayılarında ciddi problemler oluşturacak, ortamı manipüle edecek şekilde artışlar meydana gelmiştir. İçerik filtreleme bir yere kadar etkili olabilirken kullanıcı bazında sahte hesap tespiti ve engellenmesi çalışmaları önem kazanmıştır. Sosyal ağ kullanıcılarının profil bilgilerini incelemek suretiyle gerçek hesap olup olmadıkları, spam trafik oluşturup oluşturmadıkları ile ilgili yapılmış akademik çalışmalar mevcuttur[4-12]. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak kullanıcıların oluşturduğu trafiği incelemeye odaklanmışken bir kısmı da kullanıcının sahte olup olmadığını mesaj tra-fiğinin şekline ve kullanıcının ilişki ağına göre değerlendirmektedir[13]. Bu çalışmaların tamamı zararlı trafiğin ve kullanıcıların tespitine yöneliktir. Hiçbiri bireysel, kurumsal veya ticari hesabın takipçilerinin profil kalite değerlerini ortaya çıkaran ve dolayısıyla da bir sosyal ağ hesabının etkisini ölçebilecek çalışmalar değildir.

Sosyal ağ hesapları birçok nitelikten oluşmaktadır. Bu niteliklerin her biri kullanıcının profiline ortaya çıkarılmasında önem arz etmektedir. Somut olarak ortaya çıkarılabilecek nitelikler çap, yoğunluk, karşılıklılık,

merkezileşme, modülerlik ve twit aktivitesidir. Soyut olarak değerlendirilebilecek nitelikler ise davranış analizi, hesaplar arası psikolojik geri beslemeler ve anlamsal analiz olabilmektedir.

Erşahin ve ark.[14] Twitter'daki sahte he-sapların bulunması üzerine çalıştılar. Sahte sosyal hesapların yanlış bilgilerin yayılmasında kullanıldığında ciddi problemler ortaya çıktığını gösterdiler. Çalışmalarında Entropi Minimizasyon Ayırıklaştırma methodunu kullandılar. Sayısal özellikleri ve analiz sonuçlarını Naïve Bayes algoritmaları yardımıyla elde ederek sahte hesap sınıflandırmayı gerçekleştirdiler. Bu yöntem, kullanıcıların twit ve arkadaş sayılarını temel almaktadır. Bunun yanı sıra niteliklerin bağımsız olarak değerlendirildiği danişmalı öğrenmeyi kullanan Naïve Bayes algoritması yardımıyla ağırlıklı olarak anlamsal analiz ve spam filtreleme için yapılmış çalışmalar da vardır [15,16]. H.H. John ve arkadaşlarının[15] çalışmasında; kullanıcıların profil adı, hesap tanımı, profil fotoğrafı, takipçiler ve arkadaş sayıları, atılan twit sayısı ve twitlerin içeriklerine göre sınıflandırma yapılmıştır. 501 sahte, 499 gerçek hesaptan veri çekilmiştir. Naive Bayes doğruluk sonuçlarında ayırıklaştırmadan önce başarı oranı %86.1 iken ayırıklaştırmadan sonra %90.9 elde edilmiştir. Fabricio ve ark. [16] yaptığı çalışmada 23 nitelik göz önünde bulundurulmuş, yapılan spam hesap filtrelemesinde %84.5 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Gurajala ve ark. [17] sahte hesapların ortaya çıkarılmasında kullanılan niteliklerin sayısını 10 olarak belirlemiştir. Daha fazla nitelik kullanılmasına rağmen sonuçlar istenen derecede başarılı olamamıştır. Buna rağmen sahte twitleri bulmada oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Stringhini ve ark. [18] spam profil tespiti için sadece 6 nitelik kullandılar. Bu niteliklerle sadece sisteme tanımlanmış spam ve içeriklerin filtrelenmesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Social Bakers web uygulamasında Random Forest Algoritması kullanılmak suretiyle Twitter hesaplarından başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Online olarak sahte hesap taraması yapan uygulamalardan “Fake Follower Check”[19] nitelik olarak 8 kategoride tarama yapmakta olup taramanın detay verileri ve sınıflandırma teknikleri ile ilgili bir bilgi sitede paylaşılmamaktadır. Tarama neticesinde isim bazında bir sonuç verilmemektedir. Sadece “Sahte”, “Pasif”, “İyi” kategorileri bazında yüzdeler dilimlere ulaşılabilmektedir.

2012 yılında yapılan Amerika başkanlık seçimlerinde Obama ve Romney arasındaki rekabeti sosyal medyadaki sahte hesapların tespitini Camisani ve ark.[20] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 22 nitelik göz önünde bulundularak başarı oranı elde etmişlerdir. Kullandıkları algoritmada takipçilerin hesapları nitelik değerlendirilmelerine göre bir skor puanı alıp doğru veya sahte hesap olarak iki kategoride değerlendirilmiştir.

3. Profil Kalite Ölçekleme Metodu

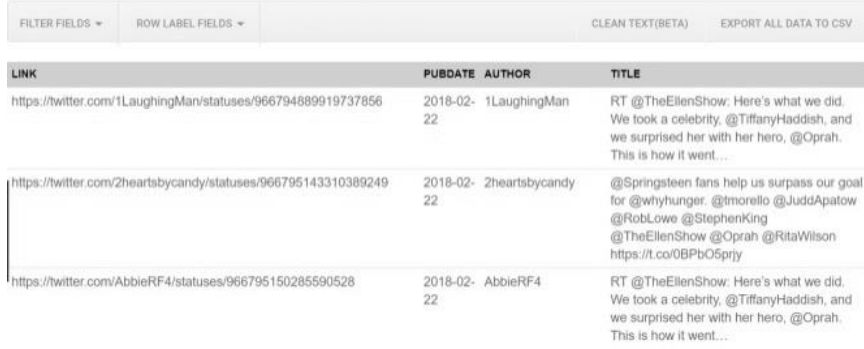
Bu makalede, kullanıcıların etkinlik değerlerini belirlemek ve sınıflandırmasını yapmak 3 aşamalı süreç uygulanmaktadır. Bu aşamalar sosyal ağdan veri toplama ve filtreleme, anonimleştirme ve analiz, işlemleridir.

3.1. Verinin Toplanması Depolanması ve Filtrelenmesi

Sosyal ağlardan verilerin teknik açıdan seri şekilde çekilmesi ve işlenmesi için uygun formatlarda toplanmasına olanak sağlayan birçok web tabanlı uygulama mevcuttur. Toplanan verinin bozulmamış yani bütünselliğini korumuş, filtrelenmemiş ve yeni veri olması uygulamalara değer katmaktadır. Import.io, Netvizz, Netlytic, NodeXL, ile Facebook, Twitter, Instagram ve RSS gibi güncel sosyal ağ platformlarından veri çekilebilmektedir. Facebook, Twitter ve Instagram gibi sosyal ağların veri çekiminde kullanılan kendi API'leri mevcuttur. Bu çalışmada Netlytic, sosyal ağlardan kullanıcı hesap bilgilerini çekme için kullanılmıştır. Twitter Rest API V1.1'den veri çekiminde istifade edilmiştir. Netlytic [21], çevrimiçi olarak tarayıcı üzerinden kullanılabilen veri toplama ve görselleştirme aracıdır. Daha yüksek hacimli verilerin çekilmesi gereksinimi durumunda NodeXL Twitter verisi çekmede başarılı bir araç olarak çalışabilmektedir.

Netlytic ile çekilen veri; Bağıntı, Yayın Tarihi, Yazar ve Başlık gibi kategorilerde elde edilebilmektedir. Bu veriler üzerinden gereksiz görülmesi durumunda herhangi bir kolon silinebilmektedir. Ya da veri üzerinde sadece yazar, başlık, yayın tarihi ve bağıntı bazında filtreleme yapılabilmektedir. Temizlenen veri csv formatında dışarı alınabilmekte ve WEKA, R, UCINET, SPSS ve Statnet gibi platformlar üzerinde çalışmalar yapılabilmektedir[22]. Bu makalede veriler üzerindeki çalışmalar Netlytic kullanılarak yapılmıştır. Şekil.1 Netlytic ile çekilen verinin filtrelenmesi göstermektedir. Şekil.1 Etik problemlerden dolayı içerikler bulanıklaştırılarak verilmiştir.

Kalite Ölçekleme Kriterleri ile Sosyal Ağ Hesaplarının Etkinliğinin Belirlenmesi



LINK	PUBDATE	AUTHOR	TITLE
https://twitter.com/1LaughingMan/statuses/966794889919737856	2018-02-22	1LaughingMan	RT @TheEllenShow: Here's what we did. We took a celebrity, @TiffanyHaddish, and we surprised her with her hero, @Oprah. This is how it went...
https://twitter.com/2heartsbycandy/statuses/966795143310389249	2018-02-22	2heartsbycandy	@Springsteen fans help us surpass our goal for @whyhungry. @tmorello @JuddApatow @RobLowe @StephenKing @TheEllenShow @Oprah @RitaWilson https://t.co/0BPbO5prjy
https://twitter.com/AbbieRF4/statuses/966795150285590528	2018-02-22	AbbieRF4	RT @TheEllenShow: Here's what we did. We took a celebrity, @TiffanyHaddish, and we surprised her with her hero, @Oprah. This is how it went...

Şekil.1 Netlytic ile çekilen verinin filtrelenmesi

100 sosyal medya kullanıcısının verileri 3 ay boyunca haftalık olarak Netlytic kullanılarak Twitter API ile periyodik olarak çekilip incelenmiştir. Her bir kullanıcının son 1000 paylaşımı filtrelenmek ve temizlemek üzere dikkate alınmış ve incelenmeye tabii tutulmuştur. Paylaşımlar, kullanıcının hem kendi attığı hem de başkasından geleni ilettiği olmak üzere bir bütün olarak ele alınmıştır. Her bir kullanıcının son 1000 paylaşımı için ham verisi ortalama 700 KB kadar olduğu görülmüştür. Bu da toplu sosyal hesap incelemelerinde kümülatif anlamda ciddi bir veri miktarına tekabül etmektedir. Tablo 1 de Twitter ağından çekilen veri ve özelliklerini göstermektedir.

Tablo 1. Periyodik çekilen veri ve özellikleri

Kullanıcı Sayısı	Paylaşım Adedi	Süre	Boyutu
100	1000	Haftalık/3 Ay	700 KB/Ay

Toplanan ham veri miktarı $100 \times 4 \times 3 \times 700 \text{KB} = 820 \text{ MB}$ 'dır. Ham veriden bağıntılar, yazarlar, yayın tarihleri gibi parametreler temizlenerek filtrelenmiş toplam veri miktarı $100 \times 4 \times 3 \times 620 \text{ KB} = 726 \text{ MB}$ elde edilmiştir.

3.2. Kategorik Kalite Ölçekleme Kriterlerinin Hesaplanması

Sosyal ağlardan Netlytic ile elde edilen verinin işlenmesi için farklı yöntemler ile veriler analiz edilmiştir [23]. Twitter'dan elde edilen veri üzerinde sosyal ağ analiz yöntemleri ile çalışılmış ve tweet etkinliği tespiti için "Kim Kimi Andi" ve "Kim Kimi Cevapladı" olmak üzere iki kategoride bağıntılı gönderiler, bağıntılar ve geçen isim verileri elde edilmesi ile ilgili çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, Twitter'da politika, magazin, spor ve marka alanında tespit edilen en popüler 100 farklı hesabın oluşturduğu profiller incelenmiş ve hesapların aktiviteleri ortaya çıkarılmıştır. Sosyal hesap profillerinin incelenmesinde 9 farklı nitelik bazında inceleme yapılmıştır. Bunlar; Takip edilen ile Takipçi oranı (T/T), Karşılıklılık(K), Merkezlilik(M_c), Yoğunluk(Y), Modüler-lik(M_o), çapta anılmanın cevaplanmaya oranı (\hat{C}_{AC}), bağıntılı göndericilerde anılmanın cevaplanmaya oranı (G_{AC}), Bağıntılı iletilerde anılmanın cevaplanmaya oranı (\hat{I}_{AC}), twit aktivitesinin beğeni aktivitesine oranı (A_{TB}). The Ellen Show sosyal medya hesabı incelendiğinde en hit 10 takipçinin trafiğin %90'ından fazlasını oluşturduğu görülmüştür. Takipçiler kendi aralarında analiz edildiğinde popüler olanların ortalama aynı değerlerde aktivite değerleri taşıdıkları gözlenmiştir.

Sosyal ağ hesaplarının etkinlikleri ve profillerinin kalitesi incelendiğinde, seçilen kullanıcıların 4 farklı kategorideki ortalama değerleri Tablo.2'deki gibidir. Bu kullanıcılardan bir kısmı politik lider, bir kısmı talkshow programcısı, bir kısmı spor kulübü, bir kısmı da ticari marka kullanıcılar olmak üzere farklı alanlardan seçilmiştir. Bir hesabın etkin kabul edilmesinin temel kriteri takip edilen sayısının takipçi sayısından oldukça düşük olmasıdır. Aksi durumda, temel eşik değerleri aşılamadığından hesap popüler kabul edilmeyecek ve dolayısıyla da aktifliğinin hesaplanmasına bile gerek kalmayacaktır. Tablo 2 de verilen 4 farklı kategorideki popüler hesapların tamamında görüldüğü üzere hesapların takip edilen sayısı takipçi sayısından çok düşüktür.

Profil bilgileri incelendiğinde 4 farklı kategorideki bu popüler hesapların oldukça fazla ortak noktasının bulunduğu tespit edilmiştir. Bu ortak noktalardan en önemlisi çok az takip ve çok fazla takipçi sayılarının olmasıdır. Bir diğer önemli nokta %92.5 oranında, anma bazında çapın, cevaplama bazında çapa oranla açık ara yüksek olmasıdır. Yoğunluk tüm popüler hesaplarda oldukça düşük değerdedir. Merkezlilik popüler hesaplarda

0.5 altında iken, ticari ve politik hesaplarda modülerlikler yüksektir. Spor ve eğlence hesaplarında ise aynı gündem konuları konuşulduğundan modülerlikleri düşüktür.

Tablo 2. Kategorik Bazda Kalite Ölçekleme Parametrelerinin Ortalamaları

	Politik	Eğlence	Sportif	Ticari
T/T	625K/100M	35.9K/77.2M	53/29.7M	141/378K
K	0.02538339	0.0009429	0.0048146	0.0621046
M _e	0.17473273	0.40712826	0.4222332	0.3492379
Y	0.00114076	0.0022380	0.0002521	0.0014437
M _o	0.73463678	0.21801095	0.3954690	0.6148167
Ç _{AC}	2.873042	1.0623156	2.563120	2.0421794
G _{AC}	3.518151	2.4591259	2.735201	5.106194
İ _{AC}	1.996059	3.5759188	2.117342	11.205422
A _{T/B}	15.5K/10	16.3K/863	61.2K/12	18.2K/9.6K

3.3. Metodoloji ve Uygulama

Bu bölümde, sosyal medya hesaplarından elde edilen veriler üzerinde kalite ölçeklenme-sinde kullanılan yöntemler, uygulanan algoritmalar ve elde edilen verilerden çıkan sonuçlar üzerinde kullanılan “Profil Kalite Ölçekleme Metodu” ile sınıflandırmaya değinilmiştir.

Sosyal medya hesaplarının etkinliğinin ölçeklenmesinde birçok yöntem uygulanabilmektedir. Ancak hızlı ve etkili bir yöntem olması önem arz etmektedir.

Heterojen sosyal ağ ilişkilerinde ilişki çeşitleri ağırlık merkezleri ile karakterize edilebilir. Her bir ilişki bir ağırlık matrisi ile ifade edilebilir. Matriste her bir eleman nesnelere arası ilişkinin gücünü ifade eder. Burada algoritmalar ağırlık matrislerinin lineer kombinasyonlarını bulmaya çalışır. Elde edilecek lineer kombinasyon, ilişkilerin gücünü ifade eder. İlişkinin değeri, hesabın gücü, takip/takipçi oranı, Direk mesaj, yeniden tweetlemek, anmak ve cevaplamak ilişkilerin değerini ölçeklemede kullanılabilir. Bu ilişkilerin değer ölçümleri ise kalite ölçüm metodları ile tespit edilebilir.

Netlytic ile elde edilen verilerden hesaplardaki bağ güçleri yani hesaptaki yeniden tweetlemeler, cevaplamalar ve anmalar, arkadaşlık gibi ilişki şekilleri üzerinden hesap yoğunluğu, merkeziliği, çapı, etkileşim gibi değerler bulunabilmektedir.

Şahsi popüler hesaplarda, politik ve eğlence gibi hesaplarda takipçi sayısı arttıkça karşılıklılık azalmaktadır. Yoğun takipçi sayılarına erişildiğinde kullanıcıların ortak ilgi alanları, beğeni ve eğilimleri oldukça değişkenlik gösterebilmektedir. Küçük şahsi ve ticari hesaplarda etkileşim oldukça fazladır. Etkileşimi artıran direk mesajlar, yeniden tweetleme ve cevaplamak değil anma sayılarıdır.

Popüler hesaplarda cevaplamak çok düşük, anma yüksektir. İçe dönük derece merkezliliğinde en çok anma alan veya cevap veren kullanıcılar öne çıkar. Dışa dönük derece merkezliliğinde ağda çevreleriyle etkileşimleri yüksek aktif Twitter kullanıcılarını ifade eder.

Yoğunluk, ağdaki mevcut bağlantıların muhtemel tüm bağlantılara oranını ifade eder. Eğer yoğunluk değeri 1 ise tüm kullanıcılar birbirleri ile bağlantılıdır denilebilir. Bu ölçü, bilgi akışının hızını da ifade ettiğinden çapa tamamlayıcıdır. Bu ölçüm 1'e yakınsa topluluğun birbirine sıkı sıkıya bağlı olduğunu gösterir. Profilin çapı ağı genişliği konusunda bilgi verir. Birbirine en uzak iki düğüm arasındaki olabilecek en uzun erişim yolunu ifade eder. Karşılıklılık profildeki takipçilerden kaç tanesinin aynı zamanda birbirleri ile ilişkili olduğunu ifade eder. Eğer tüm takipçiler birbirlerine cevap veriyorsa karşılıklılık 1'dir denebilir.

Tabana yayılmış, birbirleri ile güçlü bağları olan politik hesap takipçileri ve güçlü şekilde bir markaya bağlılığı olan profillerin birbirleri ile etkileşimleri çok yüksektir. Politik bir hesaptaki takipçilerin karşılıklılık ilişkileri düşük ise lider hareketi olarak ifade edilebilir. Bu tabandan güç almadığına işaret eder. Merkezilik, bir profilin birkaç kullanıcıya dayalı olmasını ifade eder. Bu kullanıcılar aradan çekilirse ağ çöker yada profil alt üyeleri arasında iletişim kopar. Eğer merkezilik yüksek ise değer 1'e, eğer merkezilik düşük ise değer 0'a yakındır. Düşük bir merkezilik bilginin birçok kullanıcı arasında daha özgürce aktığını gösterir. Merkezilik yüksek ise kurumsallık, denetim, merkezilik vardır. Düşük ise rahatlık, özgürlük, esneklik ve çeşitlilik vardır.

Ticari marka ve eğlence programlarında merkezilik yüksek, politik hesaplarda düşüktür. Modülerlik, bir profilin takipçileri arasında belli ortak konularda yoğun etkileşim olması durumunda yüksektir. Alt gruplar farklı konulardan konuşuyorsa modularity düşüktür. Konu bütünlüğü yoktur denilebilir. Modülerliğin yüksek olması,

birbirlerine düşkün, birbirlerine değer veren ve iyi iletişim kuran sıkı bir taban olmasına işaret eder. Modülerlik yüksek ise, kümelenme oranı da yüksektir. Modülerlik ağdaki farklı toplulukların temsili yetini ifade eder. Daha yüksek modülerlik değerleri topluluktaki daha fazla ayrışımara işaret eder. Modülerliğin düşük değerleri genellikle 0.5 altındadır.

Bu makalede, bir hesabın kalitesini ortaya çıkaran 9 nitelik, genel anlamda 0 ya da 1 değerine tekabül ettirilmiştir. 0 değeri, bahse konu profil için kalite ölçüm kriterinin yetersiz kaldığını, 1 ise kalite ölçüm kriterinin profili yeterli olduğunu gösterir. Tüm bu ölçümler 0-1 arasında olduğundan değerlendirme daha pratik yapılabilecektir. Eşik değerlerin hesaplanması neticesinde etki, hesabın türü fark etmeksizin tümünde nitelik bazında aynı referans değerleri [0,1] aralığında olacaktır. Tablo 3 temel kriterlerin tanımlamalarını vermektedir.

Tablo 3. Genel kalite ölçüm kriterlerinin açıklamaları

Nitelikler	Açıklamalar
Ç	İki ağ katılımcısı arasındaki en uzun mesafe.
Y	Mevcut bağlantıların bir ağdaki toplam olası bağlantı sayısına oranıdır.
M _e	Tüm düğümlerin ortalama derece merkezliği.
K	Mevcut ilişkilerin toplam sayısına göre karşılıklı ilişkiye sahip bağların oranıdır.
M _o	Birbirleriyle iletişim kurma olasılığı yüksek olan, birbirine bağlı alt düğüm gruplarının tespitini yapar. Kenarlar rasgele dağıtılsa, verilen gruplar içinde düşecek kenarların kesir oranıdır.

Burada ifade edilen nitelikler bulunurken kullanılan formüller aşağıdaki gibidir[23].

N düğüm sayısını, B bağıntı sayısını ve P'de olası tüm bağıntıların sayısını göstermek üzere, ağdaki olası bağlantıların sayısı değeri denklem.1' de gibi verilir. Yoğunluk (Y) ise denklem.2' deki orantı ile bulunur.

$$B = (N * (N - 1))/2 \quad (1)$$

$$Y = B/P \quad (2)$$

Dinamik ağlarda (Twitter gibi.) bir düğümün merkezliliğinin(M_e) hesaplanmasında (denklem 3) dinamik merkezlilik metriği kullanılmaktadır. G:=(V,E) şeklindeki bir grafta de V kenar, her bir kenar çifti için (s,t) en kısa yol olmak üzere her bir köşe çifti için söz konusu tepe noktasından geçen en kısa yolların kesri belirlenir. Bu fraksiyon tüm çift tepe noktalarında toplanır. Burada σ_{st} düğümünden t düğümünü en kısa yolların toplamı ve σ_{st}(v) bu kısa yollardan V kenarından geçenler olmak üzere Merkezlilik;

$$M_e = \sum_{s:=v:=t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (3)$$

Düğümlerin bağlantı yapılarının tespit edilmesi üzerlerinden akan verinin akış yapısı hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Normalleştirilmiş derece merkezliliği(M_D) denklem 4'te verilmiştir.

$$M_D = d_i * (N - 1) \quad (4)$$

Karşılıklılık(K) bir düğümün etkileşim yapısının ortaya çıkarılmasında önem taşımaktadır. İki tarafla bağlantısı olan linklerin sayısı L^{<->} ve tüm aktif bağlantıların sayısı L olmak üzere,

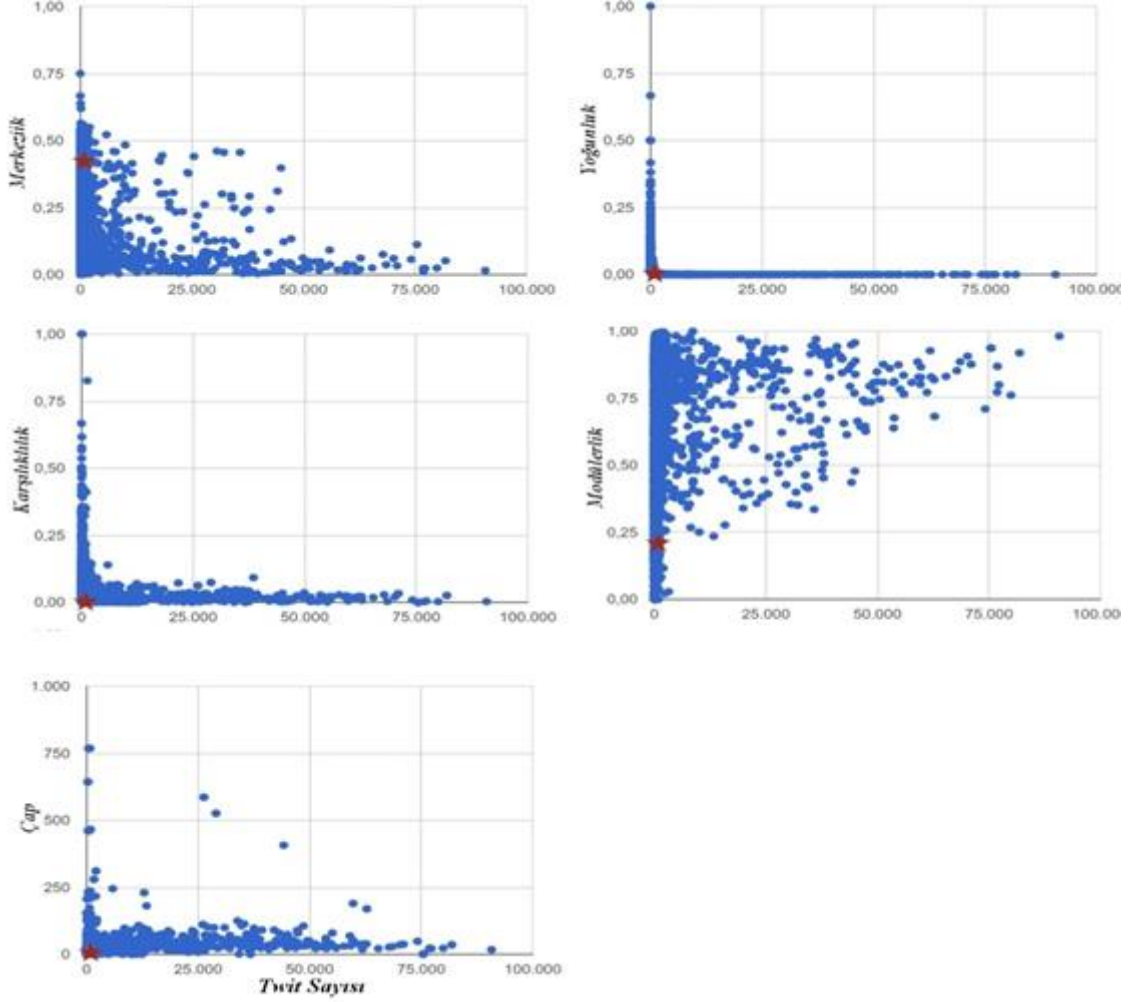
$$K = L^{<->} / L \quad (5)$$

Modülerlik(M_o), Modülde yüksek kenar sayıları yüksek modülerliğe işaret eder. (u,v) bağıntı, V düğüm, E kenar ve denklem 6'da e_{ii} = i modülündeki muhtemel kenar yüzdesi ve denklem 7'de a_i, i modülünde en az bir tarafta sonlanan kenar yüzdesi olmak üzere M_o denklem 8 ile elde edilmektedir.

$$e_{ii} = \frac{|\{(u, v): u \in V_i, v \in V_i, (u, v) \in E\}|}{|E|} \quad (6)$$

$$a_i = \frac{|\{(u, v): u \in V_i, (u, v) \in E\}|}{|E|} \quad (7)$$

$$M_o = \sum_{i=1}^c (e_{ii} - a_i^2) \quad (8)$$



Şekil 2. Tüm Kullanıcıların 100.000 Twitinden Elde Edilen Etkin Kalite Ölçüm Parametrelerinde Ortalamalar

Profillerin kalite değerleri ortaya çıkarılırken, başvurulan kalite ölçekleme metodunda niteliklerin referans değerlerine göre aldıkları katsayı değeri Tablo 4'te verilmiştir. Burada verilen niteliklerin sırası aşağıda verilen nedenlerden dolayı çok önemlidir:

Tablo 4. Hesapların Kategori Bazında Nitelik Eşik Değerlerine Göre Referans Değerleri

Nitelik	Politik	Eğlence	Sportif	Ticari
$T/T > 1$	1	1	1	1
$K > 0.01$	1	1	1	1
$M_e > 0.5$	0	0	0	0
$Y > 0.01$	1	1	1	1
$M_o > 0.5$	1	1	1	1
$\hat{C}_{AC} > 1$	1	1	1	1
$\hat{G}_{AC} > 1$	1	1	1	1
$\hat{I}_{AC} > 1$	1	1	1	1
$A_{TB} > 1$	1	1	1	1

Popüler bir profilin takipçi sayısı daima takip edilen sayısından daha fazladır. Dolayısıyla bu değerin 0 olması durumunda diğer bütün parametreleri 1 olsa bile asla popüler bir hesap olduğu iddia edilemez. Bu bakımdan tabloda verilen niteliklerin sırası profil kalitesinin tespitindeki önem sıralarına tekabül etmekte olup değerlendirmeleri de bu makalede tavsiye edilen yöntemin temelini oluşturmaktadır. Baştan sona doğru olmak üzere tüm nitelikler 3 kümede toplanmaktadır. Tablo. 5 niteliklerin aldıkları katsayıya göre Profil Kalite Değerlerini göstermektedir.

Küme 1 = {T/T, K, M_e }
 Küme 2 = {Y, M_o, Ç_{A/C} }
 Küme 3 = { G_{A/C}, İ_{A/C}, A_{T/B} }

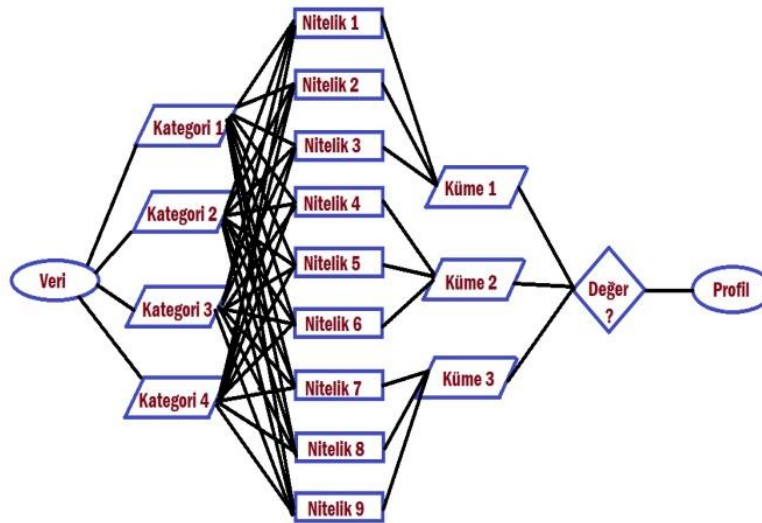
Tablo 5. Niteliklerin Aldıkları Katsayıya Göre Profil Kalite Değerleri

Değer	T/T	K	M _e	Y	M _o	Ç _{A/C}	G _{A/C}	İ _{A/C}	A _{T/B}
000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
001	0	0	0	0	0	0	0	0	1
002	0	0	0	0	0	0	0	1	0
003	0	0	0	0	0	0	0	1	1
004	0	0	0	0	0	0	1	0	0
005	0	0	0	0	0	0	1	0	1
006	0	0	0	0	0	0	1	1	0
007	0	0	0	0	0	0	1	1	1
...
077	0	0	0	1	1	1	1	1	1
700	1	1	1	0	0	0	0	0	0
705	1	1	1	0	0	0	1	0	1
777	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo5'e göre her bir profilin kalite değerinin hesaplanması için aşağıda belirtilen ölçekleme kullanılarak profil sınıflandırma gerçekleştirilir. D, profilin niteliklerden elde edilen dereceyi belirtmektedir. Şekil 3 profilin sınıflandırılması için kullanılan yöntemin akış şemasını göstermektedir.

- D > 700 ise, Profil Popülerdir.
- 100 < D < 700 ise, Profil Aktiftir.
- 77 < D < 100 ise, Profil Normaldir.
- 7 < D < 77 ise, Profil Pasiftir.
- D < 7 ise, Profil Sahtedir.

şeklinde sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3. Profil Kalite Ölçekleme Yöntemi Akış Diyagramı

100 kullanıcının, 3 aylık periyotlarla haftalık çekilen verilerinin ortalaması alınarak oluşturulan veri setinden profil hesaplarının kalite ölçekleme parametrelerinin alacağı değerler için temel oluşturmuştur. Bu parametrelerin algoritmik olarak tanımlanan kurallar çerçevesinde [0,1] olmak üzere aldıkları katsayılarla göre kalite dereceleri tanımlanmış ve {0,777} arasında aldıkları puanlardan profillerin; popüler, aktif, normal, pasif ve sahte olmak üzere 100 hesaptan 92'sinin doğru sınıflandırılması ile %92 başarı oranı elde edilmiştir.

5. Sonuçlar

İnternetin geniş bir kullanım alanı bulması ve erişim olanaklarının hızla artması kullanıcı sayısını artırmakta dolayısıyla da sosyal ağların kullanım trendleri yükselmektedir. Sosyal ağların kullanıcı sayılarının artması ve çok rağbet görmeleri bireyler, topluluklar, firmalar, kurumlar ve devletler tarafından yoğun şekilde iletişim ve etkileşimde kullanılmalarının önünü açmıştır. Ancak bu eğilim paralel bir şekilde manipülasyon yaratma amacıyla oluşturulmuş, oldukça problemlili olabilecek etkileşimler oluşturan sahte kullanıcı hesaplarının da hızla artmasına sebebiyet vermiştir. Bu sahte hesapların tespit edilmesi konusunda birçok akademik çalışma ve çoğu ilkel olsa da birçok web tabanlı uygulama mevcuttur. Ancak, bireyler arası ilişkilere, firmaların üretim ve pazarlamasına, kurumların hizmet portföylerini geliştirmelerine, toplumsal dinamiklerden elde edilen izlenimlerle devletlerin vizyon çalışmalarına yön veren sosyal medya kullanıcılarının etkileşimlerinin temelini oluşturan hesapların profil kalitelerinin tespiti, analizi, değerlendirilmesi bir çok açıdan fayda sağlayacaktır.

Bu makalede, sosyal medya kullanıcılarının profillerinin doğru şekilde analiz edilmesi ve doğrudan sahte veya aktif olarak tanımlanmaları yerine genel olarak sahip oldukları 9 nitelik üzerinden derecelendirilmeleri için sunulan “Profil Ölçekleme Metodu” ile değerlerinin 0-777 arasında tanımlanmaları daha geniş ve verimli bir bakış açısı kazandıracaktır. Çalışma; niteliklerin daha spesifik hale getirilmesi ile daha değerli sonuçlar üretebilecek potansiyelindedir. Çalışmada geçen 9 kalite ölçekleme kriteri sadece fiziksel ağ ve aktivite değerlerini temel almaktadır. Ancak anlamsal analizinde dâhil edileceği bir değerlendirme daha değerli sonuçlar üretecektir.

Kaynaklar

- [1] Kemp S, Digital in 2017 Global Overview. <https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>, son inceleme March 20, 2018.
- [2] Chaffey D, Global Social Media Research Summary 2017. <http://www.smartinsights.com/social-media-marketing/social-media-strategy/new-global-social-media-research/>, son inceleme March, 2018.
- [3] Young K. Trends 2017. <https://blog.globalwebindex.net/tag/trends-2017/>, son inceleme March, 2018.
- [4] Washha M, Qaroush A, Mezghani M, Sedes F. A Topic-Based Hidden Markov Model for Real-Time Spam Twits Filtering. KES2017; 6-8 September; Marseille, France, 2017.
- [5] Verma M, Ivya D, Sofat S. Techniques to Detect Spammers in Twitter- A Survey. International Journal of Computer Applications 2014; 85(10).
- [6] Hirve S, Kamble S. Twitter Spam Detection. IJESC 2016; 6(10).
- [7] Azab A, Idrees A, Mahmoud M, Hefny H. Fake Account Detection in Twitter Based on Minimum Weighted Feature set. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering 2016; 10(1): 2016.
- [8] Chavoshi N, Hamooni H, Mueen A. Identifying Correlated Bots in Twitter” in Springer International Publishing. Lecture Notes Computer Science 2016: 10047; pp. 14-21, 2016
- [9] Herzallah W, Faris H. Feature Engineering for Detecting Spammers on Twitter: Modeling and Analysis. Journal of Information Science 2016; 44(2): 230-247.
- [10] Bhattacharya P, Zafar M B, Ganguly N. Inferring User Interests in the Twitter Social Network. RecSys'14; 6-10 October; Foster City, Silicon Valley, CA, USA, 2014.
- [11] Song J, Lee S, Kim J. Spam Filtering in Twitter Using Sender-Receiver Relationship. RAID'2011; Menlo Park, California, USA: 2011, pp.301-317.
- [12] Alahmadi B, Legg P, Nurse J. Using Internet Activity Profiling for Insider-Threat Detection. International Workshop on Security in Information Systems; 2015.
- [13] İş H, Müngen A A, Tuncer T, Kaya M. Frequent Pattern Mining for Community Detection in Web Logs. International Conference on Artificial Engineering and Data Processing; 16 Ekim; Malatya, Türkiye: 2017. pp.1-7.
- [14] Erşahin B, Aktaş Ö, Kılınç D, Akyol C. Twitter Fake Account Detection. 2nd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK'17); 5-8 October; Antalya, Türkiye: 2017.
- [15] John G H, Langley P. Estimating Continuous Distributions in Bayesian Classifiers. 11. Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, San Mateo, USA: 1995. pp.338-345.
- [16] Benevenuto F, Magno G, Orozco A. Detecting Suversion of Twitter. Collaboration-Electronic-Anti Abuse and Spam Conference (CEAS); 2010.

- [17] Gurajala S, White J S, Hudson B, Matthew J N. Fake Twitter Accounts: Profile Characteristics Obtained Using an Activity-Based Pattern Detection Approach. SMSociety'15; Toronto, Canada: 2015.
- [18] Stringhini G, Kruegel C, Vigna G. Detecting Spammers on Social Networks. 26. Annual Computer Security Applications Conference; 6-10 December; Austin, Texas, USA: 2010, pp. 1-9.
- [19] Social Bakers. (Online) <http://www.socialbakers.com/products/analytics?ref=fakefollowers-top-bar> , March, 2018.
- [20] Camisani-Calzolari M. Analysis of Twitter followers of the US Presidential Election Candidates: Barack Obama and Mitt Romney. August, 2012.
- [21] Netlytic,(Online), https://netlytic.org/home/?page_id=10834, son inceleme March, 2018.
- [22] Weka, “Data Mining Software in Java”, <https://cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>, son inceleme March, 2018
- [23] Wikipedia, (Online), <https://wikipedia.org/wiki/Metrics/>, son inceleme March, 2018.

Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması

Mesut TOĞAÇAR^{1*}, Burhan ERGEN²

¹ Bilgisayar Teknolojileri Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ mtogacar@firat.edu.tr, ² bergem@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 26/04/2018;

Kabul/Accepted: 07/12/2018)

Özet: Son zamanlarda görüntü işleme ile ilgili gelişmeler, hızla gelişen teknolojik sistemlerin ilerlemesinde katkıda bulunmuştur. Özellikle sağlık alanındaki görüntü işleme ile ilgili çalışmalar popülerliğini daha da artırmıştır. Gerek tıbbi görüntüler olsun gerekse diğer alandaki görüntüler olsun, mevcut yöntemler üzerinde başarı sağlatılmasına rağmen; derin öğrenme modeli, mevcut yöntemlere kıyasla zaman ve performans açısından daha fazla katkıda bulunan bir modeldir. Mevcut yöntemler ile tek katmanlı görüntüler üzerinden işlem yapıyorken, derin öğrenme modeliyle, çok katmanlı görüntüler üzerinden performansı yüksek sonuçlar alınabilmektedir. Derin öğrenmenin en önemli özelliği, görüntü üzerindeki işlemleri tek bir seferde işleme tabi tutan ve el ile girilmesi gereken parametreleri kendi kendine keşif edebilmesidir. Ayrıca teknoloji firmalarının da derin öğrenmeye yönelmesi, kendi aralarında rekabet gücünü artırdığı gibi, bilimsel anlamda derin öğrenme üzerine kurdukları yöntemler, mevcut yöntemlere göre daha fazla tercih edilmeye başlanılmıştır. Veri kümesi erişimi sınırlı olan alanlardan biri olan biyomedikal alanda veri kümelerinin son zamanlarda hızlı bir şekilde elde edilmesi bu alandaki görüntü işleme çalışmalarına, derin öğrenme modeliyle beraber daha çok katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: KSA, derin öğrenme, görüntü işleme, biyomedikal, biyomedikal görüntüler

Comparison of Deep Learning and Existing Methods in Biomedical Imagery

Abstract: Recent developments in image processing have contributed to the advancement of rapidly developing technological systems. In particular, work on image processing in the health field has further increased its popularity. Whether it is medical images or images on the other side, although the success of existing methods is ensured, the deeper learning model is a model that contributes more in terms of time and performance compared to existing methods. High-performance results can be obtained on multi-layered images with deep learning model while the existing methods are operated on single layer images. The most important feature of deep learning is that it can process the operations on the image in a single pass and discover the parameters that need to be entered manually. Moreover, as technology companies try to deepen their learning and increase their competitive power among themselves, the methods they have built on deep learning in the scientific sense have begun to be preferred over existing methods. It is envisaged that the data sets in the biomedical field, which is one of the limited access areas of the dataset, to be obtained quickly in the recent times will contribute more to the image processing studies in this area together with the deep learning model.

Key words: CNN, deep learning, image processing, biomedical, biomedical imaging

1. Giriş

Görüntü işleme, insan gözünün yaptığı işlevleri bilgisayar ortamında çeşitli ara yüz yazılımlarıyla hızlı sonuçlar alan bir teknolojidir. Bu teknolojiye çeşitli modeller geliştirilmiş ve bu modeller, yapılan bilimsel çalışmalar da katkıda bulunmuştur. Görüntü işleme ve kümeleme yöntemleri kullanılarak, imge üzerinde; şekil algılama, etiketli sınıflandırma, şekil ayırma, alt sınıflara yapılandırma gibi birçok kategoride analizler yapılmaktadır [1]. Yapılan bu analiz sonuçlarında en çok tercih edilen model makine öğrenmenin alt dalı olan derin öğrenme modelidir. Makine öğrenme yöntemine göre çok katmanlı bir yapıya sahip olan ve insan beyninin işleyişinden esinlenen derin öğrenme, son zamanlarda artan ilgi görüyor [2].

Görüntü işleme uzmanları, üniversitelerdeki akademisyenler; videoyu analiz etme, analiz sonucu elde edilen görüntüyü sınıflandırma, doğal dil öğrenme vb. uygulama alanlarında makine öğrenmesini kullanmaktadırlar. Bu süreçte makine öğrenmesi, özellikle devrim niteliğinde hızlı ve yüksek performanslı sonuçlar elde edebilmek

* Sorumlu yazar: mtogacar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8264-3899, ² 0000-0003-3244-2615

için “Grafik İşlemci Ünitesi” (GIÜ) kullanılmaktadır. GIÜ’ler “Merkezi İşlem Birimi” (MİB)’ ler ile karşılaştırıldığında, GIÜ’ler uygulamalarında 10 ile 100 kat arasında performans üstünlüğüne sahip olduğu için tercih edilmektedir. Özellikle, Yapay Sinir Ağı(YSA) mimarisinde gizli ağlar ile ağlar derinleştirilmiştir. Buda çok fazla bellek tüketimi anlamına gelmek demektir. Belleğin fazla tüketimi hem zamansal hem de performans açısından yeterli donanıma sahip olunmasıyla karşılanabilir. O yüzden MİB yerine GIÜ’ ler tercih edilmektedir.

Derin Öğrenme, etiketlenmiş imge içeren eğitim setlerinde kendiliğinden özellik çıkarma işlemini becerebilen, makine öğrenmesinin aksine çok katmanlı sinir ağlarını bir arada kullanılmasını sağlayan sistemin adıdır. Görüntü ve ses analizi, robot teknolojisi, uzaktan algılama, genetik analizler, kanser ve hastalık teşhisi vb. birçok alanda kullanılmaya başlandı. Çok fazla tercih edilmesinin sebebi hızlı ve yüksek sonuçlar verebilmesidir. Bu durum bazen insan ölçütlerinin bile üzerine çıkmıştır. Bu alanlarda özellikle büyük firmaların(Google, Facebook, Samsung, Microsoft, İntel vs.) yatırımları ve çalışmaları yoğun bir şekilde sürmektedir [3].

Günümüzde her alanda kullanılan kamera sayısının artması ve kameralarda elde edilen imgeler içerisinde yer alan objelerin tespitini aynen insan gözü gibi makinelerle anlamlı hale getirilmesi; makinelerin görüntü işleme konusunda derin öğrenme modeliyle inanılmaz sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Bu sayede binlerce imge setleri derin öğrenme modeliyle, oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymuştur [4].

Görüntü işleme üzerinde çalışma yapan akademisyenler, son yıllarda biyomedikal alanında yapılan görüntü işlemeyle ilgili çalışmalara yoğunlaşmış olup; model olarak ta derin öğrenme üzerindeki faaliyetleri artırmıştır. Derin öğrenme modeline ilgi görülmesinin en önemli bir diğer sebebi ise, yeteri kadar eğitilecek verinin bulunması ve bu verilerinin işlenmesinde gerekli fiziksel alt yapının hazır olmasıdır.

Bu makalede, çeşitli firmalar tarafından desteklenen derin öğrenme modellerinin, biyomedikal alanı üzerinde mevcut mimarilerle kıyaslanmasına değinildi. Biyomedikal alanına yoğunlaşılmasının en önemli sebepleri: “ Bu alanda elde edilen veri kümelerinin geçmişe nispetten hızlı bir şekilde daha kolay elde edilebilmesi; klasik yöntemlere kıyasla derin öğrenme modeliyle birlikte yeni bir çözüm yöntemi bulunmasıdır. Ayrıca, biyomedikal alanında derin öğrenme modellerine ait geçmiş bilgilerin fazla olmaması; sağlık gibi insan hayatını önem arz eden bir alanda çeşitli hastalıkların görüntü işleme üzerinde daha hızlı ve yüksek oranda tespit edilmesi”, gibi nedenleri sıralanabilir. Biyomedikal alanında yapılan çalışmaları incelemeden önce, derin öğrenme modelleri ve ilgili kütüphaneleri hakkında kısa bilgiler vermekte yarar sağlanacaktır.

2. Derin Öğrenme Kütüphaneleri

Derin öğrenme, birçok alanda büyük atılımlara yol açtı. Tabi bunu sağlayan en önemli etken, derin öğrenme üzerine çeşitli programlama dillinde (Java, C#, C++, Python vb.) yazılmış birçok kütüphane dosyasının olmasıdır. “TensorFlow, Lasagne, Keras, MXNet, Caffe, Torch vs.” en çok tercih edilen kütüphanelerdir. Bu kütüphaneler, çok katmanlı sinir ağları (KSA), tekrarlanabilen sinir ağları(RNN), ileri besleme ağları gibi birçok derin öğrenme modellerini desteklemektedirler.

Caffe: Derin öğrenme ve görüntü işleme üzerine yazılmış bir kütüphanedir. Python ve Matlab gibi uygulama dillerinde de çalıştırılabilmektedir. Önceden eğitilmiş modellere sahip olması Caffe kütüphanesinin en önemli özelliğidir [5].

Keras: Python programlama dili üzerine yazılmış yüksek seviyeli bir derin öğrenme kütüphanesidir. En önemli özelliği TensorFlow Kütüphanesi üzerinde de çalışabiliyor olmasıdır [4].

TensorFlow: Google firması tarafından desteklenen açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesidir. GIÜ’ ler üzerinde derin ağ kurmayı kolaylaştırır. Genelde görüntü işlemede sayısal hesaplamalar için tercih edilir [6].

Torch: En karmaşık problemleri bile basitleştirip, problemin çözümüyle ilgili algoritmayı hızlı ve esnek bir yapıda hazırlayan kütüphanedir. Torch ile görüntü işleme, ses işleme, video, resim vb. formatlar üzerinde çalışma yapılabilir. Desteklediği programlama dilleri Lua ve Python’dur.

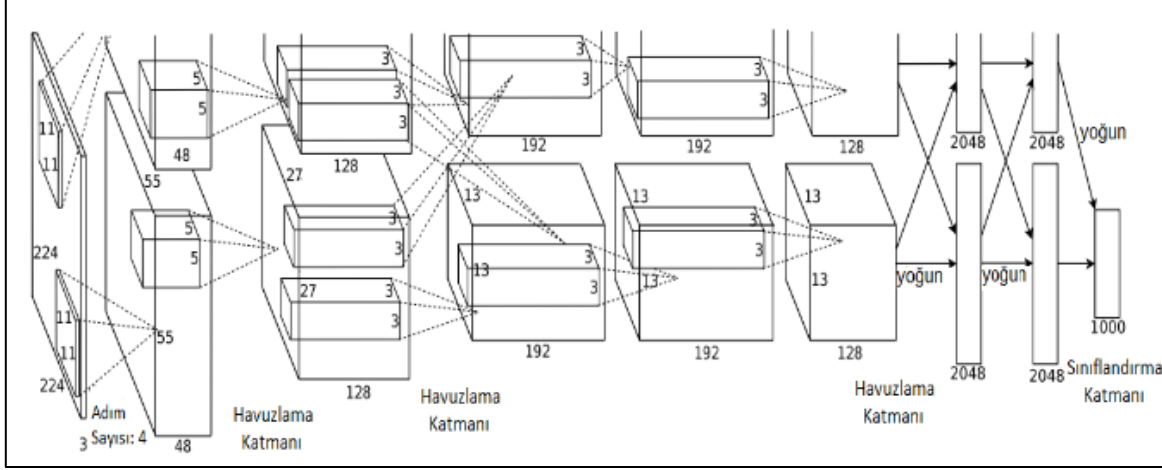
MXNet : R, Python, Scala, Julia gibi programlama dilleri tarafından desteklediği için bu kütüphane, çok dil desteği sunulan kütüphane olarak bilinir. Bu sayede, yapılan çalışmayı farklı programlama dillerinde karşılaştırma imkânına sahip olunur.

3. Derin Öğrenme Modelleri

Derin Öğrenme, özellikle İmageNet’in 2012 yılından bu yana düzenlediği yarışmalarla daha da ilgi görmeye başladı ve düzenlenen yarışmalarda görüntü sınıflandırmasında derin öğrenme modelleri tercih edilmeye başlandı. Popüler olan bu modeller hakkında ön bilgiler vermek gerekirse:

3.1 AlexNet

2012 yılında İmageNet yarışmasında adını duyuran, yaklaşık bir milyon üstü resim ile eğitilmiş olup, resimleri sınıflandırma başarısı oldukça yüksek olan bir derin öğrenme modelidir. Bu model bin adet objeyi sınıflandırmak için modellenmiştir [8].

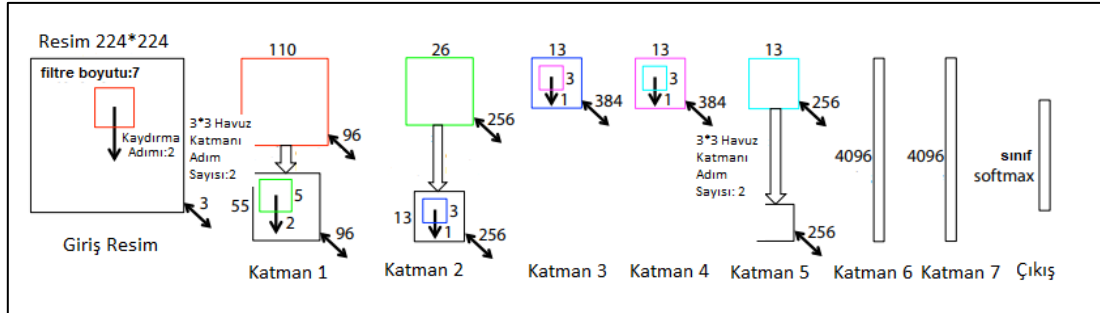


Şekil 1. AlexNet mimarisi [8]

AlexNet mimarisi; 224×224 boyutlu resimde, adım kayma sayısı 4 olarak olup, filtre boyutu 11×11 seçilmiştir. Mimari; konvansiyonel katman, havuz katmanı ve tam bağlantılı katmandan meydana gelmektedir [8].

3.2 ZF Net

Bu model AlexNet modelden esinlenerek tasarlanmış olup, AlexNet'e göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. 2013 yılında İmageNet yarışmasında birinci olmuştur. AlexNet'e göre farkı; filtre boyutunu 7×7 ve adım sayısını 2 almıştır. Ayrıca, "Çapraz Entropi", "Olasılıksal Eğim İniş" ve "ReLU" algoritmalarını kendi mimarisinde kullanmıştır. ZF Net mimarisi 7 katmandan oluşmaktadır [9].

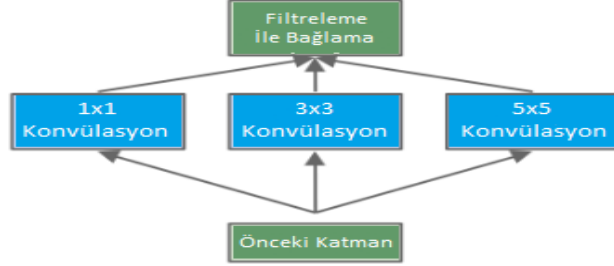


Şekil 2. ZF Net mimarisi [9]

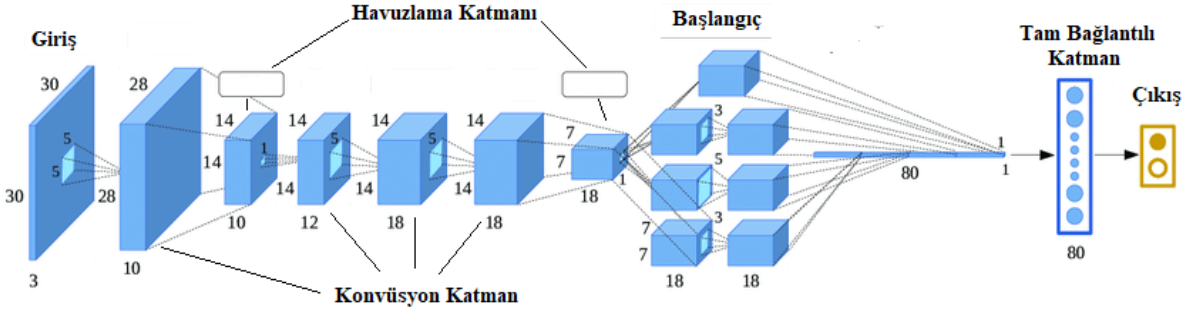
3.3 GoogLeNet

İmageNet 2014 resim sınıflandırma yarışmasında birinci olmuştur. 2012 yılında girdiği İmageNet yarışmasında %89.06 başarı oranını, 2014 yılında %93.33'e çıkarmıştır. GoogLeNet mimari yapısı 22 katmandan oluşmaktadır ve bu mimari, katman sayısının artırılması ile veri kümesinin çok fazla olması sınıflandırma işleminin performansını artırdığını ispatlamıştır. Büyük boyutlu resimlerin aşırı yüklenmesini önlemek içinde " 1×1 , 3×3 , 5×5 " gibi çeşitli boyutlarda aynı zaman diliminde resimleri filtrelerden

geçirmektedir. Şekil 3' e bakınız [10]. Bu mimari, önceki mimarilerin aksine, oluşturduğu katmanları üst üste yığmaktansa, paralel bir şekilde resimleri işliyor. Çünkü üst üste yığılan işlemler için bellek boyutu artırımı, zaman kaybı vb. olumsuz faktörleri de göz önünde bulundurmıştır. GoogLeNet ağ mimari yapısı ise Şekil 4' te verilmiştir.



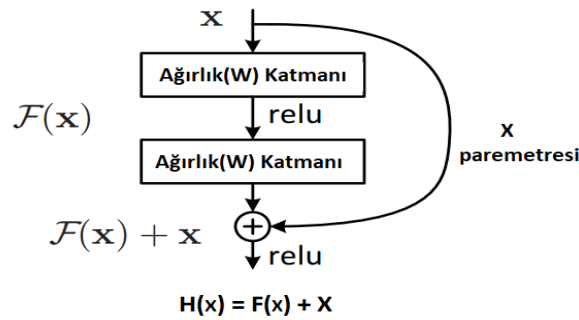
Şekil 3. GoogLeNet başlangıç modülü [10]



Şekil 4. GoogLeNet mimari yapısı

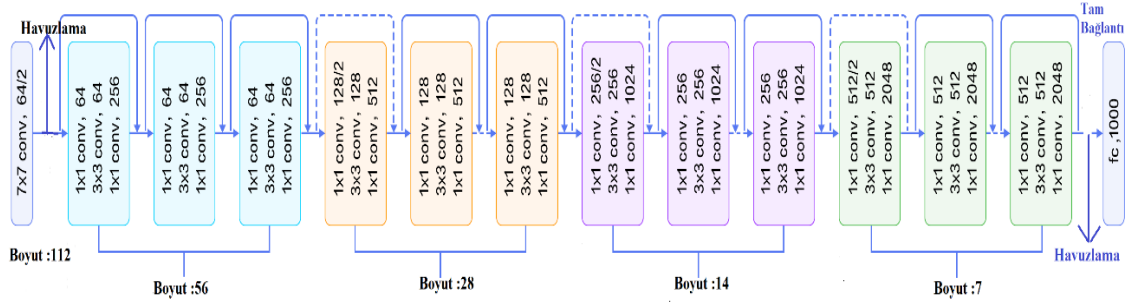
3.4 Microsoft ResNet

ResNet mimarisi, diğer mimari yapılarına göre daha fazla katman içermekte ve yapısında 152 adet katman bulunmaktadır. Katman sayısı GoogLeNet mimarisine göre neredeyse 7 kat fazla katman parametresi içermektedir. 2015 yılında yapılan ImageNet resim sınıflandırma yarışmasında ResNet birinci olmuştur. İnsan hata oranı %5-10 arası olarak kabul edilirken, ResNet 2015 yılında yapılan yarışmada bu oranı %3.57' ye düşürmüştür [11]. Bu mimarinin yapısında "Residual" bloklar bulunmaktadır. Bu blokların içyapısı Şekil 5' de, ResNet mimari yapısı ise Şekil 6' da gösterilmiştir. Bu mimaride her katman arası Şekil 5' de ifade edilen şekilde girilen " x " değerine karşılık elde edilen " $f(x)$ " değeri ile birleştirilip bir sonraki katmana aktarımı sağlamıyor.



Şekil 5. ReLU blok yapısı [11]

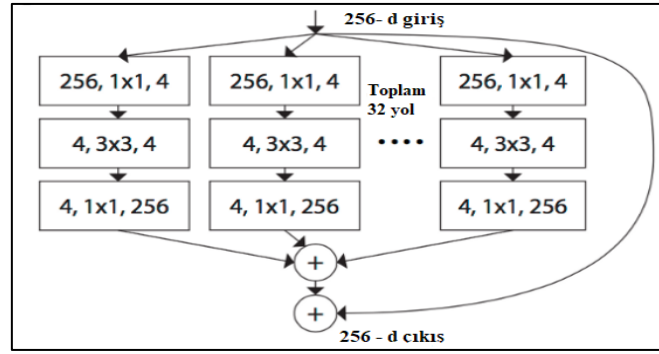
Şekil 5' de de anlaşıldığı gibi “×” girişi ağırlık(W) katmanlarından geçerek bir “F(×)” sonucu elde edilmektedir ve işlem bittiğinde “×” parametresi üzerine “F(×)” parametresi ilave ediliyor [11].



Şekil 6. ResNet mimari yapısı [11]

3.5 ResNeXt modeli

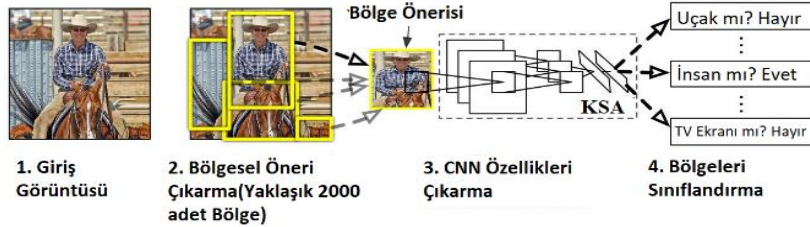
Bu model, Facebook yazılım şirketi tarafından geliştirilmiş derin öğrenmeyle resimleri sınıflandıran modeldir. Resim girdileri bir kaç özel filtre yöntemiyle (1×1, 3×3, 5×5 vb.) “bölme, dönüştürme ve birleştirme” stratejisini benimsemiş olup; homojen çok dallı bir mimari yapısı vardır. ResNeXt modeli, ResNet ve VGG modellerinden esinlenmiştir. ResNeXt Model mimarisi Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. ResNeXt blok yapısı [12]

3.6 R-KSA modeli

Bölgesel KSA olarak bilinen bu modelin amacı, görüntü üzerindeki nesnelere doğru bir şekilde tespit etmektir. Yani, Şekil 8' e bakıldığında bu mimari de aynı ortamın farklı açılardan veya farklı zamanlarda çekilmiş resimleri üzerinde bulunan nesnelere tespit edip, nesnelere arasındaki ilişkileri de bize veren mimaridir. Bölge, bölge seçim araması yaparak her resim için farklı boyutlarda pencerelerden görüntüyü analiz eder ve her bir nesne tanımlaması için pikselleri rengine, dokusuna ve yoğunluğuna göre sınıflama yapar [13].



Şekil 8. Bölgesel KSA temel mimarisi [13]

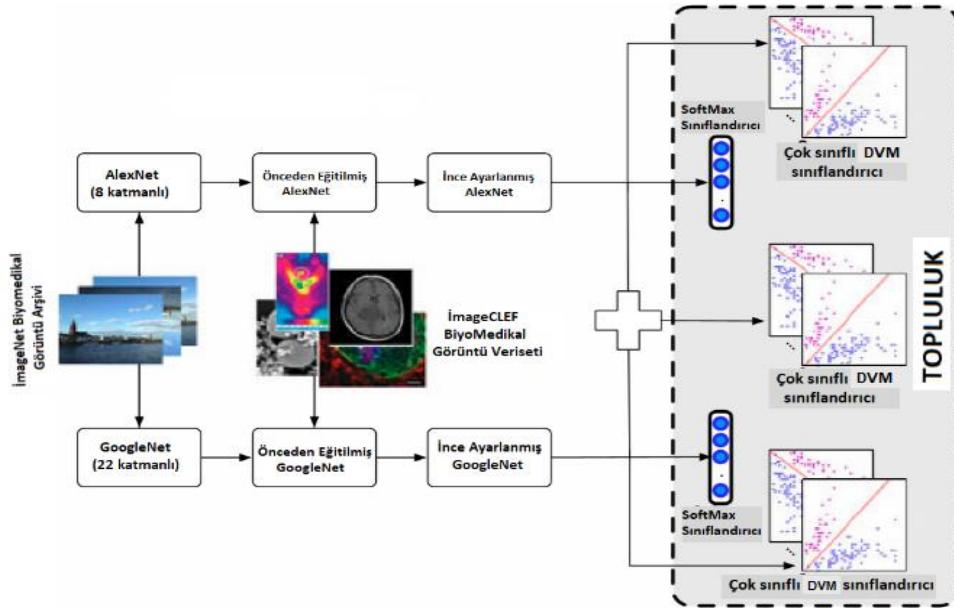
B-KSA modelin en önemli eksikliği, veri kümesini eğitirken fazla zaman harcamaktadır. Bu eksikliği gidermek için “Daha Hızlı B-KSA” modeli geliştirilmiştir. Bu model ile her bir resim için binlerce kez çalıştırılmak yerine; bir resim çalıştırılıyor ve diğer resimler çalıştırılan resmin değerlerini çalıştırılmadan kabul ediliyor [7].

4. Biyomedikal Alanda Derin Öğrenme

Son zamanlarda özellikle derin öğrenme modeliyle yapılan çalışmalar, çeşitli alanlarda başarılı sonuçlar elde edilirken, biyomedikal alanda da faaliyetler hızla artmıştır. Bu alanda büyük ölçekli veri kümelerine ulaşılmasıyla birlikte biyomedikal üzerinde derin öğrenme çalışmalarında yoğunluk hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Bu kısımda biyomedikal alanında derin öğrenme ile ilgili yapılmış olan akademik çalışmalardan bahsedilmiştir.

Biyomedikal görüntülerin sınıflandırılmasın da yapılan çalışmalardan biri: Sınıflandırma işleminde ince ayarlı KSA yönteminin kullanılmış olmasıdır. İnce ayarlama yöntemiyle var olan KSA modeli, hazır veri kümeleri ile eğitilip, modelin ağırlık güncellemeleri elde ediliyor. Sonrasında farklı veri kümeleri model de eğitilmek için bırakıldığında, daha önceden ağırlık güncellemeleri yapıldığı için öznelik ve sınıflandırma işlemi daha hızlı oluyor.

Bu çalışmada veri kümesi, ImageNet 2016 medikal görüntüleri adlı veri kümesinden elde etmişlerdir. Veri kümesinin 6776 adet görüntüsü eğitim için, 4166 adet görüntü ise test verisi olarak kullanılmıştır. Eğitilmiş resimler üzerinde, KSA yöntemi ile yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar alınmasına rağmen, görüntüler arasında ince farklılıkları yakalayamayabilir. Bu çalışmadaki esas amaç ise bu farklılıkları da yakalayabilecek bir KSA modeli geliştirmektir. Veri kümesi üzerinden farklı KSA yöntemleriyle elde edilen öznelikler; kendi aralarında kıyaslanıp, birbirinden farklı olan özneliklerin çıkartılması ile ince ayarlı KSA topluluğu oluşur. Bu topluluğun amacı performansta artış sağlamaktır. Şekil 9’ da ince ayarlı KSA topluluğu, tasarımı gösterilmiştir [14].

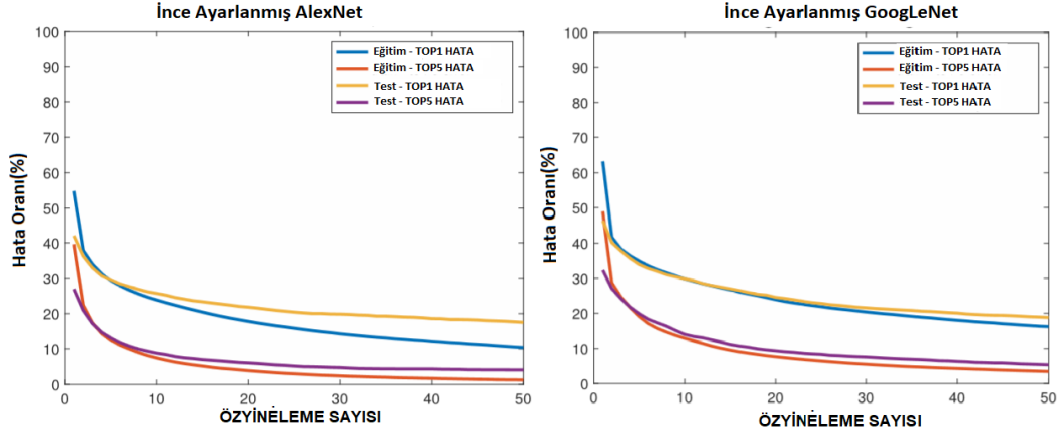


Şekil 9. İnce ayarlanmış KSA' da topluluk modeli [14]

Görüntü sınıflandırmasında AlexNet ve GoogLeNet mimarilerini kullanarak ince ayarlı görüntüler elde edildi. Daha sonra görüntünün sınıfını belirlemek için SoftMax sınıflandırıcıları ile çoklu Destek Vektör Makineleri (DVM) birlikte, topluluk modeli kullanılmıştır. Bu iki yöntemde derin öğrenme ağının son aşamasında yer alır ve çoklu sınıflandırma işlemi için her bir girdiye karşı [1,0] arası çıkış değeri üretir, sınıflandırma yapar [21].

Çalışmaya ait veri kümesi üzerinde ince ayarlama işlemleri, geri yayılım yöntemiyle ve ağırlık (W) parametrelerinin güncellenmesi ile düzeltilmiştir. Ayrıca görüntülerde elde edilen özellikleri düşürmek için, Temel

Bileşen Analizi (TBA) yöntemi de kullanıldı [14]. Sırasıyla GoogLeNet ve AlexNet mimarilerinin ince ayarlanma işleminden sonra hata oranındaki düşüş grafiği Şekil 10’ da yer almaktadır. Tablo 1’ de ise kendi oluşturdukları topluluk mimarisinde başarı oranları, bu toplulukta kullanılan yöntemlerin tek tek kullanılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve topluluğu oluşturan DVM, Softmax yöntemlerinin birlikte çalıştırılmasıyla doğruluk oranını daha da artırdığı görülmektedir. Ayrıca KSA’ da SoftMax yöntemi AlexNet mimarisine göre iyileştirme yaparken, GoogLeNet mimarisine göre sınıflandırmada iyileştirme yapmadığı bilinmektedir. İyileştirme yapamamasının sebebi, GoogLeNet mimarisinde SoftMax’ da görüntü sınıflandırılırken karşılaştırma yapamamasıdır [14].



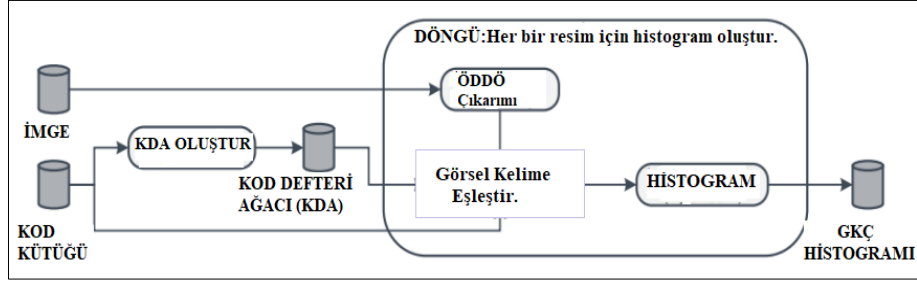
Şekil 10. İnce ayarlanmış KSA’ da hata oranı [14]

Tablo 1. Sınıflandırma doğruluk tablosu [14]

TOP1 SINIFLANDIRMA DOĞRULUK ORANI (%)	MİMARİ		TOP5 SINIFLANDIRMA DOĞRULUK ORANI (%)	MİMARİ	
	ALexNet	GoogLeNet		ALexNet	GoogLeNet
Eğitilmiş Veri + DVM	79.21	78.61	Eğitilmiş Veri + DVM	96.71	96.33
İnce Ayarlı + SoftMax	79.62	77.17	İnce Ayarlı + SoftMax	94.48	91.31
İnce Ayarlı + DVM	79.60	80.75	İnce Ayarlı + DVM	96.47	96.54
Topluluk Modeli	82.48		Topluluk Modeli	96.59	

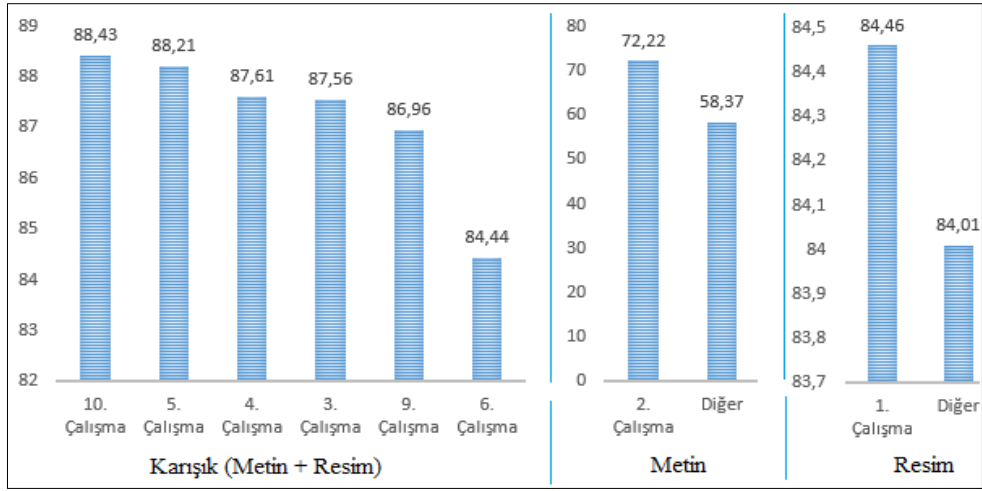
Başka bir çalışmada ise bilim adamları, İmageCLEF 2016’ da biyomedikal alanındaki veri kümeleri üzerinde KSA’ yı kullanarak kendilerinin geliştirdiği “Biyomedikal Bilgisayar Bilimi Grubu” (BBBG) adını verdikleri yöntemle sınıflandırma işlemi yapmışlardır. Bu çalışmada, veri kümesi üzerinde bazı sınıflara ait görüntüler, renkler ile ayırt edilebileceğini düşünerekten “Görsel Kelime Çantası” (GKÇ) yaklaşımını KSA modelinde kullanmışlardır. Bu yaklaşım, her görüntü için sözlük adında “şekil başlıkları” ile “tam metinler” olmak üzere iki kısımdan oluşan kelime hazinesi içermektedir. Görüntülerden çıkarılan kelime hazineleri ne kadar sık kullanıyorsa; elde edilen sıklık sayısı, bir dizi içerisinde tutulması prensibine dayanmaktadır [1].

Çalışmada veri kümesi, eğitilmeden önce TBA yaklaşımıyla özellikleri düşürüldü. Sonraki işlemde ise GKÇ işlemi kullanıldı. Burada GKÇ yaklaşımı içerisinde “Ölçsüz Değişken Dönüşümü Ölçeği” (ÖDDÖ) tekniği kullanıldı. ÖDDÖ ile orjinal görüntünün üzerinde ayırt edilebilme özelliği yüksek anahtar yerler oluşturup, bunu farklı açılardan çekilmiş görüntüler üzerinde anahtar noktaları tespit ederek görüntünün doğruluğunu bulmayı amaçlamaktadır. Bu durum Şekil 11’ de anlatılmaktadır.



Şekil 11. GKÇ histogram oluşumu [1]

BBBG modeli ile tıbbi görüntülerin; “Metin, Görsel, Karışık (Metin + Görsel)” sınıflandırılması amaçlanmıştır. Ve bunun için kendi geliştirdikleri model ile birlikte geleneksel yaklaşım modelleriyle, ResNet modelini iç içe kullanmışlardır. Şekil 12’ de görüldüğü gibi, BBBG modeli, 3 kategoride başarılı sonuçlar almıştır.



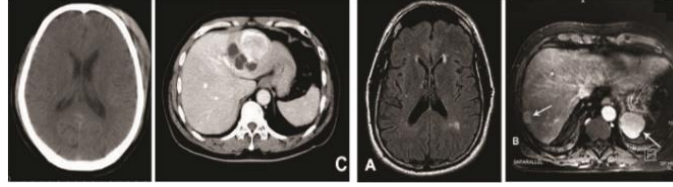
Şekil 12. BBBG modelinin başarı oranları [1]

Diğer bir çalışmada ise bilim adamları, sınıflandırma işleminde performansı artırmak için “El ile işlenmiş görsel niteliklerle birlikte derin öğrenme” (EİGNDÖ) modelinin kodlarını tasarlamışlardır. Bu modelde, ImageCLEF 2016’ da ki 30 kategoride yer alan, veri kümesi kullanılmıştır. Kategorilerden bazıları yeterli veri kümesine sahip olmaması, bazıları da uygun sınıf olmamasından dolayı elde edilen performans sonucunu olumsuz etkilemiştir. EİGNDÖ modeliyle, %85.47 orana varan bir başarı elde etmişlerdir. Burada KSA modeliyle elle işlenmiş görsel nitelikler birleştirilerek, görüntüleri sınıflandırma modeline gidilmiştir. Görüntüler üzerinde görsel öznelik çıkarımı için, tek tanımlayıcılar (renk, doku, şekil), çoklu tanımlayıcılar ve bulanık renk dokusu histogramları kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminde kullanılan diğer teknikler ise; Özellik çantası yöntemi (ÖÇY), mekânsal piramit eşleştirme (MPE) yöntemi, ÖDDÖ yöntemi, TBA, geri yayılım sinir ağı (GYSA), yerel ikili desen (local binary patterns-YİD) yöntemleri kullanılmıştır [2].

ÖÇY ile görüntü üzerindeki kelimelerin görülme sıklık dereceleri bir dizide toplanarak sınıflandırma işlemine gidilmesi yöntemidir. MPE yönteminde; görüntü mekânsal olarak bir kaç bölütlü görüntüye ayrılır. Ve görüntünün bir bölütü ÖÇY çantasındaki kelimelerin içerisinde varsa, diğer bölütleri tahmin edilerek sınıflandırma işlemi yapılır. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki amaç, performans ve zamandan kazançtır. GYSA ile hata çıktıları hesaplanır ve geri yayılımla ağa tekrar parametreler güncel bir şekilde geri döndürülür. YİD yöntemiyle, görüntüler arasında parlaklık değişimine karşı dayanıklı olmasıdır. Bu yöntemle, her piksel değeri için bir etiket oluşturulur ve bu etiket 1 veya 0 dan oluşur. Bu tekniklerin kendi modellerinde kullanılma sebebi örneğin; beyin organına ait ImageCLEF veri kümesinde hem Tomografi (BT) hem de manyetik rezonans (MR) görüntüleri mevcuttur. Bu iki görüntü tipi görsel yönden pek çok benzerlik gösterirler. Şekil 13’ e bakınız. Bu

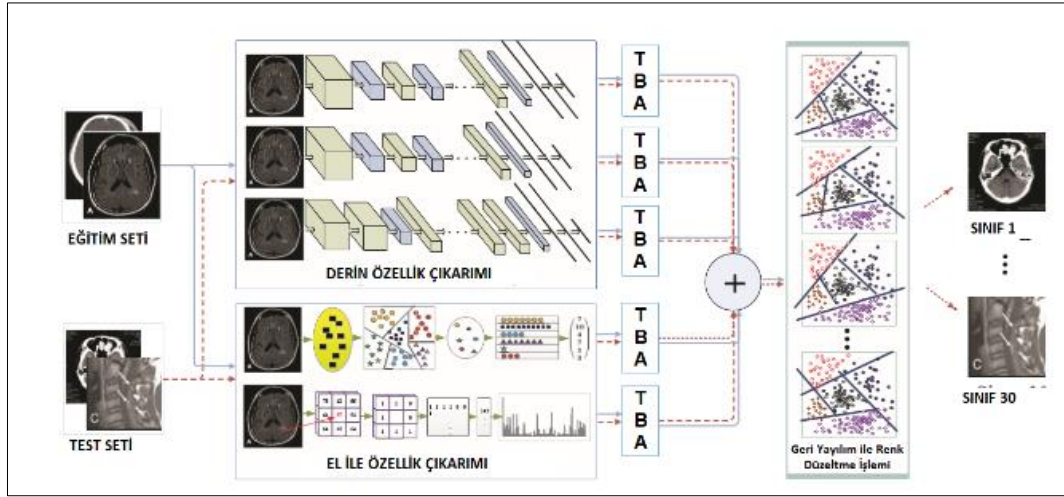
sebepten dolayı bu benzerlikleri sınıflandırmak için yukarıdaki tekniklerle beraber KSA yöntemini, kendi tasarladıkları model ile birlikte kullanmışlardır [2]. Kısaca oluşturdukları EİGNDÖ Yöntemi;

$$\text{KSA} + \text{ÖÇY}, \text{YİD Tanımlayıcı} + \text{TBA} + \text{GYSA} \quad (1)$$

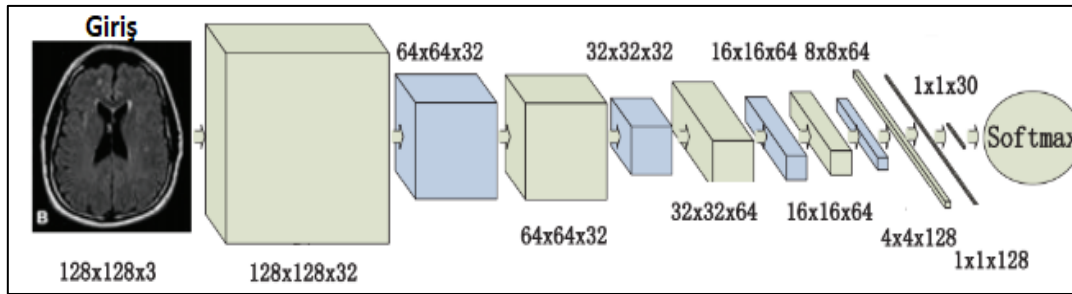


Şekil 13. Beyin MR ve tomografi görüntüleri [2]

Denklem 1’ de görüldüğü gibi KSA ile diğer tekniklerin birleştirilmesiyle oluşur. EİGNDÖ yönteminin çalışma algoritması ise Şekil 14’ te dir.



Şekil 14. EİGNDÖ algoritması tasarımı [2]



Şekil 15. KSA modeli özellik çıkartma aşamaları

EİGNDÖ yönteminde, “Caffe-Ref, VGG-f, VGG-19” 3 adet KSA modeli kullanılmıştır. Bu yöntemde, diğer yöntemlere kıyasla %85.47 oranında başarı sağlamıştır. Başarı oranı, Tablo 2’ de yer almaktadır.

EİGNDÖ yöntemi içerisinde kullanılan Derin KSA modelinin özellik çıkartma aşamaları Şekil 15’ te gösterilmiştir. Benzer alanda yapılan önceki çalışmaların sonuçlarını EİGNDÖ yöntemiyle kıyaslanması yapılmış ve gayet başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 3’ te gösterilmiştir.

Tablo 2. EİGNDÖ modelinin diğer modellere göre performans göstergesi [2]

	Özellikler	Sınıflandırma Doğruluğu(%)
El İşi Yöntemler	ÖÇY	70.86
	YİD	71.29
Tam Eğitilmiş KSA ile	Derin Özellik	67.02
	Derin Özellik + ÖÇY	72.39
	Derin Özellik + YİD	73.98
	Derin Özellik + ÖÇY + YİD	75.37
Önceden Eğitilmiş KSA ile	Derin Özellik + Caffe-Ref	79.81
	Derin Özellik + VGG-f	80.77
	Derin Özellik + VGG-19	81.71
	3 Derin Özellik + ÖÇY + YİD (EİGNDÖ Modeli)	85.47

Tablo 3. EİGNDÖ yönteminin, benzer çalışmalarla kıyaslanması

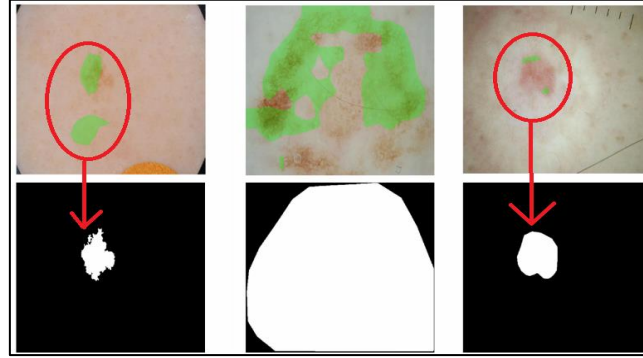
Yöntem	Çalışma Yöntemi	Sınıflandırma Doğruluğu(%)
EİGNDÖ	Görsel	85.47
Koitka et al.(ResNet) [1]	Görsel	85.38
Koitka et al.(11 el işi özellikler çıkarma) [1]	Görsel	84.46
Valavanis et al. [15]	Görsel	84.01
Kumar ea al. [16]	Görsel	77.55
Li et al. [17]	Görsel	72.46
Semedo et al. [18]	Görsel	65.31

Derin öğrenme de görüntüyü sınıflandırma aşamasında kullanılan yeni yöntemlerden birisi de süper pikseldir. Süper pikseller, görüntü bölütleme ve sınıflandırma işlemlerinde kullanılan kümeleme yöntemidir. Bu yöntem ile görüntü tutarlı küçük bölgelere bölünür ve bu bölgelere değişen yoğunlukta tohumlar (pikseller) homojen olarak yerleştirilerek çok çözünürlüklü bir görüntü elde edilir.

Biyomedikal alanda yapılan çalışmada cilt doku bozukluklarının tespitini derin öğrenme yöntemiyle tespitini yapmak için, süper piksel yöntemiyle KSA modeli beraber kullanılmıştır [20]. Ciltte oluşan doku bozukluğu görüntüsü için Şekil 16'ya bakınız.

**Şekil 16.** ISBI (Uluslararası Biyomedikal Görüntü Sempozyumu) 2016' da ki deroskopik görüntüler

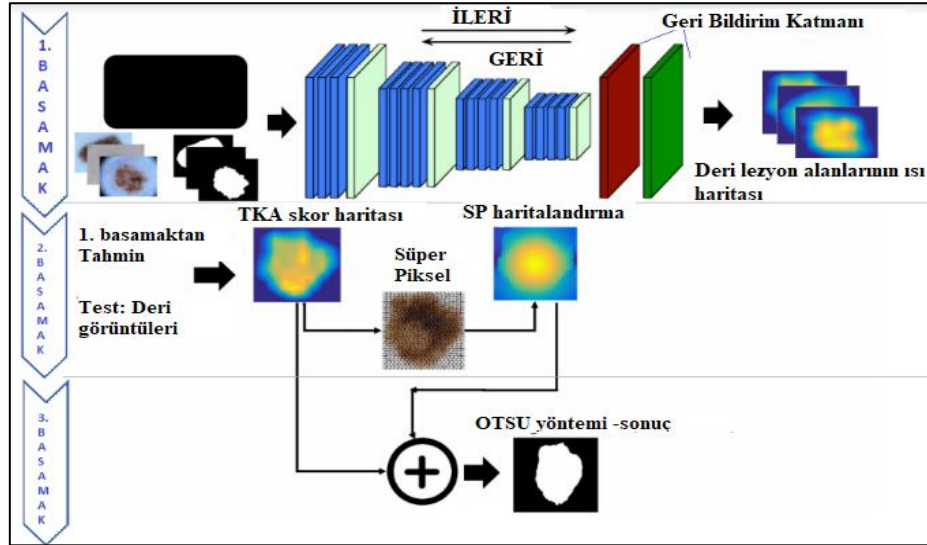
Bu çalışmada, TKA yöntemiyle deri üzerindeki lezyon tabaka şekil olarak kabaca tespit edildi [19]. Sadece TKA yöntemiyle deri lezyonun tespit sonuçlarını Şekil 17' de görebilirsiniz.



Şekil 17. ISBI (Uluslararası Biyomedikal Görüntü Sempozyumu) 2016’ da deri görüntüleri üzerinde kullanılan TKA yöntemi

Şekil 17’ de kullanılan TKA yönteminde “otsu eşiği” tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte, belirlenen bir eşik değeri üzerinde çıkan pikseller 1; eşik değeri altında kalan piksel değeri ise 0 olarak etiketlenerek resmin siyah beyaz görüntüsü elde etmeye yarar. Önerdikleri yöntemle; TKA ile tespit edilen kaba şekilli görüntülerin; süper piksellerle birleştirilerek daha ince ve doğru bir şekilde lezyon tespitini sağlamayı amaçlamıştır.

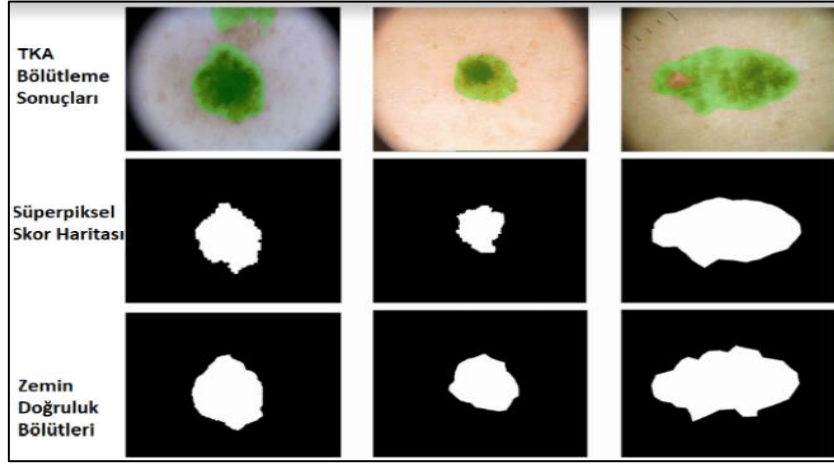
Şekil 18’ i incelediğimizde 1. Basamakta tamamen derin öğrenme modeli TKA yöntemiyle elde edilen lezyon görüntüler, 2. basamakta süper piksellerle piksel haritalandırılması yapılmaktadır. Ve yöntemin sonunda “otsu eşiği” tekniğiyle lezyon bölge tespit edilmektedir. Burada 1. Basamakta her bir görüntünün 5 farklı kamera açısından görüntüsü istiflenerek eğitim kümesinde, artırılma işlemi yapılmıştır. Ayrıca süper piksel yönteminde kullanılan algoritma ise “Basit Doğrusal Yinelemeli Kümeleme” (BDYK) tekniğidir. Bu teknik ile sonradan yerleştirilen pikseller eşit bir dağılım (homojen) göstermektedir [19].



Şekil 18. “TKA + Süper piksel” yöntemi işleyiş şeması [19]

Süper piksel, yönteminde kullanılan skor haritaları 0 ve 1 den oluşmaktadır. Sıfır düşük güvenilirlikli süper piksel; bir ise yüksek güvenilirlikli süper piksel anlamına gelmektedir. 0 veya 1 olmasındaki karar mekanizması: Süper piksel görüntünün içerisindeki piksellerin ortalama değeri hesaplanır. Elde edilen sonuç, tüm süper piksellerin ortalama değerinden büyükse 1; değilse 0 kabul edilir.

Çalışma yönteminin deneysel sonuçlarında ISBI 2016 biyomedikal veri kümesi kullanıldı. Toplam 900 eğitim ve 379 test dermoskopi görüntüsünden oluşmaktadır. Süper piksel sayısına göre deride ki lezyon tespiti analizi yapılmıştır. SP-400 (Süper piksel adeti: 400) en iyi performansı gösterdiği için (% 80.6 başarı oranı) SP-400 kendi yöntemlerinde kullanılmıştır. Elde edilen başarı oranı % 92.3’ tür [19]. Bu yöntemde, elde edilen bölütleme işlemi örnek sonuçları için Şekil 19’ a bakınız.



Şekil 19. “TKA”, “süper piksel” yöntemlerinin bölütleme işlemi örnek sonuçları [19]

5. Tartışma ve Sonuç

Derin öğrenme, yapay zekânın bir koludur. Amaç, görüntü işlemlerde daha hızlı, verimli ve en önemlisi otomatik olarak öznelikler çıkarıp ve bunu sonuca yansıtmaktır. Geleneksel yöntemlerde ise bu işlev elle girilmektedir. Derin öğrenme modellerinin belki de en iyi özelliği, bir imgenin sınıflandırılmasında çok sayıda tasarlanan modellerle ve birçok geleneksel yöntemlerin de iç içe kullanılabilmesine olanak sağlamasıdır.

Derin öğrenme modellerini birbiriyle kıyasladığımızda en önemli dezavantajı ise çok sayıda katman sayısından ve parametrelerden oluştuğudur. Kimi derin öğrenme mimarilerin çoğu istiflenerek yani sırasıyla çalışır. Bu durum ne kadar katmanların bazıları kendi yapılarında paralel bir şekilde işlese de derin öğrenme modelinde dezavantaj olarak görülebilmektedir. Mimarilerin karmaşıklığı, elde edilen performansı da olumsuz etkileyebilmektedir.

Sonuç olarak, derlemiş olduğumuz bu makalede, derin öğrenme ile ilgili biyomedikal alanında son zamanlarda yapılan çalışmalar hakkında kısa bilgiler sunuldu. Biyomedikal alanında çalışma yapmak isteyenler için; derin öğrenme modelleri ile kütüphanelerinden temel seviyede bahsedilmiş olup; bu modellerin, geleneksel yöntemlerle kullanılmasından ve elde edilen performans sonuçlarına etkisinden bahsedildi.

Kaynaklar

- [1] J. Zhang, Y. Xia, Y. Xie, M. Fulham, and D. Feng, “Classification of Medical Images in the Biomedical Literature by Jointly Using Deep and Handcrafted Visual Features,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 2194, no. 2, pp. 1–10, 2017.
- [2] S. Koitka and C. M. Friedrich, “Traditional feature engineering and deep learning approaches at medical classification task of imageCLEF 2016,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1609, pp. 304–317, 2016.
- [3] “Makineyle Öğrenme – GPU Hızlandırılmalı Uygulamalar | Tesla Yüksek Başarılı Hesaplama|NVIDIA.” [Online]. Available: <http://www.nvidia.com.tr/object/tesla-gpu-machine-learning-tr.html>. [Accessed: 12-Mar-2018]
- [4] “Keras Documentation.” [Online]. Available: <https://keras.io/>. [Accessed: 12-Mar-2018].
- [5] Y. Jia et al., “Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding,” Jun. 2014.
- [6] “TensorFlow.” [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/>. [Accessed: 12-Mar-2018].
- [7] Ö. R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik, “Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 580–587, 2014.
- [8] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 1–9, 2012.
- [9] M. D. Zeiler and R. Fergus, “Visualizing and Understanding Convolutional Networks arXiv:1311.2901v3 [cs.CV] 28 Nov 2013,” *Comput. Vision–ECCV 2014*, vol. 8689, pp. 818–833, 2014.
- [10] C. Szegedy et al., “Going deeper with convolutions,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 07–12–June, pp. 1–9, 2015.
- [11] S. Wu, S. Zhong, and Y. Liu, “Deep residual learning for image steganalysis,” *Multimed. Tools Appl.*, pp. 1–17, 2017.

- [12] S. Xie, R. Girshick, P. Dollár, Z. Tu, and K. He, “Aggregated Residual Transformations for Deep Neural Networks,” 2016.
- [13] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik, “Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 580–587, 2014.
- [14] A. Kumar, J. Kim, D. Lyndon, M. Fulham, and D. Feng, “An Ensemble of Fine-Tuned Convolutional Neural Networks for Medical Image Classification,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 31–40, 2017.
- [15] T. Valavanis, L.; Stathopoulos, S.; Kalamboukis, “CLEF 2016 | Conference and Labs of the Evaluation Forum,” 2016. [Online]. Available: <http://clef2016.clef-initiative.eu/index.php?page=Pages/cfLabsParticipation.html>. [Accessed: 12-Mar-2018]
- [16] A. Kumar, D. Lyndon, J. Kim, and D. Feng, “Subfigure and Multi-Label Classification using a Fine-Tuned Convolutional Neural Network,” pp. 1–4.
- [17] P. Li et al., “UDELSIS at imageCLEF medical task 2016,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1609, pp. 334–346, 2016.
- [18] D. Semedo and J. Magalhães, “NovaSearch at imageCLEFmed 2016 subfigure classification task,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1609, pp. 386–398, 2016.
- [19] R. Achanta, A. Shaji, K. Smith, A. Lucchi, P. Fua, and S. Süsstrunk, “SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 34, no. 11, pp. 2274–2281, 2012.
- [20] B. Bozorgtabar, S. Sedai, P. K. Roy, and R. Garnavi, “Skin lesion segmentation using deep convolution networks guided by local unsupervised learning,” *IBM J. Res. Dev.*, vol. 61, no. 4, p. 6:1-6:8, 2017.
- [21] “Softmax .” [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/topic/Softmax-function/966784/> [Accessed: 16-Nov-2018].

3B Yazıcı ile PLA Malzemeden Üretilmiş İnce Kirişlerin Yazdırma Yönelim Açısının Doğal Frekans Etkisi

Tuğçe TEZEL^{*1}, Gökmen ATLIHAN², Volkan KOVAN¹, Eyüp Sabri TOPAL¹

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

² Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

^{*1} tugcetezel@akdeniz.edu.tr

(Geliş/Received: 03/05/2018;

Kabul/Accepted: 26/01/2019)

Özet: Üç boyutlu yazıcı ile yazdırılmış parçalar, yazdırma yönelim açısının bir fonksiyonu olarak, malzeme özelliklerinde farklılıklar gösterirler. Ayrıca 3B yazdırma malzemesi olarak kullanılan termoplastiklerin özelliklerinin sıcaklığa, frekansa ve şekil değiştirme hızına bağlı olduğu bilinmektedir. Polilaktik asit (PLA); modeller, ilk örnekler ve kullanılabilen parçalar üretmek için 3B yazdırmada en yaygın kullanılan termoplastiktir. Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcı ile üretilen PLA kirişlerin titreşim özelliklerindeki değişimlerin, yazdırma yönelim açısının bir fonksiyonu olarak deneysel olarak incelenmesidir. PLA ince kirişler üç farklı yazdırma yönelim açısı (0°, 45° ve 90°) ve üç farklı doluluk oranında (%50, %75 ve %100) üç boyutlu yazıcı ile hazırlanmıştır. Deneyler sonucu, 3B yazdırılmış kirişin doluluk oranı azaldığında doğal frekansların düştüğü ve yazdırma yönelim açısının değişmesiyle doğal frekansların da değiştiği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: 3B yazıcı, PLA, Yazdırma Yönelim Açısı, Titreşim, Doğal Frekans.

Effect of Printing Orientation Angle of 3D Printed PLA Thin Beams on The Natural Frequency

Abstract: 3D printed parts exhibit differences in material properties as a function of the print orientation. It is also known that thermoplastics used as 3D printing materials' properties depend on temperature, frequency and speed of deformation. Polylactic acid (PLA) is the most widely used thermoplastic in 3D printing to produce models, prototypes and functional parts. The aim of this work is to investigate the changes in the vibration properties of PLA beams produced by 3D printers as a function of print infill orientation and infill ratio experimentally. PLA thin beams at three different infill orientation angles (0°, 45°, 90°) and three different infill ratios (50%, 75% and 100%) are prepared with a 3D printer. Experiments have shown that natural frequencies decrease when infill ratio in the 3d printed beam decreases and the natural frequencies change with the change of infill angle.

Key words: 3D printer, PLA, Infill Orientation Angle, Vibration, Natural Frequency

1. Giriş

Titreşim, bir denge noktası etrafında salınımların meydana geldiği mekanik bir olgudur. Salınımlar, bir motorun hareketi gibi periyodik veya yol üzerindeki otomobilin hareketi gibi düzensiz olabilir. Bir cep telefonu veya bir hoparlörde titreşim arzu edilse de çoğu durumda titreşim, mekanik bir yapıda hasara neden olacağı için istenmemektedir. Geçmişte tasarımlar oldukça büyük kütlelere sahip ahşap, taş vb. malzemelerden olduğundan, sistemlerin kütleli özelliklerinin yanında titreşim doğurucu dış etkenler önemsiz seviyelerdedir. Günümüzde ise teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilen malzemeler ve imalat yöntemleriyle elde edilen daha hafif tasarımlar ile birlikte titreşimin etkileri daha önemli hale gelmektedir. Özellikle 4. Endüstri devrimi ile birlikte günümüzde hafiflik ve yüksek hız, hem teknik hem de ekonomik tasarım kriterlerini sağlayarak sistemlerde aranan en önemli özellik olmuştur. Bu amaçla hafifleyen tasarımlar ile birlikte, tasarımları hasara uğratacak doğal titreşim frekanslarının tespiti daha önemli bir hal almıştır. Çünkü, uyarıcı dış etkenlerden bir veya birkaçının frekansının sistemin doğal titreşim frekansıyla çakışması halinde hasara neden olan rezonans meydana gelecektir [1]. 4. Endüstri devrimi ile birlikte üç boyutlu yazdırma teknolojisi hızla gelişmektedir. Bu imalat yönteminde bilgisayar destekli tasarım araçları kullanılarak katmanlar halinde malzeme yığılmasıyla katı bir model, ilk örnek veya kullanılabilen parçalar üretilmektedir. Farklı prensipler ile parça imalatı yapılan üç boyutlu yazdırma teknolojileri arasında en ekonomik yöntemlerden bir tanesi ergiyik biriktirme tekniğidir (FDM, fused deposition modeling). FDM ticari kullanımı 1990'lı yıllarda başlamış nispeten yeni bir teknolojidir.

* Sorumlu yazar: tugcetezel@akdeniz.edu.tr Yazarların ORCID Numarası : ¹ 0000-0003-0139-442X ³ 0000-0002-0599-525X ⁴ 0000-0002-3974-060X

Günümüzde birçok araştırmacı tarafından yazdırma süreçleri ve parametrelerinin FDM ile elde edilen numunenin özelliklerini önemli derecede etkilediği rapor edilmiştir.

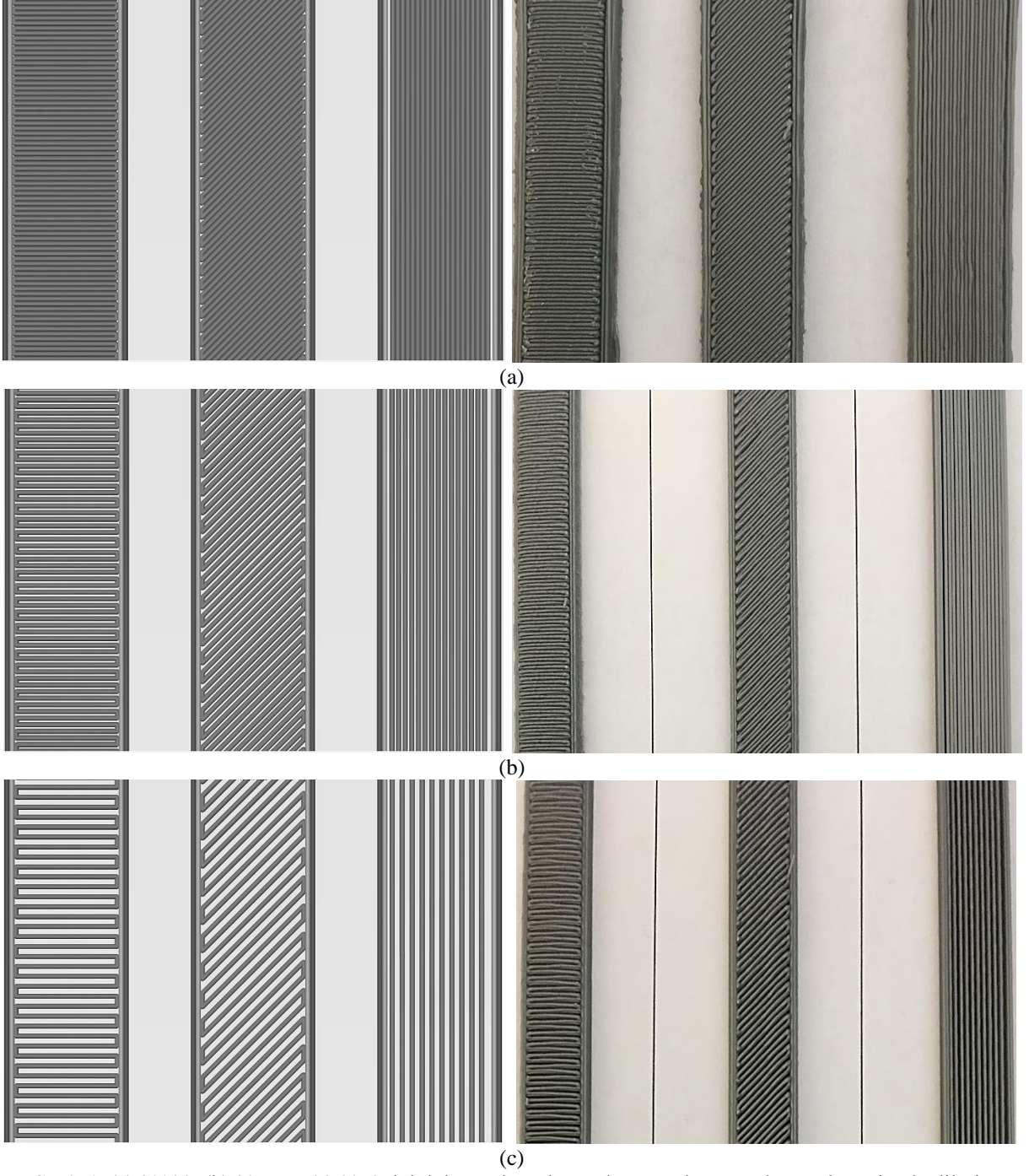
Yapılan literatür araştırmasına göre titreşim davranışı sınırlı sayıda çalışmada incelenmiştir. Chaitanya vd. çalışmalarında FDM tekniği ile ABS termoplastik malzeme kullanarak deney numuneleri imal etmişlerdir. Deney numunelerini yazdırma tablasına üç farklı yönelimde yerleştirmişler ve üç farklı katman kalınlığı kullanmışlardır. Deneyler sonucu farklı yönelimler ve katman kalınlıkları kullanılarak elde edilen numunelerin doğal titreşim frekanslarının birinci titreşim modunda değişmediği, ikinci ve üçüncü titreşim modunda ise değişimlerin önemli seviyelere ulaştığı belirtilmiştir [2]. Yadav vd. ABS malzemeden “I” şeklinde 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığında numuneleri FDM tekniği ile üretmişlerdir. Yazdırma parametresi olarak $0^\circ/90^\circ$ ve $-45^\circ/+45^\circ$ yazdırma yönelim açıları kullanarak titreşim davranışlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucu artan numune kalınlığı ile doğal titreşim frekansının arttığı ve artan kalınlıkla yazdırma tarama açısının doğal titreşim frekansına etkisinin azaldığı ortaya konmuştur [3]. Raffic vd. PET-G ve ABS malzemeleri kullanarak FDM tekniği ile $150 \times 20 \times 6$ mm boyutlarında numuneler yazdırmışlardır. Yazdırma esnasında %50 ve %100 doluluk oranlarını, 0,15mm ve 0,20 mm katman kalınlıklarını, 45 mm/s ve 55 mm/s yazdırma hızlarını deney parametreleri olarak kullanmışlardır. Deneyler sonucu, en düşük titreşim frekansını ABS malzemeden %50 doluluk oranı, 0,15 mm katman kalınlığı ve 55 mm/s yazdırma hızında imal ettikleri numunelerden elde etmişlerdir. En küçük titreşim genliğinin ise PET-G malzemeden %100 doluluk oranı, 0,20mm katman kalınlığı ve 55 mm/s yazdırma hızında imal edilen numuneden elde edildiği ifade edilmiştir [4].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yazdırma yönelimleri ve ABS malzemenin doğal titreşim özellikleri incelenmiştir. Ancak 3B yazdırılmış PLA malzemenin doğal titreşim özelliklerini tanımlayan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı 3B yazdırılmış PLA malzemenin doğal titreşim davranışını karakterize etmektir. 3B yazdırılmış PLA malzemenin anizotropik özelliklerini incelemek için de, farklı yazdırma açılarına sahip numuneler kullanılmıştır. Özellikle, yazdırma yönelimi ve boşlukların değişen açısı ile doğal titreşim frekansının küçülmesi ile çalışma frekansına eşit olması durumunda yapının rezonans girme ihtimali bulunmaktadır. Ortaya çıkabilecek rezonans ve sebep olacağı hasarın önlenmesi için, frekanstaki değişimlerin bilinmesi çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

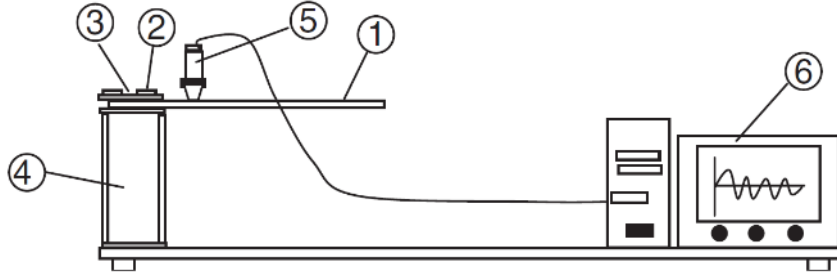
2. Materyal ve Metot

Çalışmada üretilen ince kiriş teorisine uygun $200 \times 10 \times 2$ mm boyutlardaki numuneler, colorFabb firması tarafından üretilen 1,75 mm çapında PLA filament kullanılarak üretilmiştir. PLA organik kaynaklardan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilir bir termoplastiktir. Amorf içyapısı ile PLA, FDM sistemleri için uygun bir malzemedir. Doğal titreşim frekansının ölçüleceği bu numuneler, Zmorph yazıcı kullanılarak imal edilmiştir. 3D yazıcı $250 \times 235 \times 165$ mm boyutlarında bir modeli X ve Y eksenleri için $14 \mu\text{m}$, Z eksen için $0,625 \mu\text{m}$ konumlama hassasiyeti ile imal edebilmektedir. Deney numunelerinin yazdırılmasında, tüm numuneyi tek bir yazdırma yönelim açısında imal edebilmek için özel hazırlanan 3B yazdırma kodları kullanılmıştır. Tüm numuneler, mümkün olduğunca benzer şekilde üretilmek için yazdırma yatağının merkezinde tek seferde yazdırılmıştır. Tüm numuneler için, numune çevresine 2 kabuk kullanılmış ve numunenin iç kısmı, sadece belirlenen yazdırma açılarında (0° , 45° ve 90°) ve %50, %75 ve %100 dolgu kullanılarak yazdırılmıştır. PLA malzeme, 65°C ısıtılmış yazdırma yatağına, 195°C 'de, 40 mm/s hızda ve 0,1mm katman kalınlığında ekstrude edilmiştir. Şekil 1'de doğal titreşim frekansı ölçümünde kullanılan numunelerin yazdırma yönleri ve dolgu oranları görülmektedir.

İnce kirişlerin titreşim analizinde genellikle kirişe bir sinyal verilir ve bu verilen sinyalin titreşim grafiğinden doğal titreşim frekansı hesaplanır. Çalışmadaki ölçümlerde de bu amaçla, Şekil 2'de şematik olarak verilen, 3B yazdırılmış ince kiriş numuneler (1) bir ucundan civatayla (2) tutturulup diğer ucu serbest bırakılarak ankastre haline getirilmiştir. Doğal titreşim frekansı ölçümünde, sinyali alan ivme ölçer (5), sinyali yükseltmesi için bir amplifikatör, veri toplama kartı ve bilgisayardan (6) oluşan test düzeneği kullanılmıştır. Sinyalin analizinde öncelikle titreşim analizi yapılacak olan kirişe kontrollü darbe çekici aracılığıyla bir sinyal uygulanmış ve bu sinyal ivme ölçer tarafından toplanmıştır. Çalışmada kullanılan Wilcoxon marka (model 786C) ivme ölçer ile 1-14000 Hz çalışma frekansı aralığında veriler toplanabilmektedir. İvme ölçerin topladığı sinyaller, amplifikatör ve veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayardaki Advantech marka veri toplama kartı aracılığıyla alınan veriler, “Fast Fourier Transform (FFT)” analizi yapılarak ince kirişin doğal titreşim frekans değerleri hesaplanmıştır.



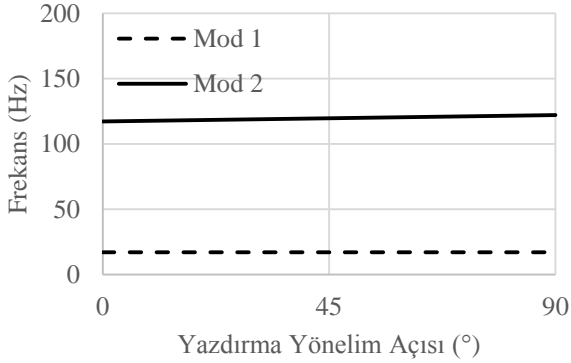
Şekil 1. (a) %100, (b) %75 ve (c) %50 doluluk oranlarında yazdırma açılarının takım yolu ve imal edilmiş numune görünümü



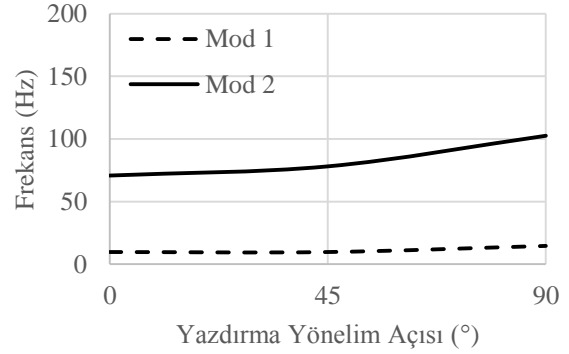
Şekil 2. 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin titreşim ölçümleri için kullanılan deney düzeneği [5].

3. Bulgular ve Tartışma

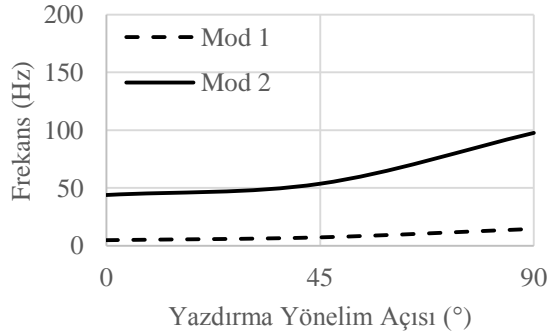
Şekil 3'te farklı doluluk oranlarına sahip 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin ankastre sınır koşulundaki doğal frekans değişimleri görülmektedir. %100 (Şekil 3a), %75 (Şekil 3b) ve %50 (Şekil 3c) doluluk oranı için Mod I ve Mod II verileri üç farklı grafik ile sunulmuştur. Şekil 3a'da görüldüğü üzere, %100 doluluk oranında 3B yazdırılmış numunelerde, yazdırma yönelim açısının değişmesiyle titreşim davranışında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak, doluluk oranının azalmasıyla birlikte, yazdırma yönelim açısı titreşim frekansını etkilemeye başlamaktadır. Yazdırma yönelim açısının doğal titreşim frekansı üzerine etkisinin Mod II'de daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 3b ve 3c'den görüldüğü üzere azalan doluluk oranı ile en yüksek doğal titreşim frekansı değeri 90° yönelim açısında yazdırılmış numunelerde elde edilmiştir. 90° yönelim açısının ardından, 45° yönelim açısı ile yazdırılmış numunelerin doğal titreşim frekansı değeri yüksektir. Doğal titreşim frekansı değeri en düşük olan numuneler ise 0° yönelim açısı ile yazdırılmış numunelerden elde edilmiştir.



(a) %100 doluluk oranı



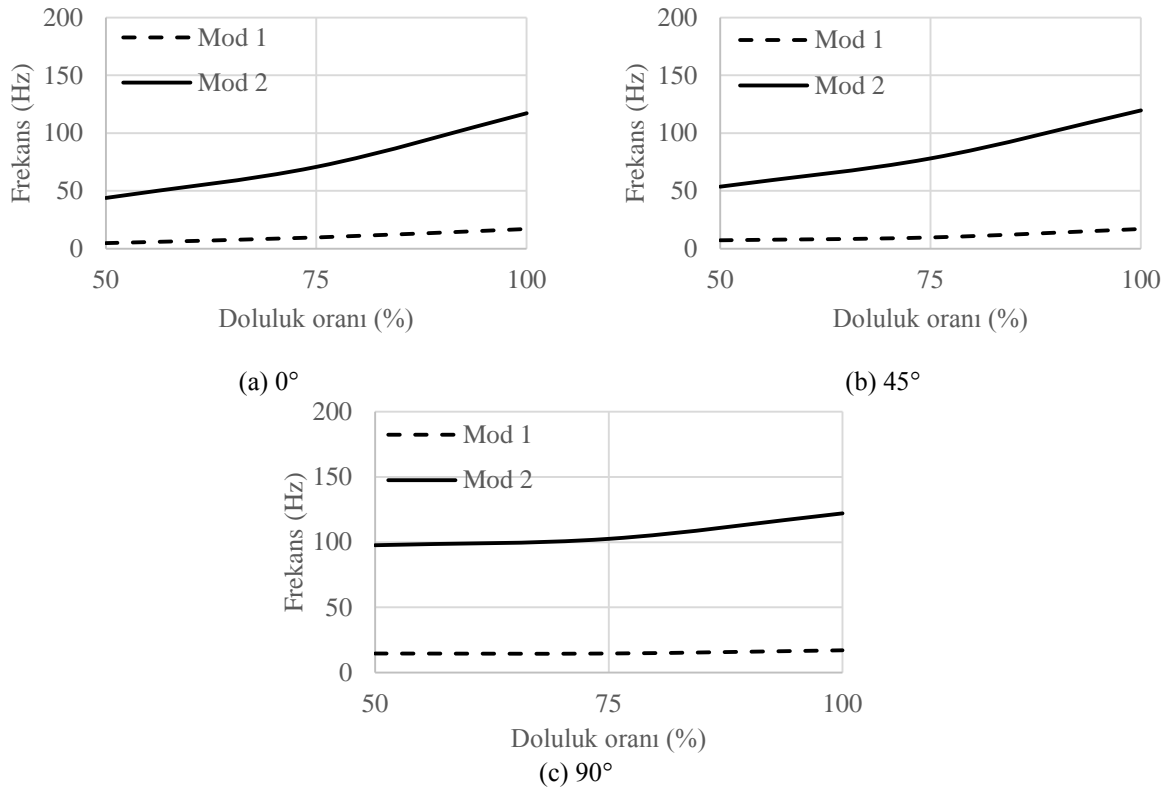
(b) %75 doluluk oranı



(c) %50 doluluk oranı

Şekil 3. Farklı doluluk oranlarında doğal titreşim frekansı Mod I ve Mod II değişimi

Şekil 4'te ise farklı yazdırma yönelim açılarında sahip 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin ankastre sınır koşulundaki doğal frekans değişimleri görülmektedir. 0° (Şekil 4a), 45° (Şekil 4b) ve 90° (Şekil 4c) yazdırma yönelim açıları için Mod I ve Mod II verileri yine üç farklı grafik ile sunulmuştur. Bu üç grafikte de Mod I kesik çizgi ile, Mod II ise düze çizgi ile gösterilmiştir. Her üç grafikte görüldüğü üzere, tüm yazdırma yönelim açılarında 3B yazdırılmış numunelerde, doluluk oranının değişmesiyle titreşim davranışında değişimler gözlemlenmiştir. Ancak, bu değişim 0° ve 45° yazdırma açılarında daha önemli iken, 90° yazdırma açısında daha az belirgin haldedir. Doluluk oranının da doğal titreşim frekansı üzerine etkisinin Mod II'de daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 4a, 4b ve 4c'den görüldüğü üzere değişen yazdırma yönelim açısı ile birlikte en yüksek doğal titreşim frekansı değeri %100 doluluk oranında yazdırılmış numunelerde elde edilmiştir. Ardından sırasıyla %75 ve %50 doluluk oranında yazdırılmış numuneler gelmektedir.



Şekil 4. Farklı yazdırma açılarında doğal titreşim frekansı Mod I ve Mod II değişimi

Gelecek çalışmalarda, 3B yazdırılmış PLA numuneler ile daha fazla titreşim deneyi yapılarak farklı yazdırma yönlerinin ve doluluk oranının yanı sıra, numunelerin katman sayısı ve farklı sıcaklıklar altındaki davranışları da incelendiğinde PLA numunelerin titreşim davranışları daha iyi anlaşılacaktır. Ancak bir başlangıç çalışması olarak bu çalışma 3B yazdırılmış PLA numunelerin titreşim davranışına yazdırma yöneliminin etkisi hakkında önemli bilgiler vermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, üç farklı yazdırma açısı ve doluluk oranında Zmorph 3B yazıcı kullanılarak imal edilen PLA numunelerin titreşim davranışı incelenmiştir. Deneyler sonucu farklı yazdırma yönleri ve doluluk oranları için PLA malzemenin deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- %100 doluluk oranı için yazdırma parametrelerinin doğal titreşim frekansı üzerine etkisi önemsiz seviyelerdedir.
- Mod I ve Mod II doğal titreşim frekanslarının en yüksek değerleri %100 doluluk oranı için elde edilmiştir.
- En düşük doğal titreşim frekansı değeri %50 doluluk oranı ve 0° yazdırma yönelim açısı için elde edilmiştir.

- 3B yazdırılmış numunelerle ilgili daha fazla titreşim deneyi yapılacaksa, farklı katman kalınlıkları ve sıcaklıklar altında yapılmalıdır. Böylece PLA malzemenin titreşim davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlanacaktır.
- Gelecekteki titreşim testlerinde, ölçüm doğruluğunu artırmak için temassız optik ölçme sistemleri kullanılırsa daha hassas doğal titreşim frekansı değerleri elde edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2017-2808 numaralı proje ile desteklenmiştir.

The third International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (3D-PTC2018) kongresinde sunulmuş ve özet olarak yayınlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Atlıhan G. Süreksizlik bölgesine sahip tabakalı kompozit kirişlerin titreşimi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi , Denizli, Türkiye, 2010.
- [2] Chaitanya SK, Reddy KM, Ch SNSH. Vibration Properties of 3D Printed/Rapid Prototype Parts. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol 2015; 4 6): 4602-4608.
- [3] Yadav HM, Kumar GS, Reddy YVM. Experimental and Finite Element Analyses of an I-Shaped Prototype for Different Orientations and Thicknesses. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. 2016 ;5 (9):17058-17063.
- [4] Raffic NM, Ganesh babu K, Kannan MM, Arul Mani G, Nandhu Krishnan R., Midhuvin G. Effect Of Fdm Process Parameters On Vibration Properties. IJMPE. 2017;3 (1): 28-38.
- [5] Atlıhan G, Callioglu H, Conkur ES, Topcu M, Yucel U. Free Vibration Analysis of the Laminated Composite Beams by Using DQM. J. Reinf. Plast. Compos. 2009; 28 (7): 881-892.

Isı Yalıtımında Kullanılan Eps, Xps Ve Taş Yünü İzolasyon Malzemelerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması

Aydın DİKİCİ^{1*} ve Murat KOCAGÜL²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Akdağmadeni, Yozgat, Türkiye

¹adikici1@firat.edu.tr, ²Murat.kocagul@bozok.edu.tr

(Geliş/Received: 04/05/2018;

Kabul/Accepted: 15/12/2018)

Özet: İnsan nüfusu tüm dünyada giderek çoğalmakta ve enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Türkiye de tüketilen enerjinin %31'inin konutlarda kullanıldığı düşünüldüğünde, binalarda enerji tasarrufunu artıracak çalışmaların yapılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada; Elazığ ilinde kullanılan farklı türden yalıtım malzemelerinin (EPS, XPS, Taş Yünü) ısı transferine etkisi ve kullanılabilirlikleri incelenmiştir. Elazığ Fırat Üniversitesi içerisinde 4 türdeş deney odası yapılmış olup içerisi eşit şekilde soğutulmuştur. Deney odasından biri yalıtımsız olarak diğer üç oda Elazığ ilinde yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleriyle kaplanmıştır. Yalıtımsız ve yalıtımlı deney odalarından iç ortam, dış ortam, iç yüzey, dış yüzey ve yalıtımlı profillerde yalıtım ile duvar arasında ölçüm alınmıştır ve ayrıca güneş ışınım şiddeti, nem miktarı ve rüzgâr hızı ölçülmüştür ve bu ölçümler sonucunda Elazığ ili için en ideal yalıtım malzemesi belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, yalıtımlı şartlarda iç ortam sıcaklıklarının taşıyıcı malzemesi kullanıldığında 9-12 °C, XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 13-15 °C ve EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında ise 15-17 °C arasında değiştiği görülmüştür. Yalıtımsız deney odası için ise iç ortam sıcaklıkları 26-29 °C arasında olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtım malzemeleri, Isı yalıtımı, Isı transferi

Experimental Comparison Of Eps, Xps And Stone Wool Insulation Material Used In Heat Insulation

Abstract: Human population is growing all around the world and energy consumption is increasing rapidly. When it is considered that 31% of energy is consumed by housing in Turkey, we can see the importance of studies which will increase energy conservation in the buildings. For this purpose, in this study; different kinds of materials (EPS, XPS, Rockwool) that are used in Elazığ usabilities and effects of insulation materials to the heat transfer is examined. Four homogeneous test room was made in Fırat University, Elazığ and they were equally cooled. One of the rooms was used without insulation material and the other three rooms were covered with insulation materials that are commonly used in Elazığ. Internal environment, external environment, inner surface and outer surface measurements were taken from insulated and uninsulated test rooms and in insulated profiles measurements were taken between the wall and insulation. Also solar radiation, moisture amount and wind speed was measured and according to the results of these measurements ideal insulation material for Elazığ was determined. As a result of the experiments, it was seen that the indoor temperatures were 9-12 °C when the rockwool material was used, 13-15 °C when using XPS insulation material and 15-17 °C when EPS insulation material was used. For the uninsulated test chamber, the indoor temperatures were between 26-29 °C.

Key Words: Heat insulation materials, Heat insulation, Heat transfer.

1. Giriş

İnsanlığın var oluşundan bu yana, yaşam gereksinimlerinin karşılanması için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkelerin hızla kalkınması ve üçüncü dünya ülkelerinin de modern enerji kaynaklarına ulaşması sonucunda dünya toplam enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve nihayetinde enerji, çağımızın en önemli stratejik değeri haline gelmektedir [1].

Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece %5 kadar artmış olmakla beraber, Türkiye'de son 25 yıldaki artış oranı %100 rakamının üzerindedir. Türkiye'nin enerji üretimi resmi rakamlara göre 1990 yılında toplam ihtiyacının %50 kadarını karşılarken; günümüzde sadece %30'unu karşılayabilmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin ortalama %41'i konutlarda, %33'ü sanayide, %20'si ulaşımda, %5'i tarımda ve %1'i diğer alanlarda kullanılmaktadır. Tüketilen tüm bu enerjinin yaklaşık %85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Görülmektedir ki, enerji kullanımının en yoğun olduğu binalar konutlardır. Bu

* Sorumlu yazar: adikici70@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4892-2277, ² 0000-0002-4703-2865

nedenle ısıtmanın istendiği dönemde ısı kayıplarının minimize edilmesi; konutlarda ısı yalıtımı kullanarak enerji tasarrufunu gerçekleştirmek ile mümkündür [2].

Türkiye için tüketim miktarlarımız, Avrupa ve Amerika ile karşılaştırıldığında bu konuda oldukça geride olduğumuz ve bu sorumluluğu ulus olarak sahiplenmemiz gerektiği ortaya çıkmaktadır. Örneğin aynı metrekareye sahip Türkiye'deki bir konut, daha kuzey enlemlerde yer alan Almanya'daki ya da Amerika'daki bir konut ile karşılaştırıldığında 2,5–3 kat daha fazla enerji tüketiminin olduğu görülmektedir. Almanya'da 100 m²'lik bir konutun kışlık yakıt tüketimi 280 m³ doğalgaz iken, ülkemizde 1800 m³ doğalgazdır. Bu karşılaştırmalardan da görebileceğimiz gibi, konutlarımızda çok daha az enerji tüketerek konfor şartlarını sağlamamız mümkün iken, bize gerekli enerji miktarının yaklaşık 5 katını israf etmekteyiz. Aynı şey yazın soğutma giderlerimizi de kontrol edemememize yol açmakta ve çok fazla elektrik tüketimine neden olmaktadır [3].

Enerji giderlerinin önemli bir bölümünün bina sektöründe gerçekleştirildiği ülkemizde, enerji verimliliği çözüm geliştirilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Avrupa Birliğine katılmayı hedefleyen ülkemiz, teknolojik ve sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmak için yoğun bir çaba harcamakta, bu çabada en önemli engellerden biri de enerji tüketimindeki açık olmaktadır. Ülkemizde nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme gibi olgular enerji tüketimini geçmişe göre hızla arttırmaktadır. Ancak, ülkemizde verimlilik kavramına yeterince önem verilmediğinden, enerjinin verimli kullanılması bir yandan enerji israfına ve ithalata yol açmakta diğer taraftan da çevre kirliliğine neden olmaktadır [4].

Isı bir enerjidir ve genellikle olduğu ortamda kullanılması pek uygun değildir. Bu nedenle, enerjinin çeşitli yollarla başka bir bölgeye taşınması istenir. Isı enerjisi, ortam moleküllerinin hareketi nedeniyle çevreye etkisini gösterir. Enerji kaynağı olduğu sürece, moleküllerin hareketi durdurulamaz ve sürekli olarak çevreye yayılır. Isının transferi ancak iki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkı bulunduğu zaman gerçekleşir [5]. Sıcaklık bir cisimdeki moleküler hareketin artmasıyla yükselen skaler bir büyüklüktür. Bir cismi oluşturan atomlar ya da moleküller, ortam sıcaklığının artışına bağlı olarak titreşimlerini artırır ya da ortam sıcaklığının azalışına bağlı olarak titreşimlerini azaltır. Başka bir deyişle, bu titreşimin artması fiziksel olarak cismin sıcaklığının artması şeklinde kendini gösterir [6]. Kışın konfor şartlarını sağlamaya çalıştığımız daha sıcak iç mekânlardan dış ortamlara doğru, yazın ise daha sıcak dış ortamlardan konfor şartlarını sağlamaya çalıştığımız iç mekânlara doğru bir ısı geçişinin olması kaçınılmazdır [7].

Binalarımızda ısı kayıpları her yönden olmaktadır. Dört katlı bir binayı incelediğimizde ısı kayıplarının yaklaşık %25'i çatıdan, %60'ı duvarlardan, %15'i de döşemeden kaçmaktadır. Binalarda kat yüksekliğinin artması, duvar yüzey alanını büyüteceğinden, duvardan kayıpları oran olarak arttırmaktadır. TS825'in yeni projelerde uygulanmaya başlanması, faydalarının yalıtımsız binalarda yaşayan kişilerin sıkıntı çektikleri konulara çözüm olduğunun görülmesi, ısı yalıtımının da kendisini 3–4 sene içinde amorti edeceğinin bilinmesi yaşanan konutlardaki yalıtım taleplerini her geçen gün arttırmaktadır [8].

Çalışmalarında, binaların ömrünü uzatmak ve değerini korumak için, binaların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması gerektiğini belirtmiştir. Bu hususta dikkat edilmesi gerekenlerin başında, yalıtım ve doğru malzeme seçimi gelmektedir. Binalarda iç ve dış ortamı birbirinden ayıran ve bina zarfı olarak tanımlanan duvarlar, pencereler, kapılar, tavan, çatı ve döşemelerden oluşan yapı elemanlarını dış etkilere koruması gerektiğinden bahsedilmiştir [9].

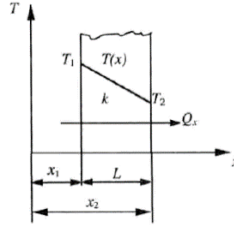
Görüldüğü üzere binalarda ısı kayıplarının yüzdelik değerleri verilmiştir ve bu değerlerden yarım fazlasını duvarlardan olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmam da Elazığ ilinde yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinden EPS, XPS, Taşyünü kullanılarak farklı yalıtım malzemelerinin aynı şekillerde uygulanarak en uygun yalıtım malzemesinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bina duvarlarındaki ısı kayıplarının temel konularında olan yalıtım malzemelerinin çeşitliliği ve en uygun olanını tespiti ile ilgili literatürde ulusal ve uluslararası birçok yayın mevcuttur. Aralarında Elazığ ilinin de bulunduğu ülkemizde birçok il için yalıtım kalınlığıyla ve çeşitliliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda derece gün yöntemi, ömür maliyet analizi başta olmak üzere sayısal yöntemler kullanılmıştır. Binalardaki ısı kayıplarının deneysel çalışması ile ilgili olarak ve farklı yalıtım malzemelerinin aynı ortamda aynı şartlarda kullanılarak gerekli deneysel ölçüm ve analizleri yapmak ve kıyaslama yapıldıktan sonra Elazığ ili için uygun yalıtım malzemesinin tespit yöntemi hesaplanmamıştır. Bu alandaki deneysel çalışmaların eksikliği ve Elazığ ilinde böyle bir uygulamanın bulunmaması proje çalışmalarımızı bu yönde geliştirmiştir. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda enerjinin büyük bir bölümünün sanayi ve konutlarda harcandığı görülmektedir. Konutlarda harcanan enerjide en büyük payı ısıtma-soğutma için harcanan enerji oluşturmaktadır. Bundan dolayı belirli tedbirler alınmaktadır ve alınan tedbirlerinden biri de binalarda ısı yalıtım

ile uygulanan enerji tasarrufudur. Yapmış olduğumuz bu deneysel çalışma, kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin Elazığ ilinde kullanılan binalarda en uygun olanının tespit edilmesine yöneliktir [10].

1.1. Isı İletimi

İletim, bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılması olarak düşünülebilir. Isı geçişi; doğrultuya, yöne ve şiddete sahip olduğundan vektörel bir büyüklüktür. Basit geometrilerden, iki yüzeyi farklı sıcaklığa sahip olan düzlem duvarda geçen ısı miktarı, Fourier ısı iletim kanununa göre hesaplanabilmektedir. Düzlem duvarda ısı geçişinin fiziksel yapısı Şekil 1 'de gösterildiği gibidir [11-12]. Düzlem duvarda, x yönünde geçen ısı akısı denklem 1.1 'deki gibi ifade edilir;



Şekil 1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi [11].

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Isı akısı q_x (W/m^2), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı (dT/dx) ile doğru orantılıdır. k ısı iletim katsayısı (W/mK) olarak adlandırılır ve duvar malzemesi ile ilişkilidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur [11-12]. Burada T ($^{\circ}C$) sıcaklığı, L (m) ise duvar kalınlığıdır. Şekil 1 'de gösterildiği gibi, sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradyanı,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

olarak ifade edilebilir ve ısı akısı da;

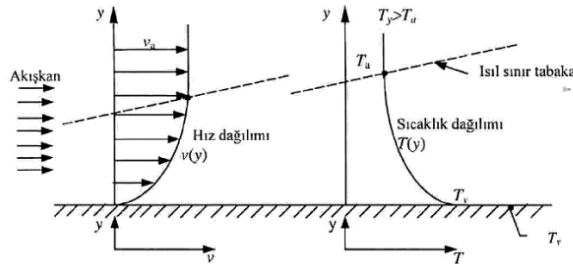
$$q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitliğin, ısı akısını, yani birim yüzeyden, birim zamanda geçen ısıyı verdiğine dikkat edilmelidir. Böylece, yüzey alanı A (m^2) olan düz bir duvardan birim zamanda geçen ısı, akı ile alanın çarpımına eşittir [11-12].

$$Q = q_x \cdot A \quad (4)$$

1.2. Taşınım

Taşınım; katı bir yüzeyle onun temas ettiği akışkan bir ortam arasında gerçekleşen ısı geçişidir. Taşınım ile olan ısı geçişi, sıcaklığın değişken olduğu ısı sınır tabaka içinde gerçekleşmektedir.



Şekil 1. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları [13].

Şekil 2 'de görüldüğü gibi T_y sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan T_a sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçişi ifadesi 1701 yılında Newton tarafından verilmiştir. Bu ifade;

$$q = h(T_y - T_a) \quad (5)$$

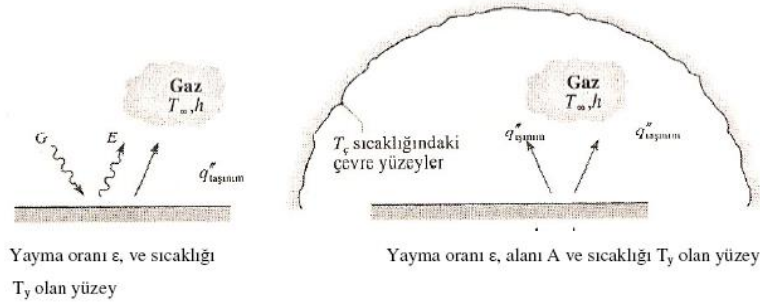
Şeklinde gösterilir. Burada, taşınım ısı akısı q (W/m^2), yüzey ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark ($T_y - T_a$) ile doğru orantılıdır. Bu ifade; Newton'un Soğutma Yasası olarak bilinir ve h (W/m^2K) ısı taşınım katsayısı olarak adlandırılır. Bu değer, yüzey geometrisine, akışkan hareketinin türüne ve akışkanın bazı termodinamik ve aktarım özelliklerine göre belirlenen sınır tabakadaki koşullara bağlıdır [11-12].

1.3. Işınım

Işınım; maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığı ile gerçekleşen ısı geçişidir [11-12]. İletim veya taşınım ile enerji aktarımı, bir maddi ortamın varlığını şart kılarken, ısınım için bu şart yoktur. Hatta ısınımla aktarım, boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir. Şekil 3 'te gösterildiği şekilde yüzey için ısınımla ısı geçişi göz önüne alındığında yüzeyin yaydığı ısınım, yüzeyin sardığı cismin ısı enerjisinden kaynaklanır ve birim zamanda birim yüzeyden serbest bırakılan enerji (W/m^2) yüzeyin yayma gücü E olarak adlandırılır. Yayma gücünün, Stefan-Boltzmann yasası ile tanımlanan bir üst sınırı vardır;

$$E_b = \sigma T_y^4 \quad (6)$$

burada, T_y , yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) olup σ , Stefan-Boltzmann sabitidir ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$). Böyle bir yüzey, ideal ısınım yayıcı veya siyah cisim olarak adlandırılır.



Şekil 2. Işınım ile ısı alışverişi (a) bir düzeyde (b) bir yüzey ile daha büyük çevre yüzeyler arasında [14].

Gerçek bir yüzeyin yaydığı ısı akısı, aynı sıcaklıkta bulunan bir siyah cismin yaydığından daha azdır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir;

$$E_b = \epsilon \sigma T_y^4 \quad (7)$$

burada ϵ , gerçek yüzeyin yayma gücünün, aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin yayma gücüne oranı olup; ısınım yayma oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayı siyah cisimler için "1", beyaz cisimler için ise "0" kabul edilir [11-12]. Alanı A olan T_1 sıcaklığındaki bir siyah yüzey, T_2 sıcaklığındaki diğer bir siyah yüzeyle çevrilmişse ısınım ile ısı geçişi (Q),

$$Q = A\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

şeklinde dir. Eğer yüzeylerden birisi siyah yüzey değilse ($\epsilon \neq 1$)

$$Q = \epsilon A\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (9)$$

bağıntısı geçerli olur.

2. Materyal ve Yöntem

Isı yalıtımında ideal yalıtım malzemesi kullanılmasının deneysel araştırılması projemizde Elazığ ilinde yaygın olarak kullanılan üç farklı yalıtım malzemesi (EPS, XPS, Taşyünü) arasında en uygununun deneysel tespiti yapılmıştır. Bunun için öncelikle Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi kuzey tarafında açık alan üzerine kurulmuş olan ve herhangi bir gölgeleme olmayan boş bir alana 4 türdeş deney odası kurulmuştur.



Şekil 4. Deney odalarının son halinin görünüşü

Kurulan deney odalarından biri yalıtımsız diğerleri farklı yalıtım malzemeleri (XPS, EPS, Taşyünü) ile kaplanmıştır. Deneysel veriler temmuz-ağustos aylarında alındığından deney odası içi dış ortamdan daha düşük sıcaklığa düşürülmesi planlanmıştır. Bu şekilde bina yalıtımının soğutmaya etkisi incelenmiştir. Bunun için içlerine yerleştirilen soğutucu sistem dört türdeş deney odası için aynı soğutucu kompresör kullanılarak eşit miktarda soğutulmuştur. Daha sonra kullandığımız ısı yalıtım malzemeleri binamızın dış yüzeyine Şekil 4 'te gösterildiği gibi kaplanmıştır (mantolama). Yalıtım malzemeleri kaplama işlemi sırasıyla şu şekilde yapılmaktadır: bina dış yüzeyi yalıtım malzemesi ile kaplanmadan (mantolama) önce uygulama yapılacak yüzey, toz ve yağ gibi yapışmayı engelleyici maddelerden arındırıldı. Döküntülü ve kabarmış yüzeyler fırçalanarak temizlendi. Isı yalıtım levhalarının yapışacağı yüzey düzgün hale getirildi. Isı Yalıtım plakalarının yapıştırılacak yüzüne, tamamen kaplayacak şekilde yapıştırıcı sürüldü. Daha sonra bu yüzey taraklı mala ile tarandı. Yapıştırma harcı uygulanmış plakalar, arasında boşluk kalmayacak ve şaşırtmalı bir şekilde duvara yapıştırıldı. Muhtemel ısı köprülerinin oluşmaması için boşluk bırakılmamasına dikkat edildi. Köşelerde, rüzgâr ve su etkileri ile plakalar arasında zamanla oluşabilecek ayrılma risklerini önlemek ve düzgün bir köşe oluşturmayı kolaylaştırmak için köşe profilleri uygulandı. Yapıştırma işlemine ilave olarak, levhaların sürekliliğini ve performansını uzun ömürlü bir şekilde sürdürmesi için, ısı yalıtım plakaları bina duvarlarına dübel yardımı ile sabitlendi. Dilatasyon, damlalık ve denizlik profilleri gerekli bölgelerde kullanıldı. Isı plakalarının üzerine ilk kat sıva atıldı. İlk kat sıvayı hemen takiben donatı filesi birbirlerinin üzerine 10' ar cm geçmek şartıyla, sıvanın üzerine hafifçe gömülerek yerleştirildi. Sıva kurumadan, ikinci kat kapama sıvası yapıldı.

Yalıtım malzemeleri belirlenmeden önce Elazığ TMMOB, Elazığ Belediyesi Yapı Kontrol Müdürlüğü ve Elâzığ ilinde üretim yapılan yalıtım fabrikası müdürüyle görüşülmüş olup TS825 standartlarına uygun ve Elâzığ ilinde kullanılan 7 cm kalınlıklarındaki ısı yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, Taş yünü) kullanılmıştır. EPS, XPS ve Taşyünü kaplanarak (mantolanarak) ısıl çiftler yardımıyla iç ortam, iç duvar yüzeyi, dış ortam, dış duvar yüzeyi, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, nem miktarı ölçülmüştür. Deneyler sabah saat 8:30 'da başlayıp akşam saat 19:00 'da bitirilmiştir. Dört deney odası için ölçümler yarım saat aralıkları ile aynı anda alınarak kaydedilmiştir.

2.1. Taşyünü

Yerli olarak temin edilen inorganik hammaddelerin 1350 °C-1400 °C'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir [15].

- Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir.
- Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve akustik düzenleme ile birlikte yangın güvenliğide sağlamaktadır.
- Isı iletkenlik beyan değeri $0,035 \leq \lambda \leq 0,040$ W/mK 'dir.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -50/+600, -50/+650 °C aralığındadır.

- Sıcaklığı ve rutubete maruz kalması halinde dahi, boyutlarında bir değişme olmaz.
- Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez.
- Higroskopik ve kapiler değildir.
- TS EN 13501-1'e göre "yanmaz malzemeler" olan A1 sınıfındadır.
- Saint-Gobain Isover Grönzweig+HartmannAlmanya Sillan Lisansı ile üretilmektedir.
- bVQI tarafından verilen ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetimi Sistemi, OHSAS 18001 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Sertifikalarına sahip tesislerde üretilmektedir.
- TS EN 13162 Standardına tabi İzocam Taşyünü ürünler, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) çerçevesinde CE işareti taşımaya haizdir.

2.2. XPS (Ekstrüde polistiren)

Polistiren hammaddesinden ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve basma mukavemetinde, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha olarak üretilmektedir. Teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir [15].

- Isı yalıtımı maksadıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik beyan değeri $0,030 \leq \lambda \leq 0,035$ W/mK'dir.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=90-100$ 'dür.
- Kullanım sıcaklığı $-50/+75$ °C aralığındadır.
- %100 kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olup bünyesine su almamaktadır.
- Kapiler emiciliği yoktur. Basma dayanımı çok yüksektir.
- TS EN 13501-1'e göre E sınıfındadır.
- bVQI tarafından verilen ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetimi Sistemi, OHSAS 18001 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Sertifikalarına sahip tesislerde üretilmektedir.
- TS EN 13164 Standardına tabi İzocam Foamboard ürünler, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) çerçevesinde CE işareti taşımaya haizdir.

2.3. EPS (Ekspande Polistiren)

Polistiren hammaddesinin, su buharı ile teması sonucu, hammadde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişirmesi ve birbirlerine yapıştırması sonucu meydana gelmektedir. Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde levha ve kalıp olarak üretilmektedir. Teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir [15].

- Isı yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik beyan değeri $0,032 \leq \lambda \leq 0,040$ W/mK'dir.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu = 20-100$ 'dür.
- Kullanım sıcaklığı $-50/+75$ °C aralığındadır.
- Kapiler emiciliği yoktur.
- Asit ve baz kimyasallara dirençli olmasına karşın, baca gazları, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı hassastır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır.
- TS EN 13501-1'e göre E sınıfındadır.
- bVQI tarafından verilen ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetimi Sistemi, OHSAS 18001 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Sertifikalarına sahip tesislerde üretilmektedir.
- TS EN 13163 Standardına tabi İzocam EPS ürünler, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) çerçevesinde CE işareti taşımaya haizdir.

Deneylerde kullandığımız ısı yalıtım malzemeleri kalınlık yoğunluk ve ısı iletkenlik gibi temel bilgileri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Isı yalıtım malzemesi özellikleri

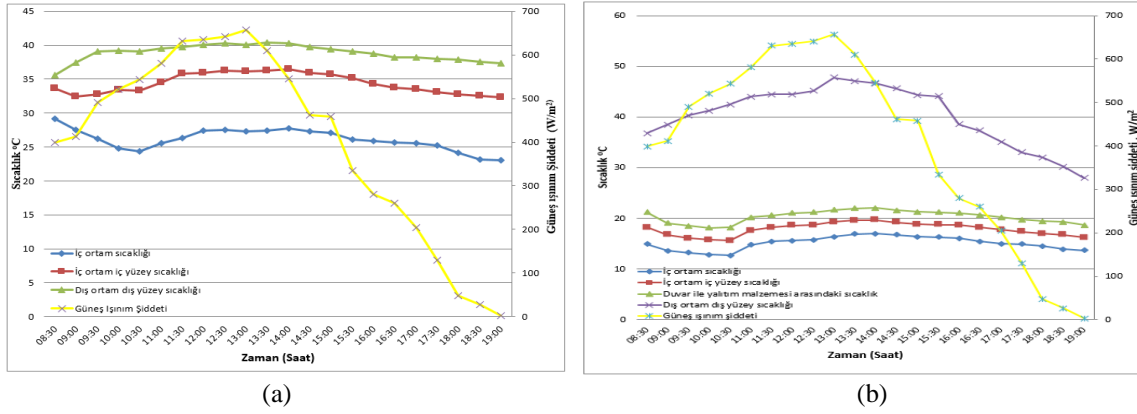
	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik değerleri (W/mK)
EPS	7	16	0,039
XPS	7	30	0,036
Taşyünü	7	52	0,035

Deneylerde sabit soğutmayı sağlamak için, ısıl kontrolü oldukça hassas olan bir soğutucu sistem kullanılmıştır. Ölçümlerde K tipi ısıl çiftler kullanılmıştır. Zaman bağı olarak istenilen anda anlık sıcaklık değeri bu şekilde okunmuştur. Deneyler esnasında ayrıca dış ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti, nem miktarı ve rüzgâr hızı ölçümleri de yapılmıştır. Deneylerde, içten dışa doğru ortam sıcaklıkları, duvar iç dış yüzey sıcaklıkları ve yalıtım malzemesi ile duvar arasındaki ara yüzey sıcaklıkları eşit zaman aralıkları ile ölçülmüştür. Deneyler sonunda bu sıcaklıklar incelenmiş grafikler halinde sunulmuştur.

Duvar sıcaklıkları incelendiğinde yalıtımsız duvarların yalıtımlı duvarlara göre daha sıcak olduğu dış ortamdaki ısı geçişinin belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Yalıtımlı duvarlarda ise iç ortam ile dış ortam arasındaki farkın daha belirgin olduğu ve ısı geçişinin daha az olduğu görülmektedir.

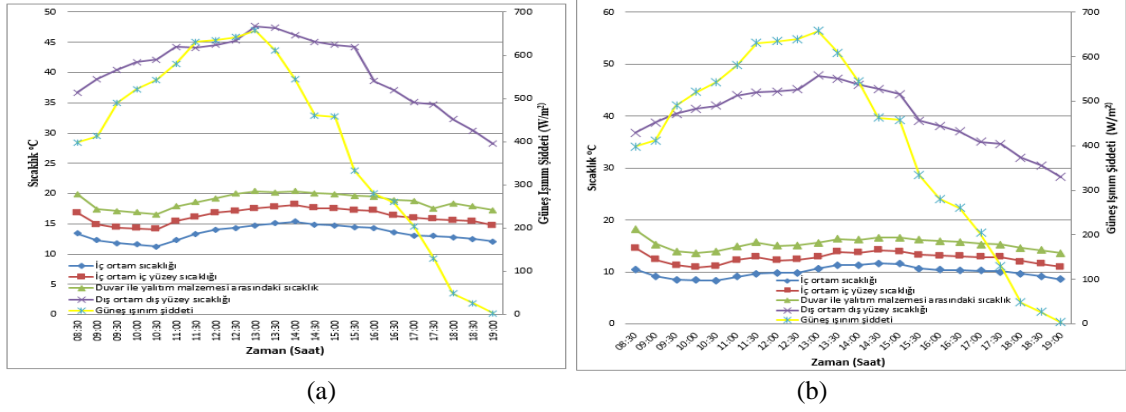
3. Sonuçlar ve Tartışma

Yalıtımsız deney odası için ise iç duvarlarındaki yüzey sıcaklıkları 26-29 °C arasında olduğu görülmüştür. Yalıtımsız duvarlarda ısı geçişi fazla olduğundan iç ortam sıcaklığını düşürmek için kompresörün daha fazla güç sarf ettiği gözlenmiştir. Yalıtımsız deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti değerleri Şekil 5(a)'da gösterilmektedir. Saat 19:00 da en son alınan ölçüm değerinde iç ortam sıcaklığı 23 °C olarak ölçüldüğü görülmektedir. EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında deney odası iç ortam sıcaklığının 15-17 °C arasında değiştiği Şekil 5(b)'de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi saat 19:00 'da alınan son ölçüm değerine göre iç ortam sıcaklığı 15 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. a) Yalıtımsız deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti, b) EPS Kaplı deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti.

XPS Kaplı deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti grafiği Şekil 6(a)'da görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi saat 19:00 'da alınan son ölçüm değerine göre iç ortam sıcaklığı 13 °C 'dir. Deneyler süresince iç ortam sıcaklığı 13-15 °C arasında değişmektedir. Taşyünü kaplı deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti değerleri Şekil 7(b)'de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere iç ortam sıcaklığı 9-12 °C arasında değişmektedir. Günün sonunda saat 19:00 'da alınan son ölçüm değerinde ise iç ortam sıcaklığı 9 °C 'dir.



Şekil 6. a) XPS Kaplı deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti, b) Taşyünü kaplı deney odası için zamana bağlı sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti.

Bu çalışmada, ısı kavramıyla ilgili genel bilgiler verilmiş, ısı yalıtım malzemelerinin (EPS, XPS, Taşyünü) özellikleri anlatılarak sınıflandırılmıştır. Soğutma sistemi kapatıldıktan sonra iç ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesi kaplı deney odalarında daha uzun süre istenilen değerlerde kalmıştır. Yalıtımsız ortamda ise ısı geçişinin yüksek olmasından dolayı iç ortam sıcaklığı daha yüksek değerlerde olmaktadır. Tüm deney ölçümlerinde en iyi sonuç Taşyünü kullanımıyla elde edilmiştir. Taş yünü sırasıyla XPS ve EPS takip etmektedir.

Kaynaklar

- [1] 2005-2006 Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi ISSN 1301-6318, Aralık 2007.
- [2] Sezer, F., Ş. Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, (2005).
- [3] Aşkar, M.A., 2006. *Isı Yalıtımı ve Konutlarda Enerji Verimliliği*, İzolasyon Dünyası, 55. sayı, 54–58.
- [4] Yalçın, A.H., Elazığ ilinde kullanılan Farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ekonomi analizi. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, (2012) Elazığ.
- [5] ALTINIŞIK, K., Isı Yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Ağustos 2006.
- [6] TOYDEMİR, N., GÜRDAL E., TANAÇAN L., Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayınları, 2004, İstanbul.
- [7] Candan, N., Isı yalıtım sistemleri ve özelliklerinin karşılaştırılması Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi. 2007.
- [8] Rubacı, E., 2006. Konutlarda Enerji Tasarrufu, İzolasyon Dünyası, Sayı 58, 54–55.
- [9] Altınışik, K., 2006. “Isı Yalıtımı”, Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No:954, 1.Basım, Ağustos, Ankara.
- [10] Kocagül, M., Isı yalıtımında ideal yalıtım malzemesi kullanılması deneysel araştırılması. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, (2013) Elazığ.
- [11] Halıcı F., Gündüz M., 1998, Örneklerle ısı geçişi, Nil Matbaacılık, Sakarya.
- [12] Yüncü H., Kakaç S., Temel ısı transferi, Bilim Kitabevi, 1999, Ankara.
- [13] Altınışik, K., Isı yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtım, 2006
- [14] Öztürk, A., Yavuz H., Uygulamalarla ısı geçişi, Çağlayan Kitabevi, 1995, İstanbul.
- [15] <http://www.izocam.com.tr>

Rp-Lidar ve Mobil Robot Kullanılarak Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama

Selman AKYOL¹, Ayşegül UÇAR^{2*}

¹ Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İzmir, Türkiye

² Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ sakyol@thk.edu.tr, *² agulucar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 09/05/2018;

Kabul/Accepted: 18/02/2019)

Özet: Tehlikeli olan veya insanlar tarafından ulaşılması zor olan yerlerde gerekli işlemleri yapabilmek için otonom robotlar kullanılır. Otonom robotların bu işi yapabilmesi için öncelikle çevresini ve kendi konumunu bilmesi gereklidir. Bilinen bir ortam ise, önceden hazırlanan harita otonom robota yüklenir ancak bilinmeyen bir ortam ise, eş zamanlı olarak hem ortamın haritasını hem de kendi konumunu belirlemesi gerekir. Bu çalışmada, Linux’da Robot İşletim Sistemi (ROS-Robot Operating System) yardımıyla, Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM-Simultaneous Localization and Mapping) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için, Kobuki firması tarafından üretilen Turtlebot mobil robotu kullanılmıştır. İlk uygulamada, Turtlebot bilgisayar USB arabirimi ile manuel olarak kontrol edilmiştir. Ortam haritasının çıkarılması ve robotun konumunu belirlemesi için lazer ile mesafe ölçümü yapan LIDAR sensörü kullanılmıştır. SLAM için istatistiksel kestirim yöntemlerinden biri olan Kalman Filtresi tabanlı Parçacık Filtresi uygulanmıştır. Bu yöntem için ROS içerisine Gmapping algoritması yüklenmiştir. İkinci uygulamada, ROS kullanılarak Turtlebot’un kontrolü otonom bir şekilde gerçekleştirilmiş, deney ortamının haritası aynı zamanda konumunu da belirlenerek çıkarılmıştır. Tüm uygulamalar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekillerle verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama algoritmaları, Lidar, Kalman filtresi, Parçacık filtresi, Robot işletim sistemi.

Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robots Using Rp-Lidar

Abstract: Autonomous robots are used to perform necessary operations in areas that are dangerous or difficult to reach or accessible by people. In such a case, the robots must first know its surroundings and position in order to be able to do the necessary work. If it is a known environment, its map is loaded to autonomous robot. On the other hand, robot should simultaneously determine both the map of the environment and its own location. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) was performed by using Robot Operating System (ROS) in Linux. For this purpose, Turtlebot mobile robot, manufactured by Kobuki company, was used. In the first application, Turtlebot computer was manually controlled via USB interface. The Lidar sensor, which measures the laser distance, was used to extract the environment map and determine the position of the robot. Particle filter based on Kalman filter was used for SLAM. For this method, the Gmapping algorithm was loaded into the ROS. In the second application, Turtlebot was controlled autonomously using ROS and the experimental environment was also mapped by determining its position at the same time. All applications were successfully carried out. The obtained results were illustrated in figures.

Keywords: Simultaneous localization and mapping algorithms, Lidar, Kalman filter, Particle filter, Robot operating system.

1. Giriş

Otonom robotlar endüstri dışında insanların giremeyeceği yerlere veya insanlar için çok tehlikeli olduğu düşünülen yerlere gönderilerek araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin deprem sonrası hasarlı binalarda, karanlık ve keşfedilmemiş mağaralarda, okyanus derinliklerinde veya aktif volkanların çevresinde gerekli araştırmalar yapmak için otonom robotlar kullanılabilir. Gerekli araştırmaların yapılabilmesi ve uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için, ortamın robot tarafından tanınması ve robotun ortam içinde nerede olduğunu bilmesi önemlidir.

Bilimsel yazında yukarıda bahsedilen bu durumlar Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM-Simultaneous Localization and Mapping) problemi olarak adlandırılmaktadır. SLAM problemi kısmen bilinen ya da hiç bilinmeyen bir ortamda eş zamanlı olarak haritalama ve konum belirlemenin yapılması olarak tanımlanır. SLAM hakkındaki ilk çalışma 1987 yılında Smith ve Cheesman tarafından başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir [1-5].

* Sorumlu yazar: agulucar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-1910-7671, ² 0000-0002-5253-3779

Haritalama yapılırken çevre algılamasında ışık algılama ve ölçme sistemi (LIDAR-Laser Imaging Detection and Ranging) kullanılmıştır. LIDAR, çevresindeki nesnelerin konumlarını algılamak için kullanılan radar benzeri bir sensördür [6]. LIDAR, hem havadan harita oluşturmak için hem de karadan haritalama ve konum belirleme için kullanılabilir. LIDAR sensörü ile birçok alanda, yüzeylerin iki ve üç boyutlu modellerinin çıkarılması sağlanmaktadır [7-9].

SLAM problemiyle ilgili çalışmalar araştırılırken çoğunda istatistiksel çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Bunların başında Kalman Filtresi gelmektedir [10]. Ancak Kalman Filtresi algılayıcının aldığı verileri belirli işlemlerden geçirdiği için ve gauss gürültüsüne sahip olması şartlarını koştığı için farklı yöntemlere yönelim olmuştur. [11-12]'de Beklenti Enbüyüktme (BE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, Kalman Filtresinde olduğu gibi istatistiksel bir çözüm yöntemidir. Kalman Filtresinden farklı olarak veri gürültüsü problemini ele alarak başarılı bir sonuç ortaya koymuştur. Çok başarılı olan bu yöntemin eksikliği gerçek zamanlı olarak uygulanamaması olmuştur. Bu yüzden gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmamıştır. [13]'de parçacık filtreleme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem, Kalman Filtresi gibi aktif ve hızlı olmamasına rağmen gerçek zamanlı ve çoğu probleme çözümler getirdiği için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, diferansiyel tekerlek modeline sahip Turtlebot mobil robotu kullanılarak üzerine yerleştirilen Robo Peak firmasının LIDAR (RP-LIDAR) sensörü sayesinde hem otonom olarak hem de manüel olarak kontrolünü sağlayıp SLAM uygulamasının yapılması amaçlanmıştır [14-15]. Bu amaca uygun deneysel düzenek oluşturulmuştur. Çalışmada hem SLAM hem de mobil robot kontrolü Linux tabanlı işletim sistemine sahip iki bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bilgisayara Linux tabanlı işletim sistemine uyumlu ROS kurulmuştur [16]. Mobil robot kontrolü ROS üzerinden yapılmıştır. ROS üzerinde Parçacık Filtresi tabanlı Gmapping paketi ile SLAM uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu makalenin geri kalan bölümleri aşağıdaki gibi organize edilmiştir. İkinci bölümde, parçacık filtresi ele alınarak SLAM algoritması incelenmiştir. Üçüncü bölümde, deneysel düzenekte kullanılan Turtlebot ve RP-LIDAR hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılarak eş zamanlı haritalama yapan ve konum belirleyen mobil robot uygulamalarının sonuçları şekiller ile verilmiştir. Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. Parçacık Filtresi Tabanlı Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama

Bu çalışmada, Lazer mesafe sensöründen ızgara haritalama öğrenmek için Reo-Blackwellized Parçacık Filtresini etkili adımlarla uygulayan Gmapping ROS paketi kullanılmıştır [18-19]. Gmapping'in çözüme ilişkin adımları aşağıdaki gibidir.

1) Robot konumunu temsil eden i numaralı parçacık, başlangıç tahmini $x_k^{(i)} = x_{k-1}^{(i)} * u_{k-1}$ sağlayacak biçimde bir önceki parçacığın konumundan $x_{k-1}^{(i)}$ ve sonuncu filtre güncellenmesi esnasında alınan odometri değerlerinden oluşur. Bu formüllerde kullanılan $*$ operatörü standart konum birleştirme operatörüdür.

2) $m_{k-1}^{(i)}$ haritasında başlangıç konumu, $x_k^{(i)}$ olacak biçimde tarama eşleme algoritmaları gerçekleştirilir. Tarama başlangıç konumu olan $x_k^{(i)}$ çevresinde sınırlar olacak biçimde oluşturulur. Eğer tarama-eşleme hata ile sonuçlanırsa, konum ve ağırlıklar hareket sistemine göre hesaplanır ve 3. ve 4. adım atlanır.

3) Tarama-eşleme sonuçları ile robotun konumunun çevresinden örneklenen bir noktalar kümesi alınır. Verilerin ortalama değeri ve kovaryans matrisi, örneklenen x_j konumlarında hedef dağılım $p(z_k | m_{k-1}^{(i)}, x_j)$ $p(x_j | x_{k-1}^{(i)}, u_{k-1})$ noktasal olarak baz alınarak hesaplanır. Aynı anda ağırlık vektörü de hesaplanır.

4) i parçacığının yeni konumu $x_k^{(i)}$, varsayılan dağılımın iyileştirilmiş olan Gauss yaklaşımı $N(\mu_k^{(i)}, \Sigma_k^{(i)})$ sayesinde çizilir.

5) Parçacıkların ağırlıkları önemli olma durumuna göre güncelleştirilir.

6) i parçacığının haritası $m^{(i)}$, beklenen $x_k^{(i)}$ konumu ve z_k gözlemine göre iyileştirilir.

Güncel örneklerin hesaplanmasından sonra yeni bir örnekleme adımı N_{eff} sonucu dikkate alınarak oluşturulur. N_{eff} ifadesi ise, $w^{(i)}$ ile gösterilen i parçacığının normalleştirilmiş ağırlığı Denklem-1 de olduğu gibi hesaplanır.

$$N_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (w^{(i)})^2} \quad (1)$$

Burada; N parçacık sayısıdır.

3. Deneysel Ortam

Bu çalışmadaki uygulamalar, LIDAR sensörü, Turtlebot mobil robot ve iki Linux işletim sistemine sahip dizüstü bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir [20].

3.1. Mobil robot

Kobuki firması tarafından üretilmiş olan Turtlebot mobil robotu üzerinde yapılmıştır [14]. Turtlebot'u tercih etme sebebi SLAM uygulamaları için uygun özelliklere sahip olabilmesidir. Turtlebot diferansiyel tekerlek modeli ile oluşturulmuştur. Diferansiyel tekerlek modeli SLAM uygulamalarını yapabilmek için en önemli özelliktir. Bu özellik sayesinde mobil robot olduğu yerde dönebilmektedir. Şekil 1'deki Turtlebot mobil robotun genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [14].



Şekil 1. Uygulamada kullanılan Turtlebot mobil robotu

Turtlebotun içinde Linux tabanlı bir işletim kartı mevcuttur. Bu kart kullanılarak Turtlebot otonom olarak hareket edebilir. Ayrıca Linux tabanlı bir bilgisayara ROS işletim sistemi kurularak gerekli işlemler yapıldıktan sonra manuel kontrolü sağlanabilir.

Tablo 1. Turtlebot mobil robotun genel özellikleri

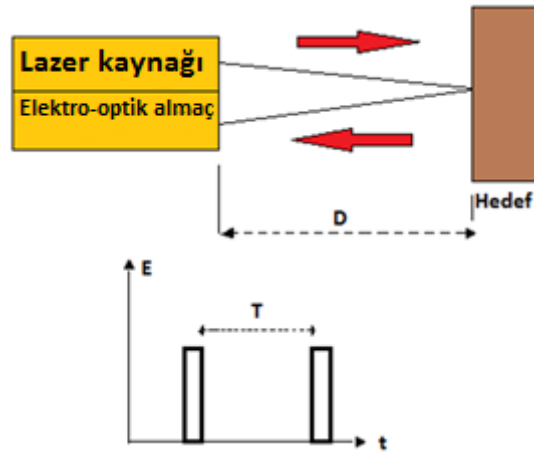
Özellikler	Açıklama
Çap	351.5 mm
Yükseklik	124.8 mm
Ağırlık	2.35 kg
Maksimum öteleme hızı	70 cm / s
Maksimum dönme hızı	180 derece / s
Taşıma kapasitesi	5 kg (sert zemin), 4 kg (halı)
Çarpma sensörleri	Sağ, orta, sol
Uçurum sensörü	Sağ, orta, sol
Uçurum	5cm daha büyük bir derinlikli bir uçurumda aktifleşir
Normal Çalışma Süresi	3/7 saat (küçük / büyük pil)
Motor	2 tane fırçalı DC motor

3.2. Lazer mesafe sensörü

Lazer mesafe sensörlerinin çalışma ilkesi, yaydıkları lazer ışınlarının nesneye çarparak geri gelmesine kadar geçen sürenin mesafe cinsinden hesaplanmasına dayanır. Lazer enerjisi kısa sürede ve belirli bir menzildeki nesnelere doğru yollar. Sensörün menzili içinde bulunan herhangi bir nesne, yollanan bu ışık enerjisinin belirli bir bölümünü geri yansıtır. Geri gelen ışık enerjisi, sensörün algılayıcısı tarafından algılanır. Sensörden çıkan ışık enerjisinin nesneye çarpıp geri gelmesi için geçen süre hesaplanır. Lazerdan çıkan bu ışık demetinin hızı ışık hızı bilindiğinden nesne ile sensör arasındaki mesafeyi kolaylıkla bulunabilir. Nesneden yansıyan ışık demetinin sensörde bulunan alıcı sayesinde algılanması sağlanır. Şekil 2’de sensörün basit olarak nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Nesne ile sensör arasındaki uzaklık Denklem-2 de olduğu gibi hesaplanır.

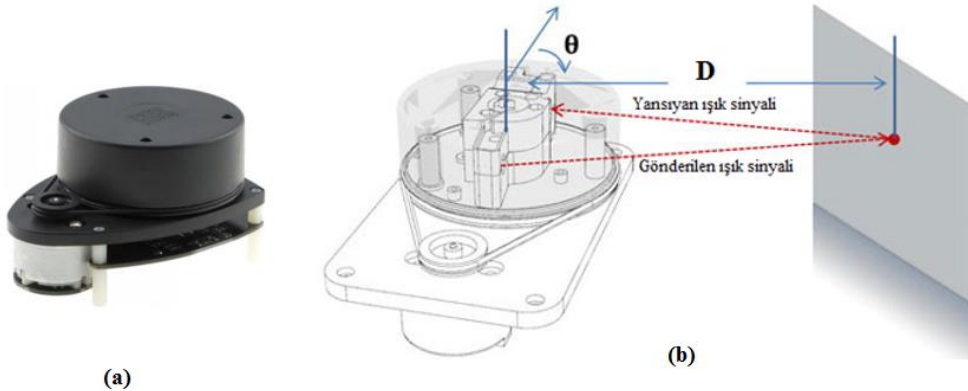
$$D = \frac{c \cdot T}{2} \quad (2)$$

Burada; D nesne ile sensör arasındaki uzaklık, C ışık hızı ve T periyodu göstermektedir.



Şekil 2. Lazer mesafe ölçümü

Mobil robotlarda en fazla tercih edilen lazer çeşidi iki boyutlu olarak adlandırılan hem nesnenin lazere olan mesafesi hem de lazerle olan açısal konumunu veren çeşitlerdir. Uygulamamızda Robo Peak firması tarafından üretilmiş Şekil 3a’daki RP-LIDAR [15] lazer sensörü kullanılmıştır. Bu sensörü Tablo 2’de özellikleri verilmiştir. 360 derece tarama yaparak 6 metrelik menzildeki tüm nesnelerin mesafe bilgisini ölçebilen bir lazer sensördür. Çalışma ilkesi [17] Şekil 3b’de verilmiştir.



Şekil 3. a) RP-LIDAR mesafe ölçüm sensörü ve b) RP-LIDAR çalışma prensibi

Tablo 2. RP-LIDAR sensörünün genel özellikleri

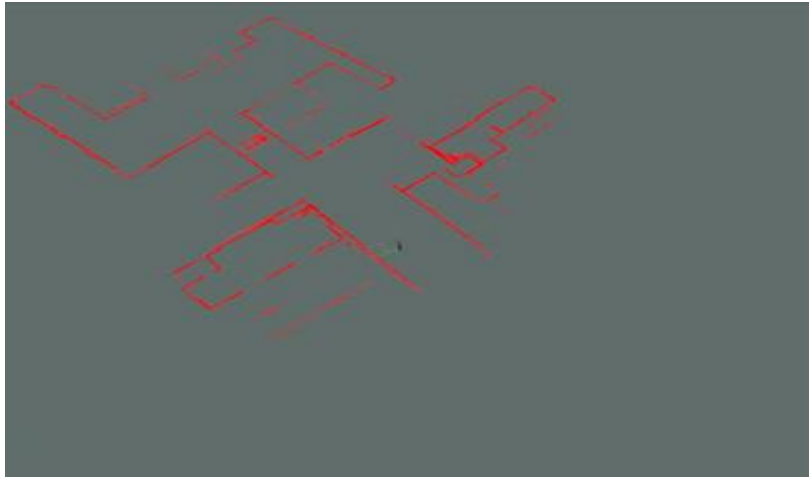
Kapsama açısı	360 derece
Hassasiyet	0.5 derecelik
Tarama hızı	2-10 Hz
Örnek alma	Saniyede 2000
Menzil	0.2-6 metrelik

4. Uygulama Sonuçları

Bu çalışmada, SLAM çerçevesinin uygulaması iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Birincisi manuel olarak Turtlebot'un nerde olduğunu görüp ona yön vererek ortamın haritası oluşturulmuştur. İkincisi otonom olarak Turtlebot'a müdahale edilmeden ortamın haritası oluşturulmuştur.

4.1. ROS kullanarak gerçek zamanlı manuel SLAM uygulaması

Bu uygulamada, Turtlebot mobil robotu manuel olarak hareket ettirilerek SLAM uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bunun içinde ikinci bir bilgisayara yüklediğimiz ROS işletim sistemini kullanarak USB ara birimi ile Turtlebot'un X (yeşil), Y (kırmızı) ve Z (Mavi) eksen hareketi manuel olarak kontrol edilmiştir. İkinci bilgisayarın klavyesi kullanılarak mobil robotun sağa-sola, ileri-geri ve bulunduğu noktada sabit kalarak kendi etrafında dönmesi hareketleri gerçekleştirilmiştir. Turtlebot'un üzerindeki bilgisayarda ROS'un Gmapping paketi kurularak SLAM uygulaması Şekil 4'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Turtlebot ile elde edilen Fırat Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği kat haritası

4.2. ROS kullanarak gerçek zamanlı otonom SLAM uygulaması

Bu uygulamada, ilk olarak, Linux tabanlı bilgisayara sanal bir işletim sistemi olan ROS'un son versiyonu Kinetic Kame yüklenmiştir. İkinci olarak RP-LIDAR'dan gerçek zamanda verilerini almak için gerekli RP-LIDAR paketleri yüklenmiştir. Üçüncü olarak Parçacık Filtre tabanlı Gmapping paketi yüklenmiştir. Son olarak da Turtlebot'a yüklenen programla otonom olarak hareket etmesi sağlanmıştır. Şekil 5'de gösterilen ortamda, otonom olarak hareket ederek SLAM uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'de otonom olarak hareket eden Turtlebot'un çizdiği harita verilmiştir.



Şekil 5. Uygulama ortamı



Şekil 6. Otonom olarak hareket eden Turtlebot'un SLAM uygulaması a)1. adım, b) 2. adım ve c) 3. adım

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, otonom mobil robot kavramı için en yeni algoritma çerçevesi olan SLAM incelenmiş ve Turtlebot mobil robotu kullanılarak SLAM uygulamaları yapılmıştır. Otonom olarak sensörler yardımı ile çevresini algılayarak hareket edebilen ve bulunduğu ortamın haritasını çıkarıp konumunu belirleyen mobil robot uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamada USB ara birimi ile manuel olarak mobil robotun kontrolü yapılarak aynı anda konum belirleme ve haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Son uygulamada, mobil robotumuzda bulunan çarpma sensörleri yardımı ile tekerleklere bağlı fırçalı DC motorlar kontrol edilerek mobil robotumuzun otonom olarak hareket etmesi sağlanmıştır. Otonom mobil robotun üzerine yerleştirilen RP-LIDAR'dan anlık olarak veri alınarak ROS ortamında parçacık filtreleme yöntemini içeren Gmapping SLAM algoritmasıyla haritalama ve konum belirleme gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen tüm uygulamalar, mobil robotun etrafını başarıyla tanıdığını ve robotun içinde yer aldığı haritaları oluşturduğunu göstermiştir. Ancak SLAM çerçevesinin uygulanmasının kolay olmadığı açıkça görülmüştür. Farklı sensörlerin birlikte kullanımı, ileri yazılım yöntemleri, kontrol algoritmaları ve filtreler gibi konular bu alandaki çalışmalar için gereklidir.

Gelecek çalışma olarak, 3 boyutlu bilgi verebilen kinect sensörü kullanılarak SLAM gerçekleştirilebilir. Maliyeti düşürerek ve çoklu robotlarla SLAM bilgisini daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilecek çalışmalar yapılabilir.

6. Teşekkür

Bu çalışma, “Rp-Lidar Kullanılarak Mobil Robotlar İçin Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama” İsimli Yüksek Lisans Tez Çalışması Kapsamında, FÜBAP MF.1616 no.lu Yüksek Lisans Tez Projesi desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Smith, R. and Cheesman, P. On the representation of spatial uncertainty. *Int. J. Rob. Res.*, 1987;5(4): 56-68.
- [2] Leonard, J.J. and Durrant-Whyte, H. F. Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot. *Proc. IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems*, 91. Intelligence for Mechanical Systems, IROS'91, 3-5 Nov. 1991; Osaka, Japan, 1442-1447.
- [3] Bailey, T. and Durrant-Whyte, H. Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part i The essential algorithms. *IEEE Robot Autom. Mag.*, 2006; 13(2): 99-108.
- [4] Javad, Z., Cai, Y., and Majid, Y. Comparing EKF and SPKF Algorithms for Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). *J. Robot. Netw. Artif. Life*, 2017; 3(4): 217-220.
- [5] Valencia, R., and Andrade-Cetto, J. “Active Pose SLAM” in *Mapping, Planning and Exploration with Pose SLAM*. Springer, Cham, 2018; 89-108.
- [6] Bellian, J.A., Kerans, C., Jennette, D.C. Digital out crop models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling. *J. Sediment Res.*, 2005; 75(2): 166-176.
- [7] Surmann, H., Nüchter, A. and Hertzberg, J. An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments. *Rob. Auton. Syst.*, 2003; 45: 181-198.
- [8] Nguyen, V., Martinelli, A., Tomatis, N. and Siegwart, R. A comparison of line extraction algorithms using 2D laser rangefinder for indoor mobile robotics. *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IROS, 2-6 Aug. 2005; Alberta Canada, 1929-1934.
- [9] Kim, P., Chen, J., & Cho, Y. K. SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds. *Automat. Constr.*, 2018; 89: 38-48.
- [10] Kalman, R.E. A New approach to linear filtering and prediction problems. *J. Basic Eng.*, 1960; 82: 35-45.
- [11] Dempster, A.P., Laird A.N. and Rubin, D.B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *J. R. Stat. Soc. Series B. Stat. Methodol.*, 1977; 39(1): 138.
- [12] Thrun, S., Fox, D. and Burgard, W. A Probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robot. *Mach. Learn.*, 1998; 31(1-3): 2953.
- [13] Yuen, D.C.K. and MacDonald, B.A. A Comparison between EKF and sequential monte carlo techniques for Simultaneous localisation and map-building. *Proc. Australasian Conference on Robotics and Automation*, 27-29 Nov. 2002; Auckland, New Zealand, 26-28.
- [14] <http://www.turtlebot.com/> (07 Mayıs 2018).
- [15] <http://www.slamtec.com/en/Lidar/A1> (07 Mayıs 2018).
- [16] <http://www.ros.org/> (07 Mayıs 2018).
- [17] https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/4010/4010_datasheet.pdf (05.02.2018)
- [18] Murphy, K.P. Bayesian map learning in dynamic environments. *Proc. The 12th International Conference on Neural Information Processing Systems*, 29 Nov.-04 Dec. 1999; Denver, US, 1015-1021.
- [19] Grisetti, G. Stachniss, C. and Burgard, W. Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE Trans. Robot.*, 2007; 23(1): 3446.
- [20] Akyol, S. Rp-lidar ve mobil robot kullanılarak eş zamanlı konum belirleme ve haritalama, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2017.

Denizel Ortamlarda Oluşan Yumuşak Çökel Deformasyon Yapılarına Bir Örnek; Kayma-Oturma Yapıları, Kırkgeçit Formasyonu, KB Baskil, Elazığ

Calibe KOÇ TAŞGIN¹¹, Fırat ALTUN²

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

² Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

^{1*} calibekoc@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/06/2018;

Kabul/Accepted: 15/12/2019)

Özet: Doğu Toroslarda yer alan Elazığ Tersiyer havzası Neotetis'in güney kolunun kapanması sırasında gelişen havzalardan biridir. Bu havzada gelişen Kırkgeçit Formasyonu'nun (Orta Eosen-Oligosen yaşlı) Elazığ ili Baskil ilçesinin kuzey batısındaki yüzlekleri genel olarak kalkarenit (Biyoklastik-litoklastik istifası-vaketaşı), karbonat çamurtaşı ve algli-mercanlı istifası fasiyeslerinden oluşmaktadır. Bu fasiyesler düşük eğimli yamaç veüzlerinde gelişmiş tepecik resiflerini temsil etmektedir. Bu düşük eğimli yamaç fasiyesleri içerisinde 6 lokasyonda kayma-oturma yapıları tanımlanmıştır. Bu yapılar yaklaşık 5 km kadar devamlılık göstermektedir. Bu çalışmada kayma-oturma yapıları ile ilişkili olarak hem genişlemeli (normal faylar) hem de sıkışmalı (ters faylar) yapılar tanımlanmıştır. Metre-desimetre ölçeğinde tanımlanan normal faylar yamacın üst kısmında gözlenirken ters faylar lokal olarak yamacın etek kısmında gelişmiştir. Kayma-oturma yapılarından elde edilen veriler kayma hareketinin genellikle güney-güney doğuya doğru geliştiğini göstermektedir. Bu hareket yönü denizin derinleşme yönüne uyumluluk göstermektedir. Söz konusu yapıları oluşturan deformasyon mekanizması sedimentin dayanımındaki geçici ve büyük azalmalar nedeniyle gelişen plastik davranış ile ilişkilidir. Kırkgeçit Formasyonu genişlemeli yay-gerisi bir havzada oluşmuştur. Dolayısıyla havzayı etkileyen tektonizmaya bağlı sismik aktiviteler yumuşak çökel deformasyon yapılarının oluşumunda önemli tetikleyici mekanizmayı oluşturmuştur. Verilerin değerlendirilmesi sonucu bölgede en az 6 veya daha büyük sismik aktivitelerin oluşmuş olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kayma-oturma yapıları, Yumuşak çökel deformasyon yapıları, Kırkgeçit Formasyonu, Elazığ.

An Example of Soft Sediment Deformation Structures Developed in Marine Environments; Slumps, Kırkgeçit Formation, NW Baskil, Elazığ

Abstract: The Elazığ basin located in the Eastern Toros is one of the basins developed during the closure of the southern branch of Neotethys. Kırkgeçit Formation is generally composed of calcarenite (bioclastic-lithoclastic packstone-wackestone), carbonate mudstone, algal-coral packstone facies in the study area located to the northwest of Baskil district of Elazığ province. These facies represent low-slope and knoll reefs developed on the slope. Slumps at 6 locations are defined within low slope facies. These structures show continuity up to 5 km. Both extension (normal faults) and compression (reverse faults) were defined in relation to slump structures. The normal faults identified on the meter-decimeter scale are observed at the upper part of the slope, while the reverse faults locally represent the toe portion of the slope. The direction of movement obtained from slump structures is on the average south-south east. This direction is compatible with the direction of sea deepening. The deformation mechanism constituting the mentioned structures is related to the plastic behavior of the sediment developed due to temporary and great decreases in the strength of the sediment. Kırkgeçit Formation is a unit where marine sediments developed due to a back-arc extensive regime behind a subduction-zone (Arabian plate, subduction under the Eurasian plate). Therefore, seismic activities resulting from tectonic and tectonism are important trigger mechanisms in the formation of soft sediment deformation structures. It has been determined that seismic activity of at least 6 or greater may have been formed in the evaluation of the data.

Keywords: Slumps, soft sediment deformation structures, Kırkgeçit Formation, Elazığ.

1. Giriş

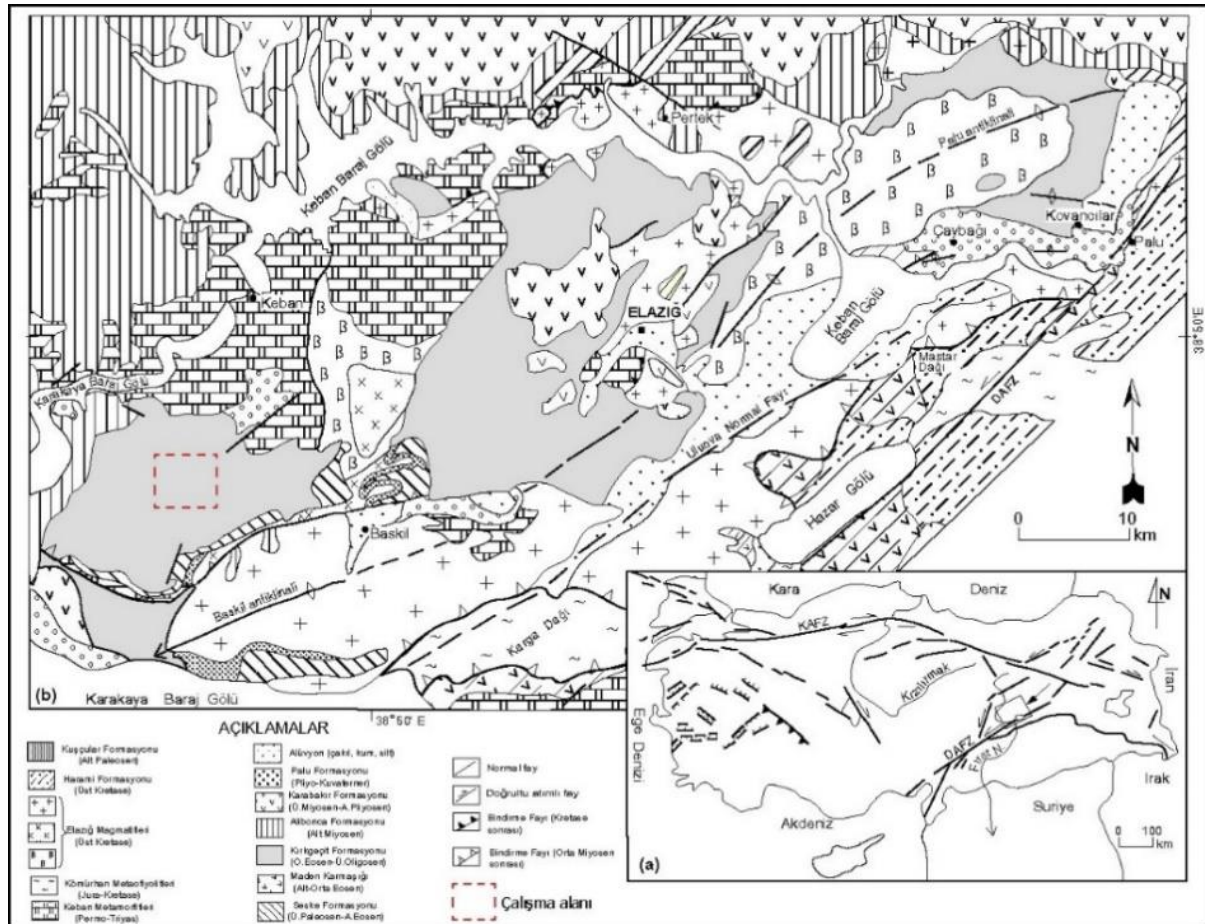
Elazığ havzası Neojen'de Neotetis'in güney kolunun kapanması sırasında gelişmiş havzalardan biridir. Güncel KD-GB yönünde uzanan bu havza Doğu Toroslar'da yer almaktadır. Doğu'da Palu ilçesi, kuzeyde Peri çayı ve Keban Baraj Gölü, batı ve güneybatıda Fırat nehri ve güney ve güney-doğusunda Karga Dağı ve Master Dağı tarafından sınırlanmaktadır. Bu havzanın temelini Permo-Triyas'dan Paleosen'e kadar değişik yaşta metamorfik, magmatik ve sedimanter kayalar oluşturur (Şekil 1). Yazgan [1], Elazığ çevresindeki Orta Eosen yaşlı sedimentleri yay gerisi havza çökelleri olarak yorumlamıştır. Aktaş ve Robertson [2], Elazığ'ın güneyini, Güney Neotetis'in aktif levha kenarının sınırı olarak tanımlamıştır.

¹ Sorumlu yazar: calibekoc@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-5439-7379, ² 0000-0002-7229-1842

Doğu Anadolu Bölgesi'nde (Malatya, Elazığ ve Van dolaylarında) geniş alanlara yayılmış bulunan Kırkgeçit Formasyonu'nun tipik özellikleri Elazığ civarında da gözlenir. Neotetis'in güney kolunun kapanmasını sağlayan olaylara bağlı olarak oluşmuş olan bu formasyonun, bölgenin jeotektonik evriminin açıklanmasında önemli bir yeri vardır. Birimin stratigrafik, sedimantolojik ve tektonik özellikleri birçok çalışmada ele alınmıştır [3-22]. Bununla birlikte birimin yumuşak çökel deformasyon yapıları içeriği konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Sedimantasyon sırasında veya sedimantasyondan kısa bir süre sonra gelişen yumuşak çökel deformasyon yapılarının oluşumu deformasyon ve tetikleme mekanizmalarına bağlıdır. Söz konusu yapılar birçok güncel ve yaşlı sedimentlerde yer almaktadır. Bu tür yapılar karasal [23-31], geçiş [32-34] ve denizel [35-42] ortamlarda tanımlanmıştır. Ayrıca bu tür yapıların oluşumu ile ilgili deneysel çalışmalar da vardır [43-46].

Kireçtaşlarının, mekanik deformasyona izin vermeyecek ölçüde hızlı sıkılaşıma özelliğine sahip olması ve esas olarak ince-çok ince tanelerle karakterize edilmesi bu kayalarda yumuşak çökel deformasyon oluşumu için bir engel oluşturur. Bununla birlikte karbonatlı istiflerde yumuşak halde deformasyon olayı gözlenmiş [47] ve hatta bu yapılar sismit olarak tanımlanmıştır [48-50]. Tetis kuşağında geniş dağılıma sahip derin su karbonatları [örneğin 51] ve kayma-oturma yapıları içeren derin su kireçtaşları birçok çalışmada incelenmiştir [52-57]. Bu çalışmaların birçoğunda kayma-oturma yapıları ile ilişkili fazla bir detay verilmeyen, sıg deniz kireçtaşlarında daha detaylı çalışmalar vardır [örneğin 58, 59, 40].

Bu çalışmanın amacı; Kırkgeçit Formasyonu'nda tanımlanmış olan kayma-oturma yapılarının morfolojik özellikleri, oluşumu bir başka deyişle deformasyon mekanizması ve deformasyonu başlatan tetikleyci mekanizmayı belirlemektir.



Şekil 1. Elazığ havzasının jeolojik haritası, [85]'den değiştirilerek alınmıştır.

2. Çalışma Alanının Stratigrafisi

İnceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri, Orta Eosen-Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, Erken Miyosen yaşlı Alibonca Formasyonu ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu ve güncel alüvyonlardır (Şekil 2 ve 3). Permo-Triyas yaşlı Keban metamorfitleri çalışma alanında koyu renkli mermer ve rekristalize kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Keban metamorfitlerinin yaşı Kipman [60] tarafından Permo-Karbonifer olarak önerilmiştir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan Kırkgeçit Formasyonu Keban Metamorfitleri üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Birim çalışma alanında iki üyeye ayrılarak incelenmiş olup bunlar; Gökbelen Üyesi ve Seherdağı üyesidir (Şekil 4A-D). Gökbelen üyesi masif, kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4D). Bu üyede yapılan paleontolojik çalışmalar sonucu Aygen [61] tarafından tespit edilen; *Textularia* sp., *Alveolina* sp., *Peneroplis* sp., *Orbitolites* sp., *Globorotalia* sp., *Globigerina* sp., *Fabiana cassis* (Oppenheim), *Rhapydionina malatyaensis* Sirel, *Halkyardia minima* (Liebus), *Eorupertia magna* (Le Calvez), *Chapmanina gassinensis* A.Silvestri, *Silvestriella tetraedra* (Gümbel), *Assilina exponens* (Sowerby) fosillere göre birime Orta Eosen (Bartoniye) yaşı verilmiştir. Seherdağı üyesi ise tabakalı kireçtaşları (kalkarenit, (biyoklastik-litoklastik istiftaşı-vaketaşı)), karbonat çamurtaşı, tabakalı kireçtaşı-çamurtaşı ardalanması ve merceksi geometrili kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4 B-D). Kendisinden daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alan Alibonca Formasyonu tabanda konglomeralarla başlar yukarıya doğru kumlu kireçtaşı ve marnlara geçer. Formasyonun tabanında yer alan kırmızı renkli konglomeralar karasal alüvyal yelpaze çökellerini, üst düzeydeki konglomera-kireçtaşı ardalanmaları ise denize açılan yelpazeleri (fan delta), daha üst seviyedeki kalkarenit-marnlar ise derin deniz çökellerini karakterize etmekte olup bu durum birimin transgresif bir denizde çökeldiğini gösterir [62]. Turan [7] ve Aygen [61] tarafından yapılan çalışmalarda tanımlanan fosillere göre birime Erken Miyosen yaşı verilmiştir. İlk defa Çetindağ [63] tarafından tanımlanan Palu Formasyonu (Pliyo-Kuvaterner) kötü olgunlaşmış, yer yer tane yer yer de matriks destekli konglomeralardan oluşmaktadır.

3. Çalışma Alanının Sedimantolojik Özellikleri

Kırkgeçit Formasyonu'nun inceleme alanındaki sedimantolojik özelliklerini belirlemek, kayma-oturma yapılarının geliştiği fasiyesleri ve bu yapıların oluştuğu seviyelerin karşılaştırılması için 6 stratigrafik kesit ölçülmüştür. Bu kesitler; Mağara Tepe kesiti (13 m), Matüte Tepe I ve II (9 ve 18 m), Hacitemur (90 m), Halitoğlu Kesiti (10 m) ve Kavurga Tepe kesiti (19 m)'dir. Ölçülen bu istifler tabakalı kalkarenitler, karbonat çamurtaşı-kalkarenit ardalanması, algli-mercanlı istiftaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır.

Kalkarenitler: Bu fasiyes yeniden işlenmiş iri ve küçük bentik foraminiferler (*Nummulites* sp., *Discocyclina* sp., *Miliolidae*, *Rotaliidae*, *Asterigerina* sp., *Textularia* sp., ...vb), mercan ve algerin yanında bol oranda havza içi kökenli karbonat tanelerinden oluşmuştur. Fosiller yoğun kırılma parçalanmalar ve belirli bir yönde dizilim göstermektedir. Bu durum bunların yeniden işlendiğini işaret etmektedir. Biyoklastik ve litoklastik malzemeler mikrit matriks içerisinde oranına göre genellikle istiftaşı ve yer yer de vaketaşı ismini almıştır. Karadan taşınan malzeme nadirdir. Litoklastlar çalışma alanının hemen kuzeyindeki karbonat şelfinden türemiştir.

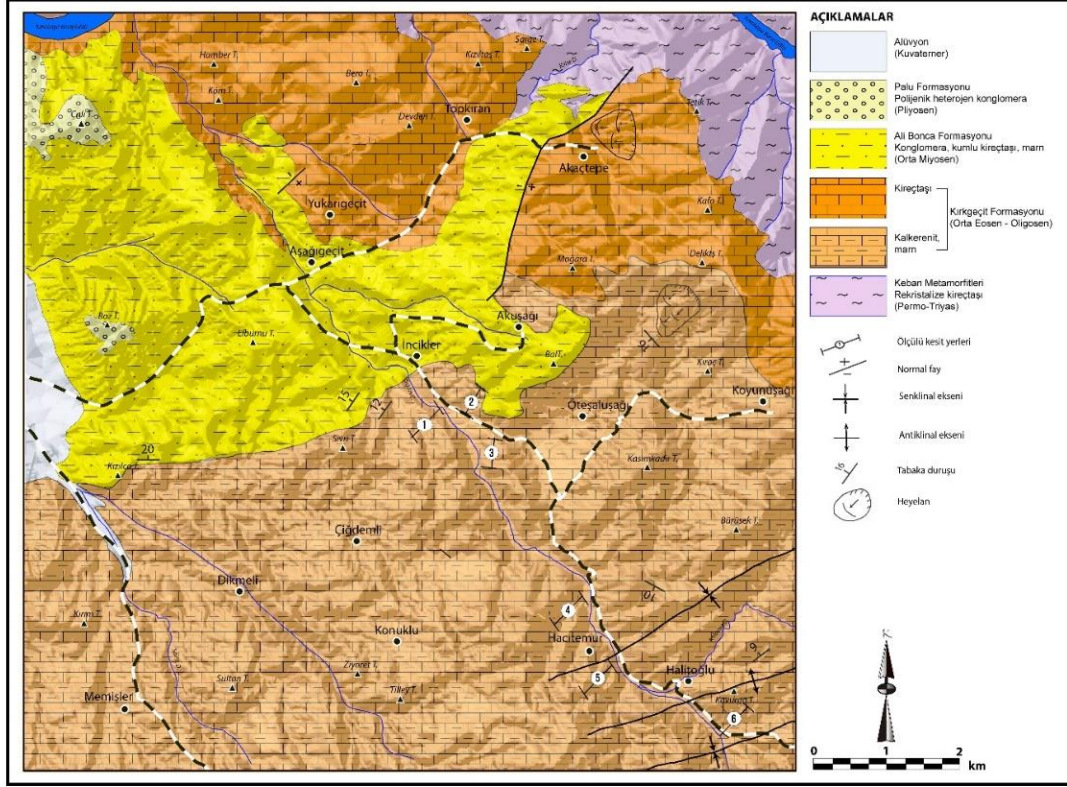
Biyoklastik vaketaşı veya biyoklastik mikrit dalga tabanı seviyesinde veya hemen aşağısında açık sirkülasyona sahip sığ su ortamlarını karakterize ederler [64]. Algli-mercanlı istiftaşı: Fasiyes mikrit matriks içerisinde yeralan bol alg ve mercanlarla karakterize edilir. Biyoklastik-litoklastik istiftaşı-vaketaşı ve karbonat çamurtaşlarının ardalanmasından oluşan istif içerisinde merceksi geometrili olarak gözlenen fasiyes yamaç ortamında gelişmiş tepecik resifleri olarak yorumlanmıştır [62, 21].

Karbonat Çamurtaşı: Bu fasiyes krem-bej renkli çoğunlukla laminalı karbonatlı pelajik çamurtaşları ile karakterize edilir. İçerisinde planktik foraminiferlerden *Globigerina* sp. *Globorotalia* sp. gibi fosiller tanımlanmıştır.

Biyoklastik-litoklastik istiftaşı-vaketaşı ve karbonat çamurtaşlarının ardalanmasından oluşan istif yamaç çökelleri olarak yorumlanmaktadır [65, 66]. Yamaç ortamında çökelen sedimentler yaklaşık 30° kadar eğimli bir zemin üzerinde çöklerler. Sedimentler duraysız ve şekil-boyut olarak değişiklik gösterirler. Sedimentleri kireç silti, biyoklastik vaketaşı-istiftaşı oluşturur [64]. Çalışma alanında yamaç çökelleri üzerinde yer alan tepecik resiflerinin varlığı bu yamacın oldukça düşük eğime (15° ye kadar) sahip olduğunu [67, 62, 21] göstermektedir.

Ertürk [62] ve Türkmen ve Ertürk [21], Akuşağı köyü (Baskil) çevresinde yapmış olduğu sedimantolojik çalışmalar sonucu 7 fasiyes, 3 fasiyes topluluğu (karbonat şelfi, yamaç ve tepecik resifleri) tanımlamışlardır. Bu çalışma sırasında elde edilen sedimantolojik veriler söz konusu çalışmalara paralellik göstermektedir.

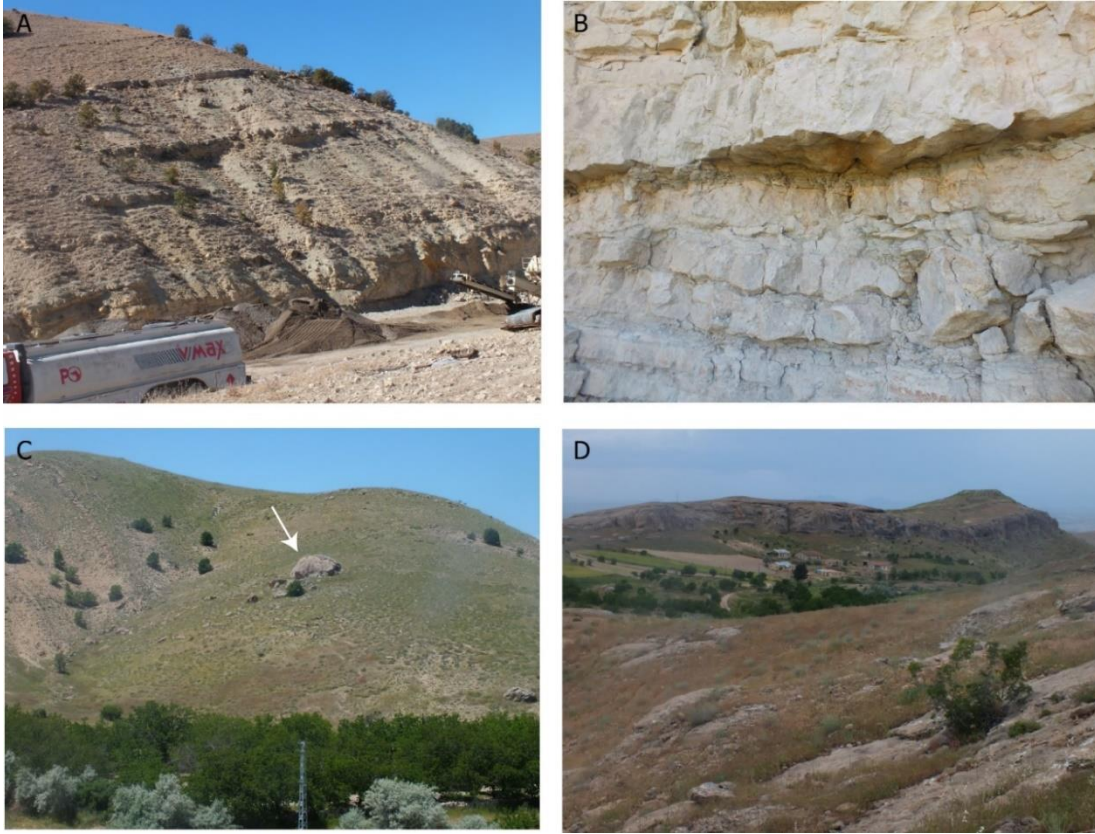
Denizel ortamlarda oluşan yumuşak çökel deformasyon yapılarına bir örnek; Kayma-oturma yapıları, Kırkgeçit Formasyonu, KB Baskıl, Elazığ



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası, [21]'den değiştirilerek alınmıştır.

YAŞ	BİRİM	ÜYE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
Kuvaterner					Alüvyon
Pliyo Kuvaterner	Palu For.		50		Polijenik heterojen konglomera
Erken Miyosen	Alibonca Formasyonu		750		Konglomera, kumtaşı-marn ardalanması, kumlu kireç taşı
Orta Eosen - Oligosen	Kırkgeçit Formasyonu	Gökbelen	1400		Kireçtaşı
		Seherdağı			Kumtaşı-marn ardalanması, kumtaşı-çamurtaşı ardalanması, kireçtaşı
Permo - Triyas	Keban Metamorfittleri				Mermer, rekristalize kireçtaşı, şist

Şekil 3. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti, [7]'den değiştirilerek alınmıştır.



Şekil 4. A) Seherdağı üyesinden bir görünüm, B) Kalkarenit-karbonat çamurtaşı ardalanması, C) Seherdağı üyesi içerisinde gözlenen mercekli geometrilili tepelik resifi (okla gösterilmiştir), D) Gökbelen kireçtaşı üyesinden bir görünüm.

4. Kayma-Oturma Yapıları

4.1. Kayma-oturma yapılarının tanımı

Kayma-oturma yapıları çalışma alanında altı lokasyonda gözlenmiş olup bu lokasyonlardan kesitler ölçülmüş ve bu yapıların seviyeleri karşılaştırılmıştır (Şekil 2 ve 5). Yaklaşık aynı seviyede 5 km boyunca devamlılık gösteren bir kayma-oturma horizonu tanımlanmıştır. Beş lokasyonda tek bir seviyede gözlenen kayma-oturma yapıları bir lokasyonda iki seviyede gözlenmiştir. Bu lokasyonlar aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

1. Lokasyon; Mağara Tepe'dir (Koordinat: 37S4622479D/4283409K) (Şekil 5 ve 6). Mağara Tepe'nin alt düzeylerinde gözlenen kayma-oturma yapısı yaklaşık 2,5-3 m kalınlığında bir seviyeyi etkilemiştir. Karbonat çamurtaşı ve kalkarenit tabakalarının ardalanmasından oluşan fasiyeler deformasyona uğramıştır. Kalkarenitlerin tabaka kalınlığı 7-20 cm arasında değişirken karbonat çamurtaşı tabakaları 5-10 cm kalınlığa sahiptir. Kayma-oturma yapısının kıvrım eksen düzlemi yataya yakın olup KB (340°) yönünde eğimli iken bu yapıyı oluşturan hareketin yönü GD'dur (160°). Yer yer bu yapılarla ilişkili sin-sedimenter faylar da gözlenmiştir.

2. Lokasyon: Matüte Tepe 1'dir (Koordinat: 37S462985K/4283483D) (Şekil 5 ve 6B-D). Bu lokasyonda iki seviyede kayma oturma yapısı gözlenmektedir. Birinci ve ikinci seviyeyi birbirinden ayıran yaklaşık 4 m kalınlığında bir karbonat çamurtaşı ölçülmüştür. Birinci seviyede yaklaşık 2 m kalınlığa sahip deforme olmuş tabakalar, kalkarenit-karbonat çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kayma-oturma yapıları 125° yönünde yani GD'ya doğru hareket etmiştir. Tabakalı kalkarenitleri etkileyen ikinci seviyedeki kayma-oturma yapısı 2 m kalınlığında olup birinci seviyedeki kayma oturma yapıları gibi GD'ya doğru (125° yönünde) hareket etmişleridir.

3. Lokasyon: Matüte Tepe 2'dir. (Koordinat: 37S463106D/4283340K) (Şekil 5 ve 6E,F). Bu lokasyonun alt seviyesinde gözlenen kayma-oturma yapısının deformasyona uğrattığı kalınlık 1,5 m kadardır. Karbonat çamurtaşı-kalkarenit tabakalarının ardalanmasından oluşan istif etkilemiştir. Kayma-oturma yapısının hareket yönü güney doğuya (125° yönünde) doğrudur.

4. Lokasyon: Hacitemur mahallesidir (Koordinat: 37S464458D/4280646K) (Şekil 5 ve 7A). Kalın bir istifin alt düzeyinde gözlenen kayma oturma yapısı 8 m kalınlığındaki bir seviyeyi etkilemiştir. Büyük ölçekli kıvrımlardan oluşmuştur. Burada gözlenen kayma oturma yapıları ile ilişkili normal fay da gelişmiş olup atımı 1 m kadardır. Kayma-oturma yapısının hareket yönü 165°'dir.

5. Lokasyon: Halitoğlu Mahallesi (Koordinat: 37S465356D/4279855K) (Şekil 5 ve 7BC). Halitoğlu mahallesi yakınındaki yol yarmasında gözlenen kayma oturma yapıları tabakalardaki bükülmelerle karakterize olup kaotik bir yapıyı sunmaktadır. 4 m kalınlığında bir istif etkilemiştir. Karşı yol yarmasında aynı seviyede sinsedimaner ters fay gelişmiş olup atımı 130 cm kadardır (Şekil 7C).

6. Lokasyon: Kavurga Tepedir. (Koordinat: 37S465948D/4279492K) (Şekil 5 ve 7D). 4 m kalınlığa sahip deforme olmuş seviye tabakalarda süreklilik gösteren kıvrımlardan oluşmaktadır. Yatık özellikte olan bu kıvrımların kıvrım eksen düzlemleri de yataya yakındır. Bu nedenle hareket yönü belirlenmemiştir.

4.1. Deformasyon mekanizması

Sıkılaşmamış sediment kütlelerinde kayma-oturma hareketinin oluşabilmesi için olası ana neden yamaç eğiminin artmasıdır. Tabakalı sedimentlerin duraylılık sınırlarını kontrol eden açının artmasına bağlı olarak tabakalar dikleşirler ve kaymalar oluşur. Bu dikleşme ve kaymaları kontrol eden açı değişimi depolanmaya ve tektonik hareketlere bağlı olarak oluşabilir. Ayrıca akıntılar-türbidit akıntılara bağlı olarak erozyon sonucu alttan oyularak oluşabilir [68]. Diğer yandan bu yapıların oluşumunda sıvılaşma ile artan su doygunluğu da önemli bir mekanizmadır [69]. Kayma-oturma olayının oluşabilmesi için daha az karşımıza çıkan sebeplerden biri de aşırı yüklenme sonucu oluşan duraysızlıktır. Fazla sıkılaşmış sedimentin üst kısmının erozyonu ve çürüyen bitki materyalleri ile ilişkili gaz oluşumları sonucu oluşan dengesizliklerde kayma-oturma hareketine neden olmaktadır [70]. Kayma-oturma yapılarının oluşumu için çoğunlukla dik yamaçlar gerekli olmakla birlikte 1 derece kadar düşük eğimli yamaçlarda da kayma-oturmalar oluşabilir [69, 71]. Düşük eğimli yamaçlarda kayma-oturma yapılarının oluşumunu etkileyen faktörler; sediment tipi, çökeltme hızı ve su derinliği gibi özelliklerdir. Morgenstern [69], 4 derece eğime sahip delta ilerisine ait yamaçlarda kayma-oturma yapıları tanımlamıştır. Delta ilerisi ortamında yüksek gözenek suyu basıncını destekleyen düşük permeabiliteye sahip silt ve killerin olması kayma-oturma hareketinin oluşmasını kolaylaştırmıştır. Bu çalışma alanında benzer etkiyi kalkarenitlerle ardalanmalı karbonat çamurtaşları oluşturmuş olmalıdır.

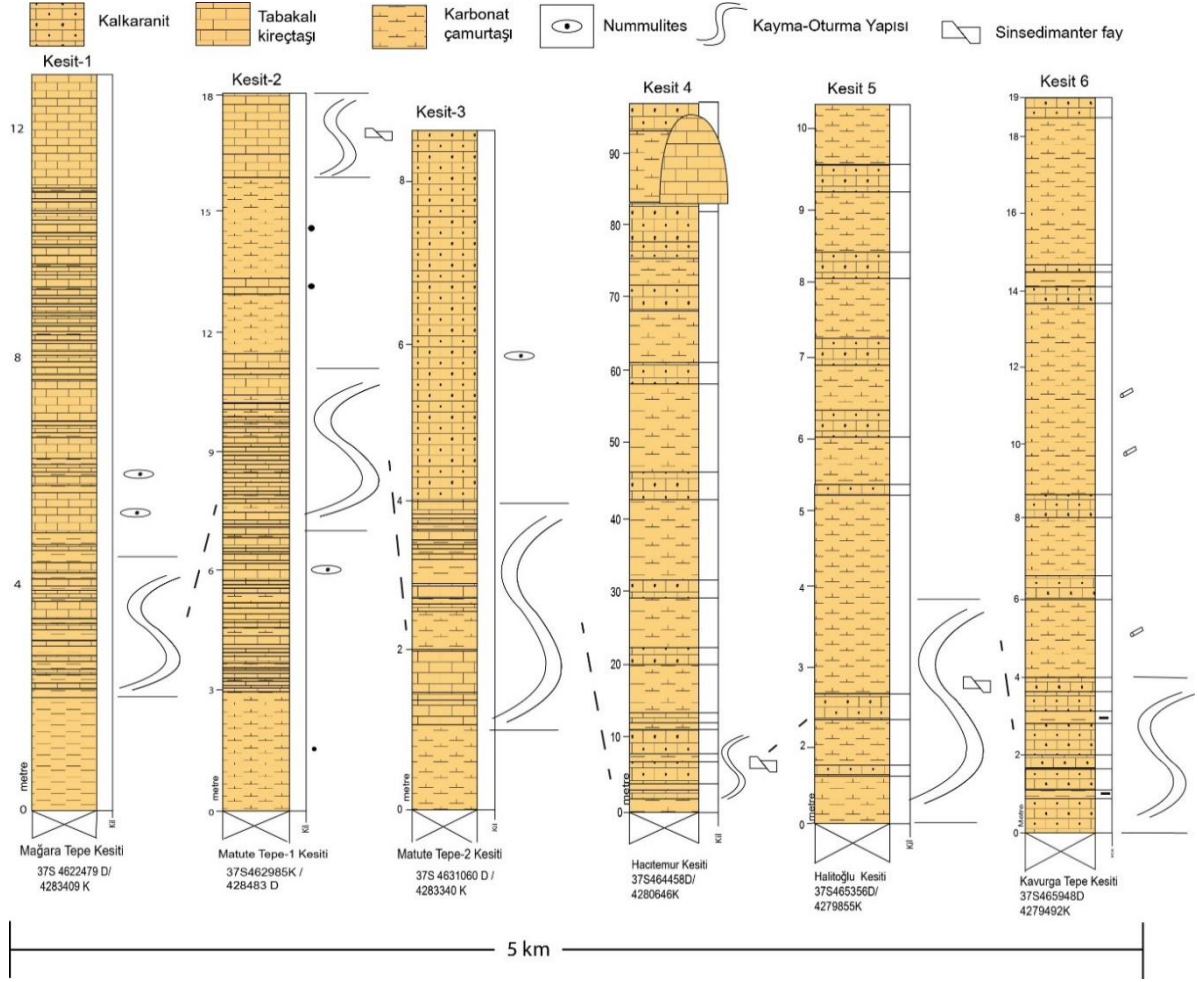
Bu yapılar, sediment kütlelerinin hareketi (sediment makaslama gerilmesindeki azalma) ya da tam bir sıvılaşma sonucu sedimentin dayanımındaki geçici ve büyük azalmalar nedeniyle sedimentin plastik davranışı sonucu oluşabilir [örneğin 72, 30, 73].

4.2. Deformasyonu tetikleyen mekanizma: Tartışma

Bir yamaçta çökelen sedimentlerin kayma-oturma ile duraylılığını kaybetmesi büyük oranda çökellerin makaslama gerilmesine ve gömülme derinliği ile bu gerilmenin artma oranına bağlıdır. Bu faktörler de tane boyu dağılımı, homojenlik, sedimentin birikme hızı, sıkılaşma derecesi ve gözenek suyu basıncı gibi etkenler tarafından kontrol edilir [74]. Naylor [56], yamaç üzerindeki duraylı sedimentin aşağıya doğru hareketini başlatan 3 ana tetikleme mekanizmasının olduğunu ifade etmişlerdir. 1) Yüksek sedimentasyon hızı veya sediment yüklemesi, 2) Dik yamaçların etkisi, 3) Sismik tetikleyici mekanizma.

Her ne kadar yavaş sedimentasyon duraylı çökeltme ile sonuçlansa da sediment içerisinde doğal olarak oluşmuş kapanlar sedimentasyonu lokal olarak hızlandıracak ve daha az duraylı çökellerin oluşmasına sebep olacaktır [74]. Büyük olasılıkla kalın tabakaların oluşumu yüksek sedimentasyon oranıyla ilişkilidir.

Bu çalışmada tanımlanan kayma-oturma yapıları genellikle ince tabakalı kalkarenit ve karbonat çamurtaşlarının ardalanmalı olduğu bölgelerde gözlenmiştir. Havza tabanı faylanması kayma-oturma yapılarının oluşumu için muhtemel sebeplerden biridir [75-77]. Bu faylanmalara eşlik eden depremler, kayma hareketini başlatan tetikleyici mekanizma olabilirler [76, 78]. Bununla birlikte kayma-oturma yapıları deprem etkisi altında sıkılaşmamış sedimentlerde oluşabilen pek çok yapıdan biridir. Kırkgeçit Formasyonu; aktif kıta kenarında gelişen yay-gerisi bir havzadaki tektonik şartlar altında çökelen bir birimdir. Bu birimde tanımlanan gerek sismikler [79] gerekse depremlerle ilişkili kayma-oturma yapılarının oluşumu da söz konusu tektonik kontrollü havzayı denetleyen faylarla ilişkili olmalıdır.



Şekil 5. Kayma-oturma yapılarını içeren seviyeleri gösteren ölçülü stratigrafik kesitler ve kayma-oturma yapılarının korelasyonu.

Flüvyal fasiyeslerle ilişkili halic çökellerinde gözlenen halic bankları boyunca gelişmiş moloz akmaları ve kayma-oturma yapılarının oluşumu sismik aktivitelerle ilişkilendirilmiştir [80]. Calabrian sırtında (Güney İtalya) tanımlanan moloz akması ve türbidit çökellerinin oluşumunu başlatan mekanizma depremlerdir. Söz konusu sırtın dik havza yamaçlarındaki sediment taşınma prosesinin, rotasyonel kayma-oturma hareketi ile başladığı, akabinde moloz akması ve yoğun akıntılar şeklinde devam ettiği belirtilmiştir [78]. İnceleme alanında elde edilen bazı veriler, büyük ölçekli kayma-oturma yapılarının gelişiminin sismik aktivitelerle ilişkili olduğunu göstermektedir [örneğin 81]. Bu veriler; -Kayma-oturma yapılarının aynı seviyede kilometrelerce devamlılık göstermesi (Hacitemur Köyü çevresinde; 5 km den fazla), -Kayma-oturma yapılarının düşük eğimli yamaçlarda oluşmuş olması, -Tektonik olarak aktif olan bir havzanın sismik aktivite için uygun ortam olması ve -Elazığ Tersiyer havzasında aynı birimin farklı lokasyonlarında sismik ve genişlemeli (neptüniyen dayklar) hareketlere bağlı yumuşak çökel deformasyon yapıları tanımlanmış olmasıdır [82].

Depremler aktif tektonik hareketlerle ilişkili olarak oluşan doğal olaylardır. Güncel depremler bölgesel olarak sıkışmalı ve genişlemeli kuşaklarda yoğunlaşmaktadır. Örneğin Alp-Himalaya kıtasal çarpışma kuşağı ve kıtasal açılma zonları (Doğu Afrika rifti). Eski depremlerin jeolojik kayıtları sedimanter kayalarda günümüze kadar korunmuş olup bunlar sismik olarak tanımlanmıştır. Sims [83], her bir sismik deformasyon horizonunun Mercalli ölçeğine göre 6 veya daha büyük bir deprem büyüklüğünde oluştuğunu vurgulamıştır. Morgenstern [68] denizaltında gelişen büyük ölçekli kayma-oturma yapıları ile yakın mesafedeki büyük magnitudlü depremlerin ilişkisini tartışmıştır.

Denizel ortamlarda oluşan yumuşak çökel deformasyon yapılarına bir örnek; Kayma-oturma yapıları, Kırkgeçit Formasyonu, KB Baskil, Elazığ



Şekil 6. A) 1. Lokasyon; Mağara Tepe’de gözlenen kayma-oturma yapısı. B, C ve D) 2. Lokasyon; Matüte Tepe I’de yer alan kayma-oturma yapısı. 2 seviye halinde gözlenmektedir. E ve F) 3. Lokasyon; Matüte Tepe II’de gözlenen kayma-oturma yapısı ve yakından görünümü.

Araştırmacı 3 dereceye kadar düşük eğime sahip yamaçlarda kayma-oturma yapılarının oluşabileceğini ve bunlarla ilişkili sismik aktivitelerin büyüklüğünün 6’dan fazla olduğunu vurgulamıştır. Alkyonides Havzasında (Yunanistan), denizaltında kayma-oturma hareketi ile ilişkili bir kütle belirlenmiş olup bu kütle akışını başlatan mekanizmanın Yunanistan’da 1881 yılında 6,4-6,7 arasında büyüklüklere sahip ilk deprem şoku olduğu sonucuna varılmıştır [84]. Çalışma alanında gözlenen deformasyon yapıları bu değerlendirmelerle karşılaştırıldığında, sedimantasyon sırasında bölgede en az 6 veya daha büyük depremlerin etkili olduğunu ifade edebiliriz.



Şekil 7. A) 4. Lokasyon; Hacitemur mahallesi çevresinde gözlenen kayma-oturma yapısı, B) 5. Lokasyon; Halitoğlu mahallesi çevresinde gözlenen kayma-oturma yapısı, C) 5. Lokasyonda kayma-oturma yapıları ile ilişkili olarak gözlenen sinsedimanter ters fay. D) 6. Lokasyon; Kavurga Tepe’de gözlenen yatık özellikteki kayma-oturma yapısı.

5. Sonuçlar

1. Kırkgeçit Formasyonu’nun Baskil (Elazığ) kuzeybatısında Hacı Temur köyü çevresindeki yüzeylemelerinde 6 lokasyonda ölçülen kesitlerde kayma-oturma yapıları ve bunlarla ilişkili sinsedimanter faylar gözlenmiştir. Bu kesitler karşılaştırılarak kayma-oturma yapılarının aynı seviyede 5 km kadar devamlılık gösterdiği belirlenmiştir.
2. Kayma-oturma yapıları; kalkarenit (Biyoklastik-litoklastik istifası-vaketaşı) ve karbonat çamurtaşı ardalanmasından oluşan fasiyeslerde gözlenmiştir. Söz konusu fasiyesler ve ilişkili olarak gözlenen tepelik resifleri düşük eğimli bir yamaç ortamını temsil etmektedir.
3. Kayma-oturma yapılarının deformasyon mekanizması, sediment kütle hareketi yada tam bir sıvılaşma sonucu sedimentin dayanımında geçici ve büyük azalmalara bağlı plastik davranışı ile ilişkilidir.
4. Bir dalma-batma kuşağı (Arabistan levhasının Avrasya levhası altına dalması) ile ilişkili yay-gerisi bir havzada genişlemeli rejime bağlı gelişen Kırkgeçit Formasyonu’nun çökmesi sırasında havza yoğun tektonik hareketlerin etkisinde kalmıştır [17, 85]. Dolayısıyla tektonizma ve tektonik hareketler sonucu oluşan sismik aktiviteler yumuşak çökel deformasyon yapılarının oluşumunda önemli tetikleyici mekanizmadır. Bu nedenle birimde tanımlanan kayma-oturma yapılarının oluşumunu başlatan mekanizma havzadaki sismik aktivitelerle ilişkilendirilmiştir.
5. Denizel ortamlarda tanımlanan kayma-oturma yapılarının sismik aktivitelerle ilişkisi değerlendirildiğinde inceleme alanında en az 6 veya daha büyük magnitüdü sismik aktivitelerin etkili olduğu söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 116Y017 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Bu makale danışmanlığını yaptığım Fırat Altun’a (122116101) ait yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Makalenin incelenmesi sırasında yapmış oldukları katkılarından dolayı hakemlere teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Yazgan E. Geodyamic evolution of the Eastern Taurus region. In: Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., eds., Geology of the Taurus Belt. Ankara 1984; 199-208.
- [2] Aktaş E, Robertson A. H. F. The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of the Neotethyan Continental Active Margin. In: Dixon, J.E and Robertson, A.H.F.(eds). Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, The Special Publication of Geological Society, Blackwell Scientific Publication, Edinburg 1984; 375-402.
- [3] Perinçek D. Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları. TPAO Arsivi Raporu no:1361 (Yayınlanmamış) Ankara 1979.
- [4] Bingöl A.F. Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus region. International Symposium on the geology of the Taurus Belt, O.Tekeli and M.C. Göncüoğlu (eds) Proceedings, Ankara 1984; 209-216.
- [5] Özkul M. Güneycayırı (Elazığ) bölgesinin sedimantolojisi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Elazığ 1982.
- [6] Avşar N. Elazığ yakın kuzeybatısında stratigrafik ve mikropaleontolojik araştırmalar. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst. Elazığ, 1983.
- [7] Turan M. Baskil Aydınlar (Elazığ) Yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora Tezi (Yayımlanmamış), F.Ü Fen Bil. Enst., Elazığ, 1984.
- [8] Sungurlu O, Perinçek D, Kut G, Tuna E, Dülger S, Çelikdemir E, Naz H, Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojisi. Petrol İşleri Gen. Müd. Derg. 1985; 29, 83-191.
- [9] Özkul M, Üşenmez Ş. Elazığ kuzeydoğusunda derin deniz konglomeralarının sedimantolojik incelenmesi. G.Ü. Müh. Mim. Fak. Derg. 1986; 1-2, 53-57.
- [10] Tatar Y. Elazığ bölgesinin genel tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler. Yerbilimleri 1987; 14, 295-308.
- [11] Akpınar C. Çatalharman-Çömlek-Kutoğlu (Elazığ KD'su) yöresinin sedimantolojik incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, F. Ü. Fen Bil. Enst. Elazığ, 1988.
- [12] Özkul M. Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimantolojik incelemeler. Doktora tezi (Yayımlanmamış), F.Ü. Fen Bil. Enst. Elazığ, 1988.
- [13] İnceöz M. Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri, Doktora tezi (yayımlanmamış). F.Ü. Fen Bil. Enst. Elazığ, 1994.
- [14] Turan M, Aksoy E, Bingöl AF. Doğu Torosların Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri. F.Ü. Fen ve Müh. Bil. Der. 1995; 7,2, 177-199.
- [15] Aksoy E, Turan M, Türkmen İ, Özkul M. Elazığ Havzasının Tersiyer'deki Evrimi. KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri, 16-20 Ekim 1995, Trabzon. 293-310.
- [16] Özkul M, Kerey E. Şelf, derin-deniz kompleksinde fasiyes analizleri: Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen) Baskil, Elazığ. Turk. J. Earth Sci. 1996; 5, 57-70.
- [17] Türkmen İ, Esen N. Şelf, kanyon ve havza düzlüğü kompleksinin fasiyes özellikleri: Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen), Elazığ çevresi, Türkiye. Fırat Üniv. Fen ve Müh.Bil.Der. 1997; 9 (2), 107-123.
- [18] Cronin BT, Hartley AJ, Çelik H, Hurst A, Türkmen İ, Kerey İE. Equilibrium profile development in graded deep water slopes:: Eocene, Eastern Turkey. J. Geol. Soc. London 2000; 157, 943-955.
- [19] Türkmen İ, İnceöz M, Kerey İE. Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen): Gel-git düzlüğü ve fırtınalı şelf kompleksine bir örnek (Elazığ KKB'sı). H.Ü. Yerbilimleri Bülteni 1999; 21, 125-142.
- [20] Türkmen İ, İnceöz M, Aksoy E, Kaya M. Elazığ yöresinin Eosen stratigrafisi ve paleocografyası ile ilgili yeni bulgular. H.Ü. Yerbilimleri 2001; 24,81-95.
- [21] Türkmen İ, Ertürk Y. Kırkgeçit Formasyonu'nun (Orta Eosen-Oligosen) Akuşağı Köyü (Baskil-Elazığ) dolaylarındaki yüzeylemelerinin sedimantolojik özellikleri, TPJD Bülteni 2002; 14, 2, 1-16.
- [22] Cronin BT, Çelik H, Hurst A, Türkmen İ. Mud prone entrenched deep-water slope channel complexes from the Eocene of eastern Turkey, In: D.M. Hodgson and S.S. Flint, (Eds), Submarine Slope Systems: Processes and Products, Geological Society, London, Special Publications 2005; 244, 155-180.
- [23] Sims JD. Earthquake-induced structures in sediments in Van Norman Lake, San Fernando, California. Science 1973; 182, 161-163.
- [24] Hempton MR, Dewey JS. Earthquake-induced deformational structures in young lacustrine sediments, East Anatolian Fault, southeast Turkey. Tectonophysics 1983; 98, T14-T17.
- [25] Karlin RE, Abella SEB. Paleoeearthquakes in the Puget Sound Region recorded in sediments from lake Washington, USA. Science 1992; 258, 1617-1619.
- [26] Scott B, Price S. Earthquake-induced structures in young sediments. Tectonophysics 1988; 147, 165-170.
- [27] Alfaro P, Moretti M, Soria JM. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, Central Betic Cordillera). Eclogae Geol. Helv. 1997; 90, 531-540.
- [28] Jones AP, Omoto K. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira basins, northeastern Japan. Sedimentology 2000; 47, 1211-1226.

- [29] Rodríguez-Pascua MA, Calvo JP, De Vicente G, Gómez-Gras D. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the late Miocene, *Sediment. Geol.* 2000; 135, 117–135.
- [30] Moretti M, Sabato L. Recognition of trigger mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant ‘Arcangelo Basin (Southern Italy): seismic shock vs. overloading. *Sediment. Geol.* 2007; 196, 31–45.
- [31] Koç Taşgin C, Türkmen I. Analysis of soft-sediment deformation structures in Neogene fluvio-lacustrine deposits of Çaybağı Formation. Eastern Turkey, *Sediment. Geol.* 2009; 218, 16–30.
- [32] Gibert L, Sanz de Galdeano C, Alfaro P, Scott G, López Garrido AC. Seismic induced slump in Early Pleistocene deltaic deposits of the Baza Basin (SE Spain). *Sediment. Geol.* 2005; 179, 279–294.
- [33] Owen G, Moretti M. Determining the origin of soft-sediment deformation structures: a case study from Upper Carboniferous delta deposits in south-west Wales, UK. *Terra Nova* 2008; 20, 237–245.
- [34] Postma G. Water escape structures in the context of a depositional model of a mass flow dominated conglomeratic fan-delta (Abrijoja Formation, Pliocene, Almeria Basin, SE Spain). *Sedimentology* 1983; 30, 91–103.
- [35] Johnson HD. Sedimentation and water escape structures in some late Precambrian shallow marine sandstones from Finnmark, North Norway. *Sedimentology* 1997; 24, 389–411.
- [36] Bhattacharya HN, Bandyopadhyay S. Seismites in a Proterozoic tidal succession, Singhbhum, Bihar, India. *Sediment. Geol.* 1998; 119, 239–252.
- [37] Molina JM, Alfaro P, Moretti M, Soria JM. Soft-sediment deformation structures induced by cyclic stress of storm waves in tempestites (Miocene, Guadalquivir Basin, Spain). *Terra Nova* 1998; 10, 145–150.
- [38] Rossetti DF. Soft-sediment deformation structures in late Albian to Cenomanian deposits, Sao Luis Basin, Northern Brazil: evidence for palaeoseismicity. *Sedimentology* 1999; 46, 1065–1081.
- [39] Rossetti DF. Soft-sediment deformational structures in late Albian to Cenomanian deposits, Saõ Luı’s Basin, northern Brazil: evidences for paleoseismicity. *Sedimentology* 2000; 46, 1065–1081.
- [40] Spalluto L, Moretti M, Festa V, Tropeano M. Seismically-induced slumps in Lower-Maastrichtian peritidal carbonates of the Apulian Platform (southern Italy). *Sediment. Geol.* 2007; 196, 81–98.
- [41] Chen J, Lee HS. Soft-Sediment deformation structures in Cambrian Siliciclastic and carbonate storm deposits (Shandong Province, China): Differential liquefaction and fluidization triggered by storm-wave loading. *Sediment. Geol.* 2013; 288, 81–94.
- [42] Poldsaar K, Ainsaar L. Extensive soft-sediment deformation structures in the early Darrivilian (Middle Ordovician) shallow marine siliciclastic sediments formed on the Baltoscandian carbonate ramp, northwestern Estonia. *Mar. Geol.* 2013; 356, 111–127.
- [43] Kuenen PH. Experiments in geology. *Trans. Geol. Soc. Glasgow* 1958; 23, 1–28.
- [44] Nichols RJ, Sparks RSJ, Wilson CJN. Experimental studies of the fluidization of layered sediments and the formation of fluid escape structures. *Sedimentology* 1994; 41, 233–253.
- [45] Owen G. Experimental soft-sediment deformation structures formed by the liquefaction of unconsolidated sands and some ancient examples. *Sedimentology* 1996; 43, 279–293.
- [46] Moretti M, Alfaro P, Caselles O, Canas JA. Modeling seismites with a digital shaking table. *Tectonophysics* 1999; 304, 369–383.
- [47] Demicco RV, Hardie LA. Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. *S.E.P.M. Atlas Series* 1994; 1, 265 p.
- [48] Kahle CF. Seismogenic deformation structures in microbialities and mudstones, Silurian Lockport Dolomite, Northwestern Ohio, U.S.A. *J. Sediment. Res.* 2002; 72, 201–216.
- [49] Attou A, Hamoumi N. Le Silurien de la région d'OuladAbbou (Meseta occidentale, Maroc): une sédimentation péritidalesous contrôle tectonique. *C. R. Geoscience* 2004; 336, 767–774.
- [50] André JP, Saint Martin JP, Moissette P, Garcia F, Corné JJ, Ferrandini M. An unusual Messinian succession in the Sinis Peninsula, western Sardinia, Italy. *Sediment. Geol.* 2004; 167, 41–55.
- [51] Bernoulli D, Jenkins HC. Alpine, Mediterranean, and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. In, R.H. Dott and R.H. Shaver (Eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1974; Special Publication no. 19, p. 129–160.
- [52] Alvarez W, Colacicchi R, Montanari A. Synsedimentary slides and bedding formation in Apennine pelagic limestones. *J. Sed. Petrol.*, 1985; 55, 720–734.
- [53] Coniglio M. Synsedimentary submarine slope failure and tectonic deformation in deep water carbonates, Cow Head Group, Western Newfoundland. *Can J Earth Sci.* 1986; 23, 476–490.
- [54] Henrich R, Hanebuth TJJ, Krastel S, Neubert N, Wynn RB. Architecture and sediment dynamics of the Mauritania slide complex. *Mar. Petrol. Geol.* 2008; 25, 17–33.
- [55] Henrich R, Hanebuth TJJ, Cherubini Y, Kraste S, Pierau R, Zühlsdorff C. Submarine mass movements and their consequences, Climate-induced turbidity current activity in NW-African canyon systems, In: Mosher DC, Shipp R C, Moscardilli L, Chaytor JD, Baxter CDP, Lee HJ, Urgeles R. editors (Springer, Berlin, Germany) 2009.
- [56] Naylor MA. Debris flow (olistostromes) and slumping on a distal passive continental margin: the Palombini limestone–shale sequence of the northern Apennines. *Sedimentology* 1981; 28, 6, 837–852.

- [57] Weissert HJ. Depositional processes in an ancient pelagic environment: the Lower Cretaceous Maiolica of the Southern Alps. *Eclogae Geol. Helv.* 1981; 74, 339e352.
- [58] Jewell HE, Ettenshon R. An ancient seismite response to Taconian far-field forces: the Cane RunBed, Upper Ordovician (Trenton) Lexington Limestone, central Kentucky (USA). *J. Geodyn.* 2004; 37, 487–511.
- [59] Mastrogiacomo G, Moretti M, Owen G, Spalluto. Tectonic triggering of slump sheets in the Upper Cretaceous carbonate succession of the Porto Selvaggio area (Salento Peninsula, southern Italy): Synsedimentary tectonics in the APULIAN Carbonate Platform. *Sediment. Geol.* 2012; 269-270, 15–27.
- [60] Kipman E. Keban'ın jeolojisi ve Keban şaryajı. *İ.Ü. Yerbilimleri Dergisi* 1981; 1–2, 75–81.
- [61] Aygen G. Baskil-Akuşağı (B Elazığ) yakın civarının biyostratigrafisi ve paleontolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2000; 80 s. (yayınlanmamış).
- [62] Ertürk YT. Akuşağı Köyü (Baskil/Elazığ) dolaylarında Kırkgeçit Formasyonu'nun Sedimentolojik Özellikleri. Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 2001; 46 s.
- [63] Çetindağ B. Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Elazığ 1985; 117s (Yayımlanmamış).
- [64] Flügel E. *Microfacies Analysis of Limestones.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982; 633p.
- [65] Mutti E, Ricci Lucchi F. Le torbiditi Dell'Apenino settentrionale: Introduzione all'analisi di facies. *Memoir Soc. Geol. Italy* 1972; 11, 161-199.
- [66] Walker RG, Mutti E. Turbidite facies and facies associations: In: G.V. Middleton and A.H. Bouma, Eds., *Turbidites and deep water sedimentation.* SEPM. Pacific Sect. Short Course, Anaheim, California 1973; 119-158.
- [67] Clark DN, Dickson JAD, Skeleton PW, Tucker ME, Wilson, RCL, Wright WP. *Carbonate Geology,* Open University Press. 1984; 171pp.
- [68] Morgenstern NR. Submarine slumping and the initiation of turbidity currents (ed. A. F. Richards), *Marine Geotechnique Urbana, Ill., University of Illinois Press,* 1967, 189—219.
- [69] Mills PC. Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures — a review. *Sediment. Geol.* 1983; 35, 83–104.
- [70] Dill RF. Contemporary erosion in the heads of submarine canyons. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 1964; 76, 45.
- [71] Shepard PH. Delta-front valleys bordering the Mississippi distributaries. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1955; 66, 1489–1498.
- [72] Allen JRL. Sedimentary structures, their character and physical basis. *Developments in Sedimentology* 1982; 30A and B, Vol. I, 593 p., Vol II, 663 p. Elsevier, Amsterdam.
- [73] Alsop G I, Marco S. Soft-sediment deformation within seismogenic slumps of the Dead Sea Basin. *J. Struct. Geol.* 2011; 33(4), 433-457.
- [74] Moore DG. Submarine slumps. *J. Sediment. Petrol.* 1961; 31, 343-357.
- [75] Kuenen PH. Emplacement of flysch-type sand beds. *Sedimentology* 1967; 9, 203-243.
- [76] Corbett KD. Open cast slump sheets and their relationship to sandstone beds in an Upper Cambrian flysch sequence, Tasmania. *J. Sediment. Petrol.* 1973; 43, 147-159.
- [77] Debacker TN. Large-scale slumping deduced from structural and sedimentary features in the Lower Palaeozoic Anglo-Brabant fold belt, Belgium. *J. Geol. Soc.* 2001; 158, 341-352.
- [78] Kastens KA. Earthquakes as a triggering mechanism for debris flows and turbidites on the Calabrian Ridge. *Mar. Geol.* 1984; 55, 1–2, 13-33.
- [79] Koç-Taşgın C, Türkmen İ, Diniz-Akarca C. Synsedimentary deformation structures on early Miocene lacustrine deposits of the Bigadiç basin (Balıkesir), basal limestone unit. *B. Gen. Direct. Min. Research and Exploration (MTA)* 2018; 156, 67-86.
- [80] Rossetti DF, Santos JAE. Events of sediment deformation and mass failure in Upper Cretaceous estuarine deposits (Cameta Basin, northern Brazil) as evidence for seismic activity. *Sediment. Geol.* 2003; 161, 107-130.
- [81] Ge Y, Zhong J. Trigger recognition of Early Cretaceous soft-sediment deformation structures in a deep-water slope-failure system. *Geol. J.* 2017; 1-16.
- [82] Koç-Taşgın C. Kırkgeçit Formasyonu'nda (Elazığ Çevresi) Gözlenen Yumuşak Çökel Deformasyon Yapılarının Özellikleri ve Oluşumu. TÜBİTAK 116Y017 Nolu Proje raporu (Hızlı Destek) 2018; 104s.
- [83] Sims JD. Determining earthquake recurrence intervals from deformation structures in young lacustrine sediments, *Tectonophysics* 1975; 29, 141-152.
- [84] Perissoratis C, Mitropoulos D, Angelopoulos I. The role of earthquakes in inducing sediment mass movements in the eastern Korinthiakos Gulf. An example from the February 24–March 4, 1981 activity. *Marine Geology* 1984; 55, 35-45.
- [85] Aksoy E, Türkmen İ, Turan M. Tectonics and sedimentation in convergent margin basins: an example from the Tertiary Elazığ basin, Eastern Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 2005; 25, 459-472.

Gümüş Nanoparçacık (AgNP) İçeren Polimerik Nanokompozit Düz Plaka Membranların Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Benan YAZICI-KARABULUT^{*1}, Derya Yüksel İMER², Mehmet KİTİŞ³, İsmail KOYUNCU²

^{*1} Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

² Çevre Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³ Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

^{*1} benanyazici@harran.edu.tr, ² imerd@itu.edu.tr, ³ mehmetkitis@sdu.edu.tr, ² koyuncu@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 10/07/2018;

Kabul/Accepted: 11/02/2019)

Özet: Membran proseslerindeki en önemli sorunlardan bir tanesi de membran kirlenmesidir. Membranlarda oluşan kirlilik membranların işleyişini olumsuz yönde etkilemekte ve filtrasyon performansını da sınırlandırmaktadır. Kirliliğin önlemesi amacıyla membranların üretim aşamasında modifiye edilmeleri gerekebilmektedir. Bu çalışma kapsamında da literatür bilgilerinden edinilen öngörü ve nanoteknoloji alanındaki gelişmelere bağlı olarak membranların gümüş (AgNP) nanoparçacık ilavesiyle üretilmesi, membranların ayrıntılı karakterizasyonu ve üretilen bu membranların laboratuvar ölçekli sistemlerde uzun süreli filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler iki aşamada yapılmıştır. İlk olarak, literatürde membran biyoreaktörlerde en çok kullanılan membran polimerlerinden olan polietersülfon (PES) ve polivinilidenflorid (PVDF) polimeri seçilerek membran dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yine bu polimerler ile aynı şartlarda farklı oranlarda gümüş nanoparçacık (AgNP, %0.4, %0.8 ve %1.2) ile de membran üretimi optimize edilmiş ve en uygun AgNP oranı seçilmiştir. İkinci aşamada, seçilen AgNP oranında üretilmiş nanokompozit membranların laboratuvar ölçekli klasik filtrasyon sisteminde gerçek aktif çamur ortamında performansları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Polietersülfon, polivinilidenflorid, gümüş nano-parçacık, membran sentezi, karakterizasyon.

Production and Characterization of Polymeric Nanocomposite Flat Sheet Membranes Containing Silver Nano-Particles (AgNP)

Abstract: One of the most important problems in membrane processes is membrane fouling. The pollution in the membranes adversely affects the operation of the membranes and limits the filtration performance. In order to prevent pollution, the membranes may need to be modified during the production process. In this study, production of the membranes with silver (AgNP) nanoparticles, detailed characterization of the membranes and long-term filtration experiments were performed at lab-scale membrane system. The experiments were performed at two stages. Initially, the most commonly used polymers of polyethersulfone (PES) and polyvinylidene fluoride (PVDF) at the membrane bioreactors were selected and the membrane casting was performed. In this stage, also membrane production was optimized with the same polymers and conditions but different silver nanoparticle ratio (AgNP, 0.4%, 0.8% and 1.2%) and the optimum silver nanoparticle ratio was selected. At the second stage, the nanocomposite membranes produced with optimum AgNP ratio were tested with real activated sludge at the lab-scale conventional filtration system.

Key words: Polyethersulfone, polyvinylidene fluoride, silver nano-particles, membrane synthesis, characterization.

1. Giriş

Arıtma sistemlerinde membran proseslerinin kullanılmasındaki en büyük sorun membran kirlenmesidir. Son 20 yılda literatürde membran sistemleri ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmıştır. Kirlenme, membran yüzeyinin veya gözeneklerinin askıda katı maddeler, partiküller veya kolloidler tarafından kontrolsüz bir şekilde tıkanmasıdır. Membranlardaki tıkanma membran filtrasyon performansını sınırlandırır. Dolayısıyla, birim transmembran basıncına karşılık membrandan geçen akının, dolayısıyla da, birim membran alanı başına artırılmış temiz su üretiminin azalmasına neden olur. İçme suyu veya doğal sularda kullanılan membran sistemlerinde, kirlenmeye kolloidal maddeler sebep olurken, atıksu arıtımında özellikle aktif çamur sistemine entegre edilen membran sistemlerinde (membran biyoreaktör-MBR) kirlenmeye hem bakteriyel hücreler hem de hücre dışına salgılanan kolloidal maddeler sebep olur. Son 1-2 yılda kirlenme ile ilgili çalışmalar membran materyalinin özelliklerinin kirlenmeyi önleyecek şekilde modifiye edilmesine doğru yönelmiştir. Bu konuda yapılan

* Sorumlu yazar: benanyazici@harran.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0140-204X, ² 0000-0003-3023-4556, ³ 0000-0002-6836-3129, ² 0000-0001-8354-1889

çalışmalarda kendi içinde bölümlere ayrılmıştır. Bunlar, ticari membranların yüzey özelliklerinin fiziksel veya kimyasal yöntemler ile değiştirilmesi ve membran yüzeyinin çeşitli ara malzemeler ile kaplanması ve çeşitli ek maddeler ile membran üretimidir. Şu ana kadar membran özelliklerinin değiştirilmesi ile ilgili yapılan bu çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir. Ananth ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada PES membranlarda n-Ag kullanılarak bakteri kaynaklı membran tıkanması önlenmiş ve hidrofiliğin arttığı gözlemlenmiştir [1]. Yine aynı şekilde Chen ve diğerleri tarafından yapılan bir diğer çalışma sonuçlarına göre AgNP eklenmiş PVDF membranların hidrofiliği artmıştır. Ayrıca mekanik dayanımları ve yapıları üzerinde güçlü bir etkiye sebep olmuştur [2].

Membranlarda biyokirlenme, nanoparçacıkların antibakteriyel özellikleri kullanılarak önenebilir. Polimerik membranlarda tıkanmanın azaltılması amaçlı kullanılan Ag nanoparçacığı antibakteriyellere tipik bir örnektir. Bununla birlikte Ag nanoparçacığının bir dezavantajı yalnızca iyonik formunun antibakteriyel özellik göstermesidir, bu nedenle membranın yapısına bağlı olan gümüş salınımı mekanizması çok belli olmadığından verimli filtrasyon süresinin önceden belirlenememesidir. Zodrow ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, Ag nanoparçacığın antibakteriyel etkiye ek olarak membran yüzeyinde bakteri oluşumunun engellediğini ve biyofilm oluşumunun azalttığını gözlemişlerdir [3]. Bu çalışmanın sonuçları, Taurozzi ve diğerleri tarafından yapılan, gümüş kaybının biyofilm oluşumunu engellemedeki potansiyel avantajını keşfettikleri araştırmayı doğrular niteliktedir [4].

Çalışma kapsamında AgNP ile üretilmiş polimerik nanokompozit membranların ayrıntılı karakterizasyonu (temas açısı, geçirgenlik, gözenek boyutu, yüzey yükü, pürüzlülük, mekanik dayanım ve SEM) üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu aşamadaki deneyler en az üç kere tekrar edilmiş ve deneyler sonunda geçirgenlik değeri ultrafiltrasyona yakın, hidrofiliği yüksek ve pürüzlülüğü düşük membranlardaki AgNP oranları belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneyler sırasında kullanılan solvent, polimer ve nanoparçacık marka ve kodları Tablo 1’de verilmiştir. Kullanılan kimyasallarda ekstra saflaştırma işlemi yapılmamıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kimyasalların marka ve kodları

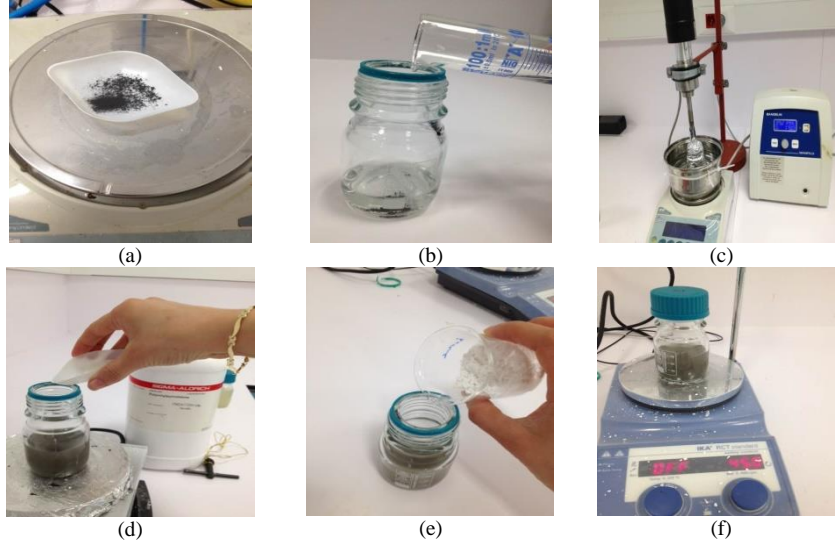
Kimyasal adı	Marka	Kod
Polietersülfon (PES, Mw=55000 Da)	BASF	1/13/392941
Polivinilidenflorid (PVDF, Mw=300000 Da)	Solvay	6020/1001
Polivinilpirolidon (PVP, Mw=40000 Da)	Sigma-Aldrich	101080228
1-Metil 2-pirolidon (NMP)	Sigma-Aldrich	328634
Gümüş nanoparçacık (Ag, 35 nm)	NanoAmor	0476JY

2.2. Saf ve Nanopartiküllü Polimer Çözeltilerinin Hazırlanması

Saf membran çözeltileri; polimer, PVP (gözenek oluşturucu kimyasal) ve solventten oluşur. Üçlü kimyasalın oranları 14/8/78 (% , m/m) olarak sabit tutulmuştur. Saf membran çözeltilerinin hazırlanmasında, ilk olarak PVP kimyasalı solvent içerisine konulmuş ve manyetik karıştırıcıda yaklaşık 20 dk karıştırılarak tamamen çözülmesi sağlanmıştır. Membran çözeltileri oda sıcaklığında hazırlanmıştır. PVP’nin solvent içerisinde tamamen çözünmesinin ardından polimerler eklenmiş ve tamamen homojen bir karışım elde etmek için 24 sa manyetik karıştırıcıda karıştırılmaları sağlanmıştır. Membran dökümü yapılmadan önce bu çözeltiler 20 dk ultrasonikasyon banyosunda bekletilmişlerdir.

AgNP katkılı nanokompozit membranların çözeltilerinin hazırlanmasında AgNP oranları ağırlıkça yüzde olarak (% ağırlık) hesaplanmıştır. AgNP oranları tüm membranlarda %0.4, 0.8 ve 1.2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Membran çözeltilerinin hazırlanmasında polimer, PVP ve solvent oranları sabit tutulmuş, AgNP miktarları değiştirilmiştir.

Nanoparçacıklı membran çözeltilerinin hazırlanmasına ait örnek fotoğraflar Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Nanokompozit membranlar için çözelti hazırlama aşamaları

Çözeltilerin hazırlanmasında, ilk olarak AgNP'nin belirlenen miktarlarda tartımı yapılmıştır (a), sonrasında solvent içerisine konulmuş (b) ve sonikasyon probu ile 20 dk nanoparçacığın tamamen çözünmesi sağlanmıştır (c). Nanokompozit membranların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için membran çözeltilerin hazırlanmasında bütün nanoparçacıklar aynı miktarlar da seçilmiştir. AgNP çözüldükten sonra, PVP eklenmiş (d, e) ve manyetik karıştırıcıda yaklaşık 20 dk karıştırılarak PVP'nin de tamamen çözülmesi sağlanmıştır (f). PVP ve nanoparçacık solvent içerisinde tamamen çözünmesinin ardından polimerler eklenmiş ve tamamen homojen bir karışım elde etmek için 24 sa manyetik karıştırıcıda karıştırılmaları sağlanmıştır. Membran dökümü yapılmadan önce bu çözeltiler de saf membranların çözeltilerine benzer şekilde 20 dk ultrasonikasyon banyosunda bekletilmişlerdir.

2.3. Saf ve Nanokompozit Düz Plaka Membranların Laboratuvar Ölçeğinde Dökümü

Düz plaka halinde saf ve nanokompozit membranların dökümünde evre dönüşüm (phase inversion) yöntemi kullanılmıştır. Saf ve nanokompozit membranların döküm işlemleri aynı şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Membran dökümünde ilk olarak homojen dağılımı sağlanmış membran çözeltisi cam yüzey üzerine belirli hacimde dökülmüş ve dökme bıçağı (casting knife, Sheen marka) sabit kalınlığa ayarlanarak bu çözeltinin üzerine yerleştirilmiştir. Ardından laboratuvar ölçekli dökme makinesinin (Sheen, Automatic film applicator) gerekli ayarlamaları yapılarak sabit hızda (100 mm/s) cam yüzeyinde polimer film oluşturulmuştur. Bu esnada oluşturulmak istenen membranın özelliğine bağlı olarak polimer filmler belirli bir solvent buharlaşma süresinde bekletilmişlerdir. Bu çalışmada buharlaşma süresi 10 sn olarak sabit tutulmuştur. Buharlaşmanın ardından polimer filmlerinin olduğu camlar destile suyun bulunduğu koagülasyon banyosuna daldırılmışlardır. Bu esnada en az 5 dk membranın oluşması beklenmiş ve ardından oluşan membranlar destile suyun bulunduğu temiz bir kaba aktarılmışlardır. Biyolojik büyümenin olmaması ve reaksiyona girmeyen polimer veya solventin membrandan uzaklaşması için üretilen membranlar en az 1 hafta süre ile + 4 °C'de soğuk odada saklanmışlardır.

2.4. Membran Karakterizasyon Teknikleri

Üretilen saf ve nanoparçacıklı membranlar yaklaşık 1 hafta soğuk odada bekletildikten sonra karakterizasyon deneylerine başlanmıştır. Karakterizasyon deneylerinden önce membranların kalınlıkları mikrometre yardımı ile hassas bir şekilde ölçülmüş kalınlığı yaklaşık 180-200 µm aralığında olan membranlar deneylerde kullanılmak üzere seçilmişlerdir.

Karakterizasyon deneylerinde Sterlitech HP4750 marka manyetik karıştırıcı (membran yüzeyinde çapraz akış yaratmak amacıyla) klasik filtrasyon hücresi kullanılarak geçirgenlik ve aktif çamur performansları belirlenmiştir. Membranların geçirgenlik değerleri (R) birim basınç ve zamanda, birim membran alanında geçen su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$R = \frac{J}{\Delta P} \quad (1)$$

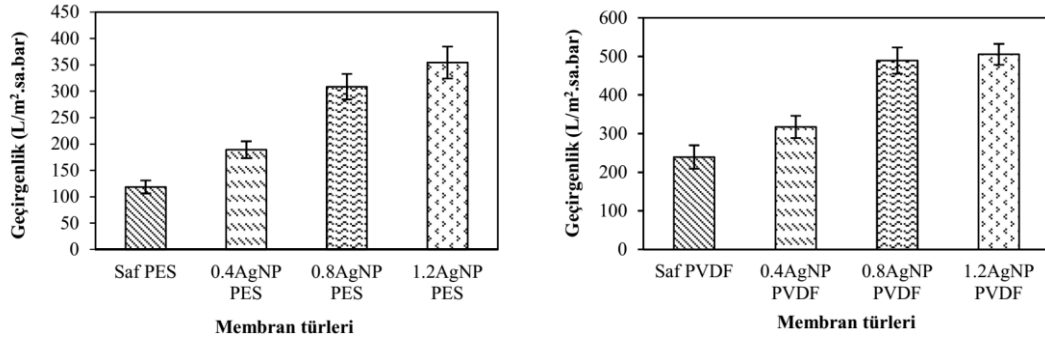
R: Geçirgenlik, L/m²sa.bar, J: Akı, L/m²sa, ΔP: Basınç, bar

Membranların ıslanabilirliğinin bir göstergesi olan hidrofilik veya hidrofobik özelliğin ölçümü için KSV Attension marka Theta model temas açısı cihazı kullanılmış ve damlatma yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Saf ve nanoparçacıklı membranların yüzey yükleri Anton Paar marka Surpass model elektrokinetik ölçer ile ölçülmüştür. DMS6100 Dynamic Mechanical Spectrometer (200 Hz) Module cihazı kullanılarak membranların mekanik dayanımlılığı ölçülmüştür. Porometre ölçümlerinde Quantachrome Enstruments Porometer 3G zh cihazı kullanılmıştır. Membranların yüzey özelliklerinin gözlenmesi amacıyla FEI marka Quanta Feg250 model SEM cihazı ve pürüzlülük değerinin belirlenmesi için de Zygo New View 7100 optik profilometre cihazı kullanılmıştır. Numunelerdeki toplam gümüş konsantrasyonunu belirlemek için Perkin-Elmer (Norwalk, CT) Optima 3000 DV Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) marka ICP cihazı kullanılmıştır.

3. Tartışma

3.1. Geçirgenlik Deneyi Sonuçları

Membranların geçirgenlik değeri farklı basınçlarda elde edilen saf su akılarından hesaplanmıştır. Saf ve nanokompozit PES ve PVDF membranların geçirgenlik değerleri en az üç membranda ölçülmüş ve sonuçlar grafiksel olarak ortalama ve standart sapma değerleri ile verilmiştir. Saf ve nanokompozit PES ve PVDF membranların geçirgenlik değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Saf PES membranın geçirgenlik değeri 118 ± 12 L/m²sa.bar olarak bulunmuş iken AgNP eklenmesinin ardından geçirgenlik değerleri AgNP oranına bağlı olarak, 0.4AgNP için 189 ± 16 L/m²sa.bar, 0.8AgNP için 308 ± 24 L/m²sa.bar ve 1.2AgNP için ise 354 ± 30 L/m²sa.bar olarak bulunmuştur. AgNP eklenmesi ve oranının artırılması ile Saf PES membranın geçirgenlik değeri önemli oranda artmıştır. AgNP eklenmesiyle Saf PES membranların saf su akılarındaki artış Huang ve diğerleri tarafından da belirtilmiştir [5]. Benzer şekilde Zhang ve diğerleri de AgNP ile PES-UF membran üretimi yapmışlar ve saf su akılarının AgNP eklenmesiyle ve artan AgNP oranlarında arttığını gözlemlemişler ve bunu membranların hidrofilikliğinin artmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [6].



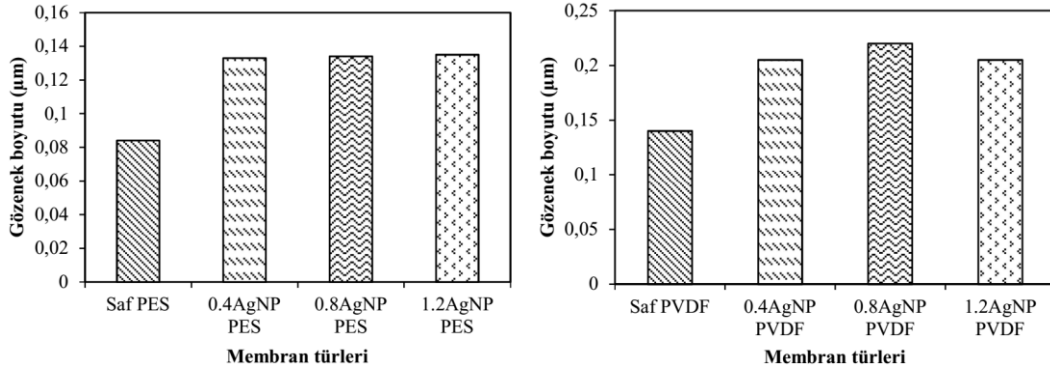
Şekil 2. AgNP içeren PES ve PVDF membranların geçirgenlik değerleri

Saf PVDF membranın geçirgenlik değeri 239 ± 30 L/m²sa.bar olarak bulunmuş iken AgNP eklenmesinin ardından geçirgenlik değerleri AgNP oranına bağlı olarak, 0.4AgNP için 317 ± 29 L/m²sa.bar, 0.8AgNP için 489 ± 34 L/m²sa.bar ve 1.2AgNP için ise 505 ± 27 L/m²sa.bar olarak bulunmuştur. AgNP eklenmesi ve artan AgNP oranlarında Saf PVDF membranın geçirgenlik değeri artmıştır. Literatürde AgNP-PVDF membran üretiminin yapıldığı yayınlardaki geçirgenlik değerlerinin değişimlerine bakıldığında, Li ve diğerleri AgNP'yi PAA (poliakrilik asit) ortamında PVDF membranın yüzeyine tutuklamışlar ve geçirgenlik değerlerinin bu işlem sonrasında azaldığını bulmuşlardır [7]. Yapılan bir diğer çalışmada ise yine AgNP'yi PVDF membranın yüzeyine tutuklamışlar ve 1 barda ölçtükleri saf su akı değerlerinin Saf PVDF membranda 36.4 ± 0.9 L/m²sa olduğunu, AgNP eklenmesiyle bu değerlerin 54.0 ± 0.8, 82.4 ± 0.6 ve 108.6 ± 0.7 L/m²sa'ya çıktığını

gözlemlenmişlerdir. Bu artışı membran hidrofiliğinin artmasının membran yapısı içerisindeki su moleküllerinin hareketini arttırdığını ve bununla suyun geçirgenliğini arttırmasıyla açıklamışlardır [8].

3.2. Porometre Sonuçları

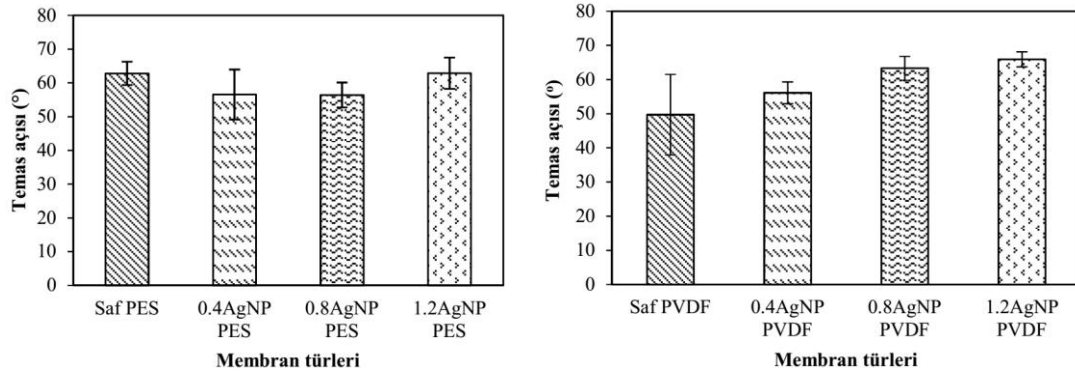
Orijinal grafikte kümülatif gözenek sayısının %50'lik değerine denk gelen yerdeki gözenek çapı dikkate alınarak membranların gözenek boyutu değerleri bulunur. Saf ve nanokompozit PES ve PVDF membranlardaki gözenek boyutu değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Buna bağlı olarak Saf PES membranlardaki gözenek boyutu değeri ~ 0.082 μm bulunmuş olup diğer nanokompozit PES membranlara göre daha düşük bir değere sahip olmuştur. Bunun sebebi ise PES membranlara AgNP eklenmesinin gözenek boyutu değerinin artmasında olumlu bir etkiye sahip olmasıdır. Nanokompozit PES membranlar arasında ise AgNP oranının artması gözenek boyutu değerinde çok fazla bir değişikliğe sebep olmamıştır. Gözenek boyutu değerleri, 0.4AgNP için 0.133 μm , 0.8AgNP için 0.134 μm , 1.2AgNP için ise 0.135 μm olarak bulunmuştur.



Şekil 3. PES ve PVDF membranlar için gözenek boyutu değerleri

3.3. Temas Açısı Sonuçları

Üretilen PES ve PVDF polimerli saf ve nanokompozit membranların temas açısı ölçüm sonuçları Şekil 4'de grafiksel olarak verilmiştir. Temas açısı değerlerine bakıldığında Saf PES membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranlarının arttırılması temas açısı değerlerini değiştirmemiştir. Basri ve diğerlerinin AgNP-PES nanokompozit membranlar üzerine yapmış oldukları çalışmada AgNP'nin membranların hidrofiliğini arttırdığını ve bu artışı, Ag nanopartiküllerinin Saf PES membranın yüzey gerilimini azaltarak suyun membran yüzeyinde daha iyi yayılmasını sağlamasıyla açıklamışlardır [9]. Benzer şekilde yapılmış bir diğer çalışmada PES membrana Ag eklenmesinin temas açısı üzerine olan etkilerini incelemişler ve Ag eklenmesiyle membran hidrofiliğinin arttığını görmüşlerdir. Bunun sebebinin ise Ag'nin su molekülleri ile olan çekim kuvvetinin artması olarak açıklamışlardır [1].

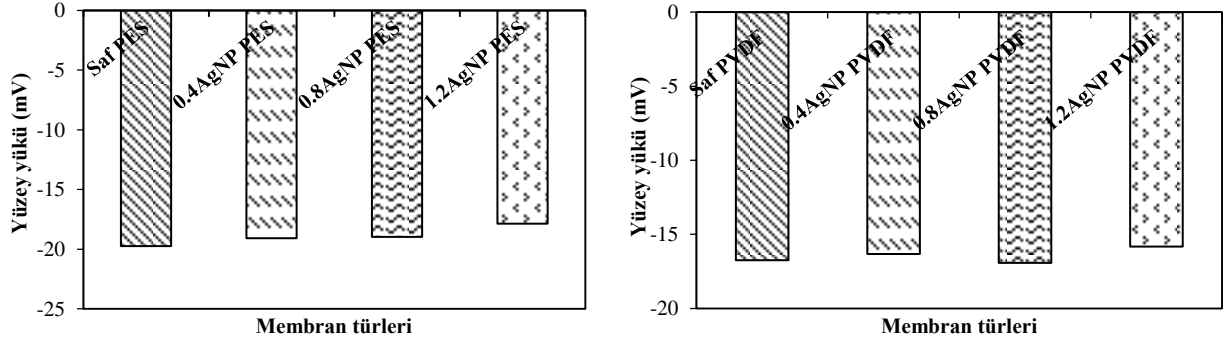


Şekil 4. AgNP içeren PES ve PVDF membranların temas açısı değerleri

PVDF polimerli membranların temas açısı değerlerine bakıldığında AgNP'nin Saf PVDF membrana oranla AgNP içeren membranların temas açısı değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Artan AgNP oranlarında temas açısı değerlerinin artması dolayısıyla hidrofobik özelliğin arttığı şeklinde yorumlanabilir. Literatürde AgNP-PVDF membran üretiminin yapıldığı yayınlardaki temas açısı değerlerinin değişimlerine bakıldığında, De Gusseme ve diğerlerinin yaptığı çalışmada PVDF membranların temas açısı değerlerine bakılmış ve membranlara eklenen Ag miktarının artmasıyla membran hidrofobikliğin arttığı, bu sayede de temas açısı değerlerinin giderek artış gösterdiği görülmüştür [10].

3.4. Yüze Yüklü Sonuçları

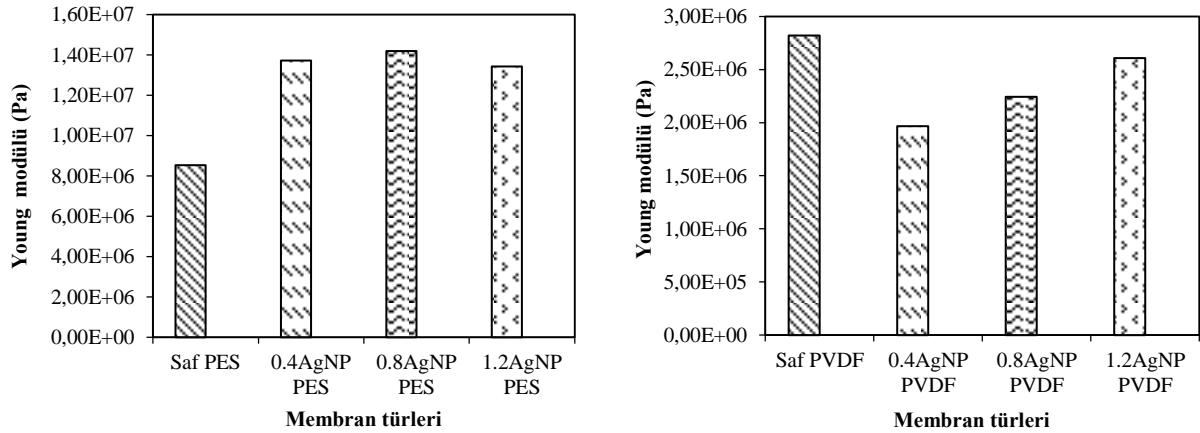
Şekil 5'de AgNP içeren membranların yüze yükü ölçüm sonuçları verilmiştir. Saf PES ve PVDF membranlara AgNP eklenmesi ve membranlardaki AgNP oranlarının artırılması membranların yüze yükü üzerinde bir etkiye sahip değildir. AgNP normal şartlarda 0 değerlidir. Polimer içerisine girdiğinde ve suyla temas ettiğinde ise Ag^+ olarak iyonlaşabilir. PES membranlarda bu iyonlaşmanın meydana gelmesi bu membranlarda yüze yükünün azalmasına diğer bir deyişle pozitif doğru gidiş neden olmuştur.



Şekil 5. AgNP içeren PES ve PVDF membranların yüze yükü ölçüm sonuçları

3.5. Mekanik Dayanımlık Sonuçları

Polimerik membranlara gümüş eklenmesinin membran yapıları ve mekanik dayanımları üzerinde oldukça güçlü bir etkiye sahip olduğu da literatür bilgisi tarafından desteklenmektedir [2]. Şekil 6'da AgNP içeren PES ve PVDF membranların young modül değerleri verilmiştir. AgNP eklenmesi ile PES membranların young modül değerleri artmıştır. Artan AgNP oranlarında ise young modül değerinde çok fazla bir değişim olmamıştır. AgNP eklenmesi ile PVDF membranların young modül değerleri ilk AgNP oranında önce bir miktar azalışa sonra ise artışa sebep olmuştur. Bu farklılık AgNP'nin PVDF membranlarda diğer membranlara göre daha farklı konumlandığını gösterir.



Şekil 6. AgNP içeren PES ve PVDF membranların young modül değerleri

Polimerler ile hazırlanmış tüm gümüş içeren membranlar Saf PVDF membranlara göre daha yüksek mekanik dayanıma ve uzama oranına sahiptir. Genellikle, PVDF ile üretilen membranlarda mekanik dayanımın azalması, PVDF'in kristallik derecesindeki azalışa fayda sağlaması içindir.

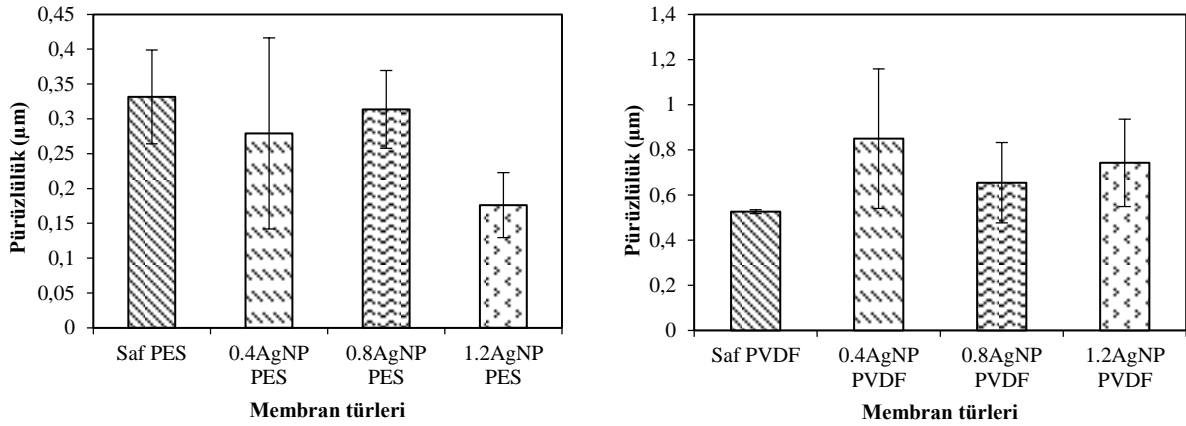
Polimerler ile üretilmiş membranlarda çapraz bağlama ile oluşan birbirine geçmiş yapılar membranın mekanik dayanımlılığını artırır. Gümüşün de membranların mekanik dayanım özelliği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. %1 oranında gümüş içeren bir membranın mekanik dayanımı oldukça fazladır [2].

3.6. Optik Profilometre Sonuçları

Literatürde polimer matriske AgNP eklenmesinin membran yüzey pürüzlülüğüne etkileri polimer türüne, membran türüne (hollow-fiber, düz plaka) ve gümüşün polimer içerisindeki yerleşimine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir [11]. Yüzey pürüzlülüğündeki değişimler, AgNP'nin membranın hangi tabakasında biriktiğini de gösterebilir. Bunun yanında yüzey pürüzlülüğünün değişmesinin kirlenme dengesi üzerinde de etkisi vardır.

Saf PES membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranlarının artırılmasının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olmamıştır. Bunun sebebi olarak AgNP'nin yüzeyde değil de farklı tabakalarda birikmiş olması gösterilebilir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Zhang ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada PES UF membranların yüzey pürüzlülüğüne bakılmış ve membranlara eklenen Ag oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin Saf PES membrana göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak Ag eklenmesi ile kesme çözeltisinin viskozitesinin değişmesi ile membran yüzeyinin daha yumuşak bir hal alması gösterilmiştir [6].

Saf PVDF membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranının artırılmasının yüzey pürüzlülüğü üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu Şekil 7'de verilmiştir. En yüksek pürüzlülük oranı 0.4AgNP içeren PVDF membranda olmuştur. Bu durum, AgNP'nin yüzeye daha yakın konumlandığı şeklinde açıklanabilir.

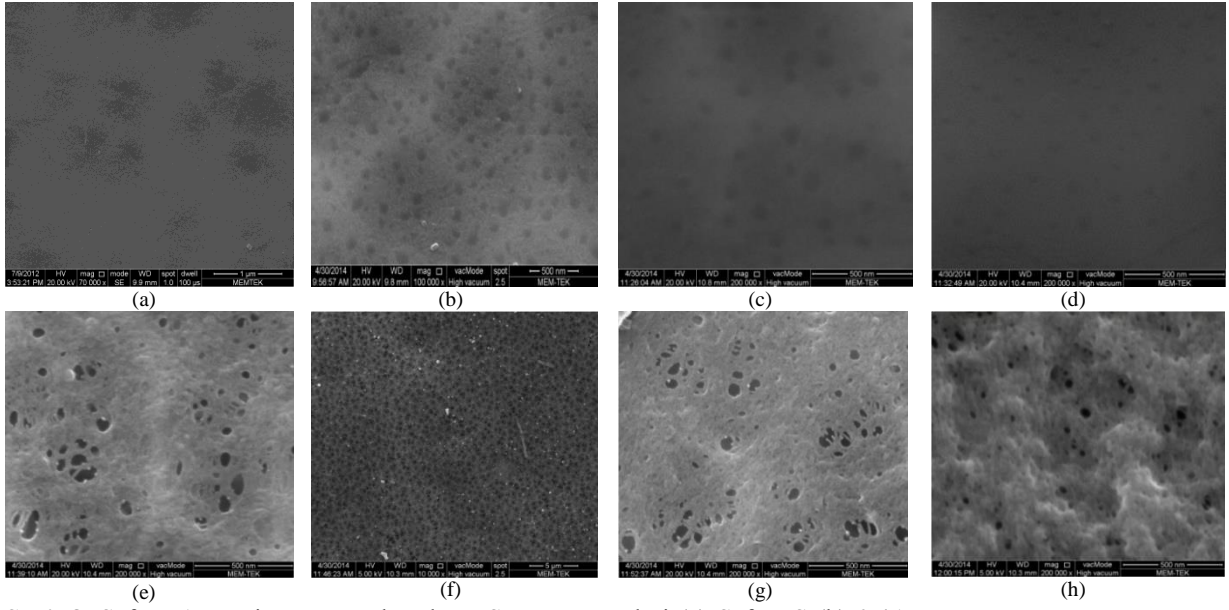


Şekil 7. AgNP içeren PES ve PVDF membranların pürüzlülük değerleri

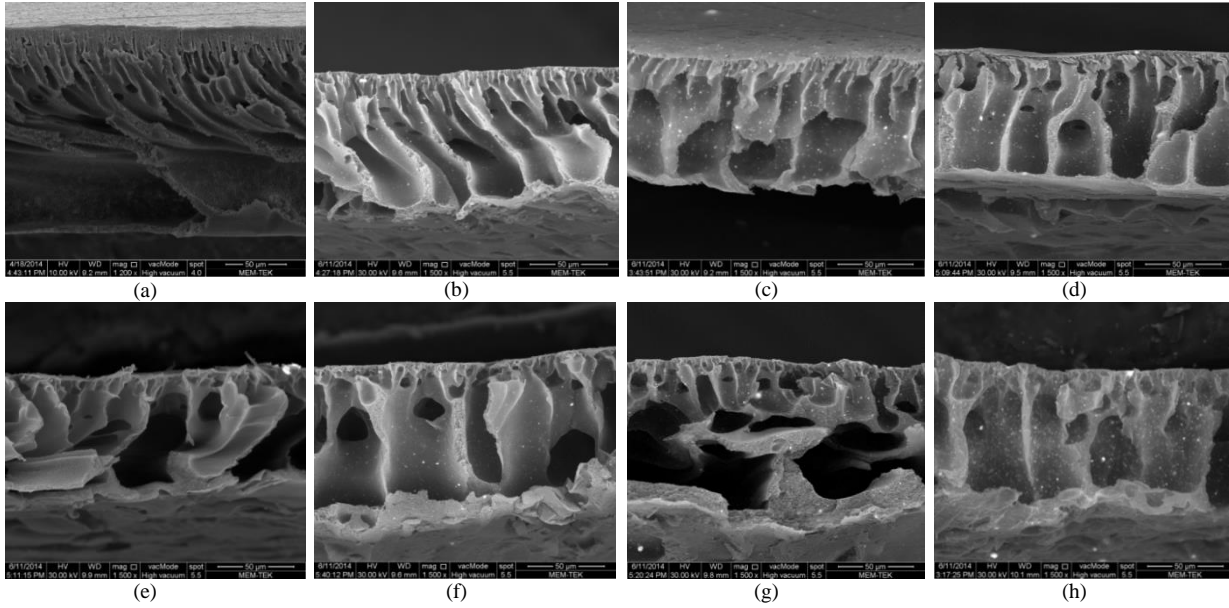
3.7. SEM Sonuçları

Saf ve AgNP içeren nanokompozit PES ve PVDF membranların SEM görüntüleri Şekil 8'de gösterildiği gibidir. Yüzey görüntülerine bakıldığında PVDF membran yüzeyinde gözenekliliğin PES membran yüzeyinden daha fazla olduğu görülür. AgNP eklenmesiyle yüzey görüntülerinde çok fazla değişim olmamıştır.

Saf ve AgNP içeren PES ve PVDF membranların Kesit back scattering (BS) görüntüleri Şekil 9'da gösterildiği gibidir. PES membranlarda AgNP eklenmesiyle kesitteki asimetrik yapı artmıştır. Su kanalları olarak ifade edilebilecek yapıların genişlediği görülmüştür. Kesitte görülen beyaz noktalar AgNP'leri göstermektedir. Oran arttıkça bu noktaların arttığı ve membran gözeneklerinde AgNP'lerin biriktiği görülmektedir. Şekil 9-(e) Saf PVDF membranın kesitini göstermektedir. Bu membranların asimetrik yapısının PES membranlardan daha farklı olduğu görülebilmektedir. PES membranlarda olduğu gibi bu membranlarda da AgNP eklenmesiyle kesitteki gözenek kanallarının genişlediği görülmektedir. Aynı zamanda artan AgNP oranlarında back scattering modunda AgNP'yi temsil eden beyaz noktaların miktarının arttığı da görülebilmektedir.



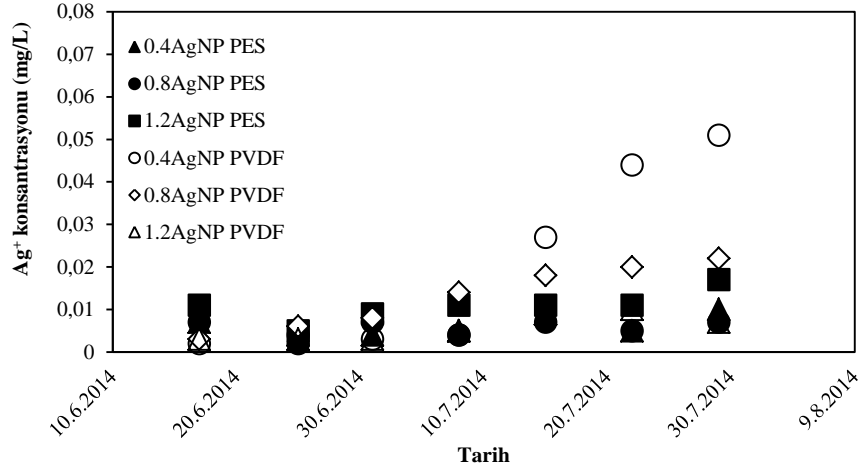
Şekil 8. Saf ve AgNP içeren membranların SEM görüntüleri (a) Saf PES (b) 0.4AgNP-PES (c) 0.8AgNP-PES (d) 1.2AgNP-PES (e) Saf PVDF (f) 0.4AgNP-PVDF (g) 0.8AgNP-PVDF (h) 1.2AgNP-PVDF



Şekil 9. Saf ve AgNP içeren membranların Kesit-BS görüntüleri (a) Saf PES (b) 0.4AgNP-PES (c) 0.8AgNP-PES (d) 1.2AgNP-PES (e) Saf PVDF (f) 0.4AgNP-PVDF (g) 0.8AgNP-PVDF (h) 1.2AgNP-PVDF

3.8. Gümüş Salınım Analizi

17.06.2014 ile 29.07.2014 tarihleri arasında haftada bir her bir membran türünden 10 ml numune alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 10'da da görüldüğü üzere, gümüş salınım ölçümünde PES ve PVDF membranlar içerisinde Ag^+ konsantrasyonunun en yüksek 0.4AgNP oranına sahip PVDF nanokompozit membran olduğu gözlenmiştir. Bu durum, bu membranda gümüşün daha yüzeye yakın konumlandığı ve diğer membranlara göre daha hızlı salınım yaptığı şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 10. Gümüş salınımı deney sonuçları

Literatürde düz plaka PES membranlarda plazma üzerine gümüş nanoparçacıkların birikimi ve antibakteriyel ve anti-biyolojik tıkanma üzerine olan etkilerinin incelendiği bir çalışmada süzüntü suyundaki Ag^+ konsantrasyonunu ölçmek amacıyla ICP ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonucun (<0.01 ppm.), WHO'nun yayınladığı içme sularında Ag^+ konsantrasyon değerinin (0.1 mg Ag/l) altında olduğu ve sağlık açısından herhangi bir risk taşımadığı görülmüştür [12, 13].

4. Sonuç

Çalışma kapsamında yapılan tüm analizler sonucunda, üretilen her iki türdeki membranlara AgNP eklenmesi ve oranlarının değiştirilmesi membranların her özelliği üzerinde tam olarak etkili olmamıştır. Örneğin, Saf PES ve PVDF membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranlarının artırılması membranların geçirgenlik değerlerini arttırmış olmasına rağmen PES membranların temas açısı değerlerini değiştirmemiştir. Bunun yanı sıra PVDF membranlarda ise membranların daha hidrofobik özelliğe sahip olmasına neden olmuştur. Bu durumun PVDF polimeriyle üretilen membranların yapısından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Membranların yüzey yükü ölçüm değerlerine bakıldığında ise Saf PES ve PVDF membranlara AgNP eklenmesinin membranlar üzerinde bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Saf PES membranlara eklenen AgNP'nin membran yüzeyinde değil de daha alt kısımlarında olması nedeniyle membranların yüzey pürüzlülüğünü değiştirmemiştir. Ancak PVDF membranlarda yüzey pürüzlülüğü Saf PVDF membrana göre artış göstermiştir. Mekanik dayanımlılık ölçüm sonuçlarından yola çıkılarak Saf PES ve PVDF membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranının artırılması PES membranların mekanik dayanımlılıklarını arttırmasına rağmen PVDF membranlara ait ölçüm değerlerini azaltmıştır. Bu da AgNP'nin her membranda farklı bir konuma sahip olduğu şeklinde açıklanabilir. Saf PES ve PVDF membranların gözenek boyutları, bu membranlara AgNP eklenmesi ve eklenen AgNP oranlarının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Gözenek boyutlarındaki bu artış, membranlar üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmamıştır.

Yüzeye yaklaşan AgNP'nin özellikle temas açısı, pürüzlülük ve SEM-EDS ölçümleri ile belirlenebildiği, alt tabakalara yerleşen ve gözeneklerde kalarak su geçişine engel oluşturan AgNP'nin ise geçirgenlik deneyi ile belirlenebildiği tüm elde edilen ölçümler ile de AgNP'nin membran yapısındaki yerleşim mekanizmasının çıkarılabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK-ÇAYDAG 111Y095 numaralı "Biyokirlenmeye Dirençli Nanomateryaller ile Üretilen Polimerik Membranların Geliştirilmesi ve Membran Biyoreaktörlerde (MBR) Uygulanması" isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. D.Y.İ. ve İ.K., fikir sahibi, B.Y.K. deneyleri gerçekleştirdi, M.K. ve D.Y.İ. sonuçları yorumladı, B.Y.K., makaleyi yazdı.

Kaynaklar

- [1] Ananth A, Arthanareeswaran G, Ismail AF, Mok YS, Matsuura T. Effect of bio-mediated route synthesized silver nanoparticles formodification of polyethersulfone membranes. *Colloids and Surfaces A* 2014; 451, 151-160.
- [2] Chen Y, Liu X, Liu L, Zhang Y, Wang Z, Zhang Q. Functional poly(vinylidene fluoride) membrane anchored with silver nanoparticle with antibacterial activity. *Synthetic Met* 2013; 174, 1-5.
- [3] Zodrow K, Brunet L, Mahendra S, Li D, Zhang A, Li Q, Alvarez PJJ. Polysulfone ultrafiltration membranes impregnated with silver nanoparticles show improved biofouling resistance and virus removal. *Water Res* 2009; 43, 715-723.
- [4] Taurozzi JS, Arul H, Bosak VZ, Burban AF, Voice TC, Bruening ML, Tarabara VV. Effect of filler incorporation route on the properties of polysulfone–silver nanocomposite membranes of different porosities. *J Membrane Sci* 2008; 325, 58–68.
- [5] Huang J, Wang H, Zhang K. Modification of PES membrane with Ag-SiO₂: reduction of biofouling and improvement of filtration performance. *Desalination* 2014; 336, 8–17.
- [6] Zhang M, Field RW, Zhang K. Biogenic silver nanocomposite polyethersulfone UF membranes with antifouling properties. *J Membrane Sci* 2014; 471, 274-284.
- [7] Li JH, Shao XS, Zhou Q, Li MZ, Zhang QQ. The double effects of silver nanoparticles on the PVDF membrane: surface hydrophilicity and antifouling performance. *Appl Surf Sci* 2013. 265, 663-670.
- [8] Li X, Pang R, Li J, Sun X, Shen J, Han W, Wang L. In situ formation of Ag nanoparticles in PVDF ultrafiltration membrane to mitigate organic and bacterial fouling. *Desalination* 2013; 324, 48-56.
- [9] Basri H, Ismail AF, Aziz M. Polyethersulfone (PES)-silver composite UF membrane: effect of silver loading and PVP molecular weight on membrane morphology and antibacterial activity. *Desalination* 2011; 273, 72–80.
- [10] De Gusseme B, Hennebel T, Christiaens E, Saveyn H, Verbeken K, Fitts JP, Boon N, Verstraete W. Virus disinfection in water by biogenic silver immobilized in polyvinylidene fluoride membranes. *Water Res* 2011; 45, 1856-1864.
- [11] Alpatova A, Kim ES, Sun X, Hwang G, Liu Y, Gamal El-Din M. Fabrication of porous polymeric nanocomposite membranes with enhanced anti-fouling properties: effect of casting composition. *J Membrane Sci* 2013; 444, 449-460.
- [12] WHO (World Health Organization). Silver in drinking water. In: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. World Health Organization 2004, Geneva.
- [13] Cruz MC, Ruano G, Wolf M, Hecker D, Vidaurre EC, Schmittgens C, Rajal VB. Plasma deposition of silver nanoparticles on ultrafiltration membranes: Antibacterial and anti-biofouling properties. *Chem Eng Res Des* 2015; 94, 524-537.

SHS İşlemi Sonrası Sinterleme İşleminin İntermetalik Kaplamaya Etkisinin İncelenmesi

Musa KILIÇ^{1*}, Mustafa BEKEN², Niyazi ÖZDEMİR³

¹ Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği bölümü, Batman, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Elazığ OSB Maden Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Elazığ, Türkiye

³Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

*¹ musa.kilic@batman.edu.tr, ²mbeken@firat.edu.tr, ³nozdemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20/09/2018;

Kabul/Accepted: 15/12/2018)

Özet: Yanma yöntemi kullanılarak Ferritik paslanmaz çelik yüzeyi üzerine Ni₃Al intermetalik bileşiği kaplanmıştır. Bu kaplama yönteminde kullanılan presleme basıncı(150, 200, 250, 300Mpa) ve yanma işlemi akabinde gerçekleştirilen sinterleme sıcaklığının(1100°C) kaplama tabakasına etkisi incelenmiştir. Kaplama tabakasının karakterizasyon işlemleri optik mikroskop, SEM, XRD ve EDX analizleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda kaplama tabakası ile alt tabaka arasında gerçekleşen difüzyon ile bağlanmanın iyi olduğu gözlenmiştir. EDS analizleri sonucunda α Fe,Cr, Ni, Ni₃Al, γ Fe ve XRD sonuçlarında ise Ni₃Al ve Ni ile birlikte Ni₃Al₄, NiAl, Ni₃Cr₂, Ni₂Al₃ fazları meydana gelmiştir. Yapılan mikrosertlik analizlerinde ise kaplama tabakasının gözenekli yapısı nedeniyle alt tabakaya göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak 1100 °C'lik sinterleme sıcaklığında metallar arası fazların tamamen çözüldüğü tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: SHS, Ni₃Al, Kaplama, İntermetalik, Paslanmaz çelik.

Investigation Of The Effect Of Sintering Process After Shs Processing On Intermetallic Coating

Abstract: Ni₃Al intermetallic compound was coated on the ferritic stainless steel surface using the combustion method. Effects of the compacting pressure (150, 200, 250 and 300 MPa) and the sintering temperature (1100 °C) on the coated layer were investigated. Characterization of the coating layer was performed using optical microscope, SEM, XRD and EDX analyzes. As a result of the analysis, it was observed that the bonding quality between the coating layer and the base metal was good due to the diffusion. As a result of EDS analysis α Fe, Cr, Ni, Ni₃Al, analiz Fe and in the XRD results, Ni₃Al₄, NiAl, Ni₃Cr₂, Ni₂Al₃ phases were formed with Ni₃Al and Ni. In the microhardness analysis, due to the porous structure of the coating layer, the results were lower than the base metal. However, it has been determined that the sintering temperature of 1100 °C is better for complete dissolution of semi-stable intermetallic phases.

Key words: SHS, Ni₃Al, Coating, Intermetallic, Stainless steel

1. Giriş

Paslanmaz çelikler farklı ortamlardaki iyi performansları ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı geniş uygulama alanına sahiptir[1-2]. Bununla birlikte ağır aşınma şartları altında kullanılan bu malzemelerin uzun süreli dayanıklılığını sağlamak için aşınma davranışları, oksidasyon dirençleri iyileştirilmiş daha düşük maliyetlere ve çevresel olarak uygun süreçlere sahip yeni malzemelerin geliştirilmesi gerekir. Bu özellikleri geliştirmek için yüzey mühendisliği ve kaplama teknikleri kullanılabilir. Koruyucu kaplamalar faydalı sistemlerin yüzeylerini erozyon ve oksidasyondan korumak için çelik alaşımlar yüzeyinde gerçekleştirilir. Bununla birlikte metalik malzemelerin mekanik özelliklerini ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon dirençlerini arttırmak için intermetalik bir kaplama tabakası oluşturularak korunması uygun bir yöntemdir[3-8]. İntermetalik bileşikler yüksek sıcaklıkta oksidasyon dirençleri, mükemmel termal gerilmeleri, düşük yoğunlukları, yüksek sıcaklıklardaki mukavemetleri manyetik ve hidrojen depolama gibi birçok alanda yeni ilave olanaklar sunmaktadır[9-11].

İntermetalik NiAl ve Ni₃Al yüksek erime noktaları, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemetleri, oksidasyon ve korozyon dirençlerinden dolayı alt tabaka malzemesi olarak kaplama uygulamaları için büyük bir bilimsel ilgi odağı olmuştur. Bununla birlikte Ni₃Al intermetalik alaşımlar ve kaplamalar; yüksek erime aralığı, ilginç

* Sorumlu yazar: musa.kilic@batman.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5808-6917, ² 0000-0001-8164-0242, ³ 0000-0001-8796-0060.

mekanik özellikleri, üstün oksidasyon özellikleri ve yüksek sıcaklıklarda mükemmel fiziksel özelliklere sahiptir[12-18].

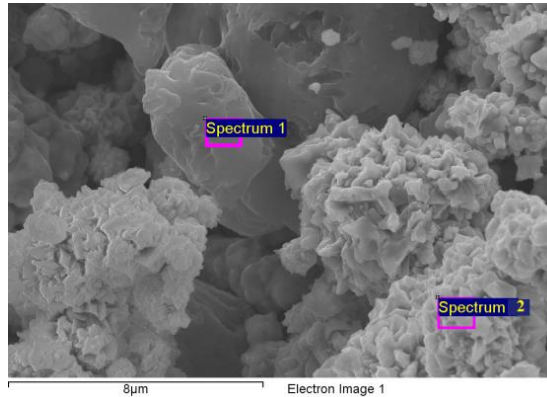
Birçok intermetalik kaplama geniş bir uygulama yelpazesi ve farklı teknolojik ihtiyaçlar için üretilmiştir. Yüksek sıcaklık kaplamaların birincil kullanıcılarından biri ticari ve askeri uçaklar, endüstriyel enerji üretimi ve denizcilik uygulamaları ve gaz türbini endüstrisi ve nükleer reaktörleri, uçakların gövde kaplamaları, yakıt enjektörleri, vida bileşenleri, roket motoru nozulu bileşenleri vb. Buna ek olarak, Ni3Al'a bağlı olarak sayısız alaşımlar çelik üretim için fırın ruloları, brülör tüpler, dövme kalıplar ve kimya endüstrisi için korozyona dayanıklı parçalar, geliştirilmiştir[19-22]. Metalik malzemelerin çalışma şartlarındaki koşullarını iyileştirerek, ömrünü uzatmak için farklı kaplama yöntemleri kullanılmaktadır.

Fiziksel buhar biriktirme(PVD), Kimyasal buhar biriktirme(CVD), plazma püskürtme(ps), elektrokimyasal biriktirme, soljel, elektro kaplama(gazlıvanizleme), yanma sentezlenmesi olarak sıralanabilir [23-25]. Dayanaklı kaplamalar için ön koşul alt tabaka ile güçlü ve dirençli bir bağ elde etmektir. Birçok durumda, alt-tabaka ve kaplama malzemesi arasında iyi bir bağ ile bağlanmasını teşvik etmek için ek arayüz tabakasının mevcudiyetini gerektirir [26]. Bu bağlamda, toz metalürjisi işleme ve özellikle de mikrodalga destekli Kendiliğinden Yayılan Yüksek Sıcaklık Sentezi (SHS), titanyum üzerinde Ni-alüminid koruyucu kaplamalar oluşturmak için ilginç bir yol olduğunu kanıtlamıştır [27]. Reaktif kompaktın bir ucunda ısıtılmış tungsten bobin kullanılarak başlatılan işlemden reaksiyon tutuştuktan sonra reaktantları ekzotermik bir reaksiyon ile ürünlere dönüştürür[28-29]. SHS yönteminin toz metalürjisine kıyasla avantajlarını şöyle sıralayabiliriz; sistemi kurmak daha basittir ve daha uygun maliyet, hızlı ekzotermik reaksiyon sayesinde üretim yapıldığından daha zaman ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte numune tutuşturulduktan sonra oluşan yanma dalgası sayesinde numune boyunca ilerlerken uçucu kirlilikleri dışarı atar [30-31]. Yüksek sıcaklık sentezlenmesi intermetalikler, sermetler, seramikler üretmek için gelişmiş bir teknolojidir. Ayrıca araştırmacılar şu anda SHS ile metal yüzeylerinde, seramik, sermet ve intermetalik kaplamalar elde etmek için veya iki metalik alt tabaka arasında ara tabakada bir birleşme ve eş zamanlı üretim için geliştirilmiştir [32-33].

Bu yayında farklı presleme basınçlarının ve SHS işlemi sonrası numunelere uygulanan sinterleme sıcaklığının kaplama tabakasına etkileri incelenmiştir. Kaplama sonrası kaplama tabakasının mikroyapı özelliklerini ve elementer analizleri optik mikroskop, SEM, EDS, XRD ile belirlendi. Ayrıca kaplama tabakalarının mikrosertlik analizleri EMCO-TEST marka mikrosertlik cihazında ile gerçekleştirildi.

2. Materyal ve Yöntem

Altlık olarak kullanılmış olan ferritik paslanmaz çelik (% C-0.12/ Mn-1.00/Si- 1.00/P- 0.040/S 0.030 ve Cr-18) ve % 99,9 saflık ve -325 mesh toz boyutuna sahip küresel forma yakın (Şekil 1 ve Tablo 1) Ni ve Al elementel tozları ağırlıkça Ni3Al alaşımı olacak şekilde %87 Ni ve % 13 Al tartılmıştır.



Şekil 1. Karıştırılmış tozun morfolojisi.

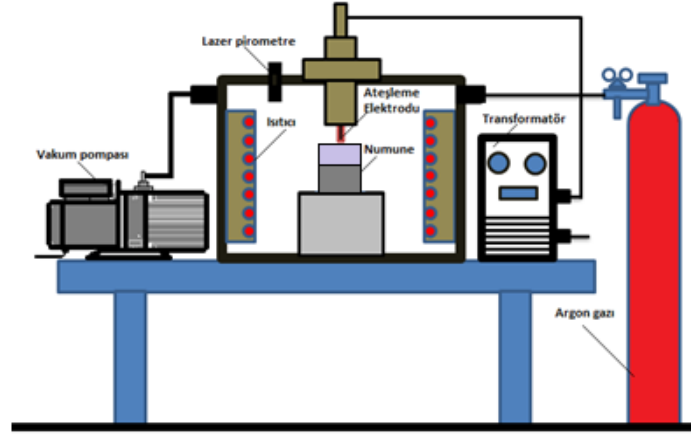
Tablo 1. Karıştırılmış tozun EDS analizi

Spectrum	Element	Weight%	Atomic%
1	Al K	100.00	100.00
2	Ni K	100.00	100.00
Total		100	

Tartma işlemi sonrası homojen bir toz karışım elde etmek amacıyla tozlar 16 devir/dk dönen bir bilyalı bir kap içerisinde 24 saat süreyle karıştırma işlemine tabii tutulmuştur. Karıştırma işlemi sonrası tozlar soğuk pres altında bir kalıp içerisinde 150, 200, 250 ve 300 MPa'lık basınçlar altında soğuk olarak preslenmiştir. Kaplama işleminde kullanılan parametreler ve deney koşulları Tablo 2'de verilmiştir. Alt tabaka olarak kullanılacak olan paslanmaz çelik yüzeyi ise preslenmiş toz ile arasında iyi bir yapışma sağlanması için parlatma işlemlerine tabii tutulmuştur. Kaplama ve alt tabaka çelik malzeme arasında bağlanmanın iyi olabilmesi için ayrıca araya ince bir Ni toz tabakası serilmiştir.

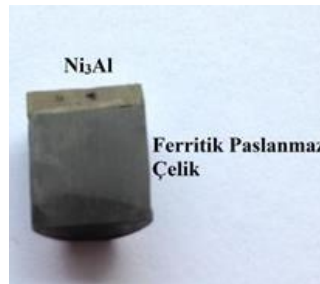
Tablo 2. Deneylere Ait Parametreler ve Deney Koşulları

Seri	Presleme Basıncı(MPa)	Sinterleme Sıc.(°C)	Sinterleme Yüğü(N)	Sinterleme Süresi (dak.)
1	150	1100	40	45
2	200	1100	40	45
3	250	1100	40	45
4	300	1100	40	45



Şekil 2. Ni₃Al kaplama üretiminde kullanılan SHS reaksiyonunun şematik gösterimi.

Altlık malzemesine kaplanacak olan Ni₃Al toz kompaktları 40 N'luk yük altında argon atmosferli bir difüzyon cihazında (Şekil 2) ön ısıtma uygulanarak ateşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yanma işlemi gerçekleştikten sonra ekzotermik reaksiyon etkisiyle yanma dalgası hızla ilerleyerek Ni₃Al tabakasını oluşturmuştur. Yanma işlemi sonrası numuneler, pozisyonları değiştirilmeksizin 1100 °C sıcaklıklarda 45 dakika süreyle sinterleme işlemine tabii tutulduktan sonra kaplama işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Metalografik incelemeler için numuneler hassas kesme makinesinde boyuna kesit alınarak kesilmiştir (Şekil 3). Kesilen numunelerin ara yüzeyleri 120, 400, 800, 1000 ve 1200 SiC parçacıklı zımparalar yardımıyla kaba parlatması yapılmış, daha sonra elmas pasta solüsyonu kullanılarak çuhada hassas patlatılma işlemine tabii tutulmuştur.



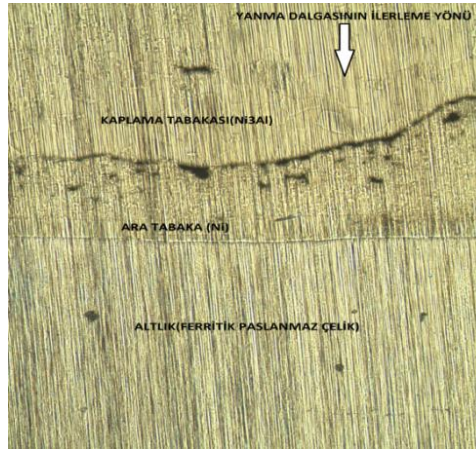
Şekil 3. Kaplanan numunenin makro resmi[34].

Parlatma işlemi gerçekleşen numuneler daha sonra mikroyapı analizleri kaplama bölgesi, 50 ml HCl, 50 ml H₂O ve 10 gram CuSO₄ çözeltisinde 30 dakika süreyle dağlanırken alt tabaka ise 4 gram CuSO₄, 20 cm³HCl ve 20 cm³ H₂O ile dağlanmıştır [35-36]. Dağlanan numunelerin optik yüzey fotoğrafları Nikon Marka optik mikroskop ile çekilmiştir. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde LEO marka EVO 40 VP model cihaz kullanılmıştır. Ayrıca, birleşme bölgesinde oluşan fazların kimyasal içerikleri elektron mikroskobunun bünyesinde bulunan BRUKER 125 eV marka EDS analiz test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kaplama, ara tabaka ve alt tabaka'da oluşan faz bileşimleri, CuK α radyasyonu ve numune yatay konumda olacak şekilde (2θ açıları: 10 ila 120 °C), Rigako Rad-B D-Max 2000 XRD kullanılarak bir XRAY kırınımı (XRD) analizi ile belirlenmiştir. Kaplamaların mikrosertliği ise EMCO-TEST marka mikrosertlik cihazında ölçülerek tespit edildi.

3. Sonuç

3.1. Mikroyapı

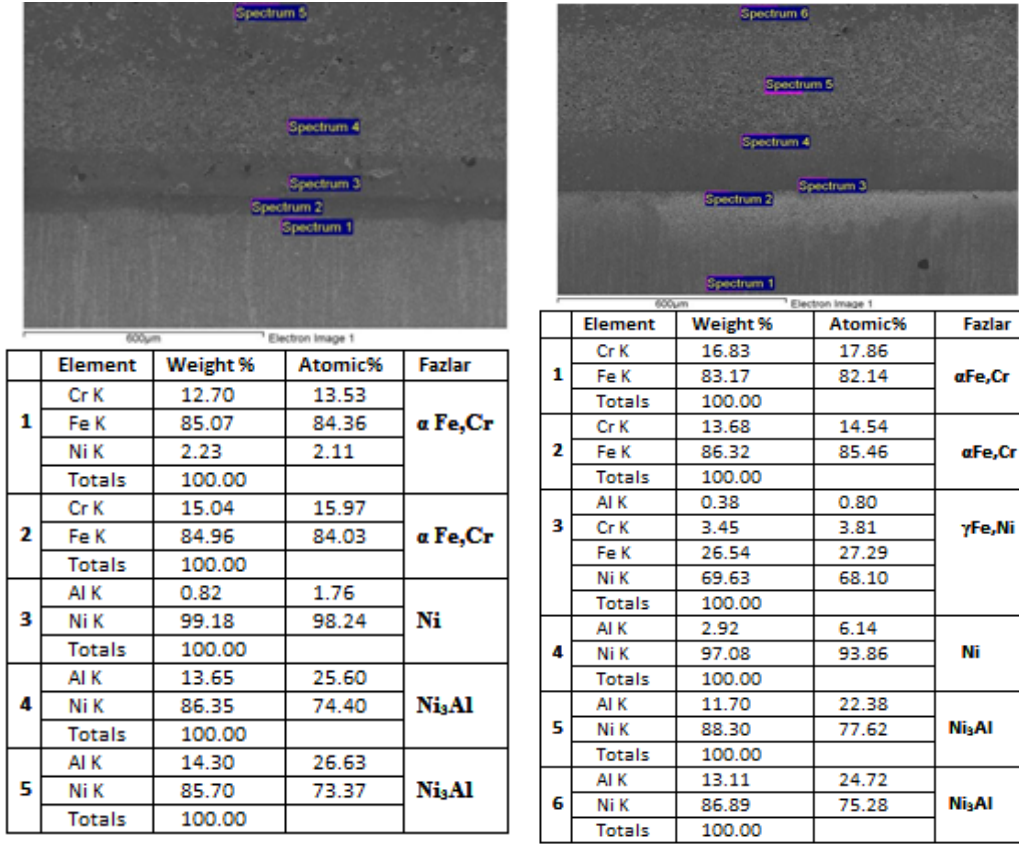
Kaplama işlemi sonrası alt tabaka ve kaplama arasında difüzyonun iyi oluşması sonucunda tüm numunelerde bağlanma başarılı bir şekilde gerçekleştiği optik resim ve SEM resimlerinden gözlenmiştir. Şekil 4'te kaplama işlemi sonrası çekilmiş optik mikroskop resim görüntüsü görülmektedir. Kaplama tabakasında görülen gözenekler ise intermetalik malzemelerin yapısına bağlı olarak gelişmiştir. Kaplama tabakası ve alt tabaka ara kesitinde boşlukların olmadığı bu bağlanmanın iyi bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bütün numunelerde I. Gözenekli Ni₃Al kaplama kısmı, II. ara kesit Ni tabakası ve III. altlık (ferritik paslanmaz çelik) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Arakesit Bölgesinin Kısımları.

Reaksiyon sentezlemesi nedeniyle oluşan yanma olukları Ni₃Al kısmında gözenekli bir yapı meydana gelmesine yol açmıştır. Yanma olukları alev ilerleme yönüne dik doğrultudadır. Dolayısıyla, arakesitte paralel bir şekilde gelişmiştir [37]. Isıl işlem görmüş intermetalik bir malzeme soğuma esnasında meydana gelen sıvı katı büzülme nedeniyle gözenekli bir yapının oluşmasına yol açabilir. Bununla birlikte meydana gelen bu çatlak ve gözenekler, kristalizasyon esnasında kaplama içinde yüksek termal gerilmelere yol açan ısı yayılmasını önler [38-39]. Kaplanmış numunelerde gözle görülür çatlakla rastlanmamıştır[40].

Kaplama işlemi yapılmış olan numunelerin SEM ve EDX görüntüleri Şekil 5-8'de gösterildiği gibi EDX sonuçlarından Ni ara bağlayıcının alt tabakaya doğru difüze olduğu tespit edilmiştir. EDX analizi sonucunda α Fe, Cr, Ni, Ni₃Al, γ Fe ve XRD sonuçlarında ise Ni₃Al ve Ni ile birlikte Ni₃Al₄, NiAl, Ni₃Cr₂, Ni₂Al₃ fazlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Ni₃Al kaplama tabakası üretiminde Ni ve Al tozları ön ısıtmaya tabi tutulması durumunda yapılan hesaplamalarda adyabatik sıcaklık 1827 °C olarak bulunmuştur. Ni ve Ni₃Al ergime sıcaklıkları sırasıyla 1453 ve 1460 °C yani tozların ve ürünlerin ergime noktalarından daha yüksek bir sıcaklık söz konusudur. Reaksiyon gerçekleştiğinde Ni₃Al bir süre sıvı halde kalacaktır ve sıvı Ni₃Al içinde Ni çözünmekte veya Ni difüze olmaktadır [41].



Şekil 5. 5 nolu numunenin SEM sonuçları.

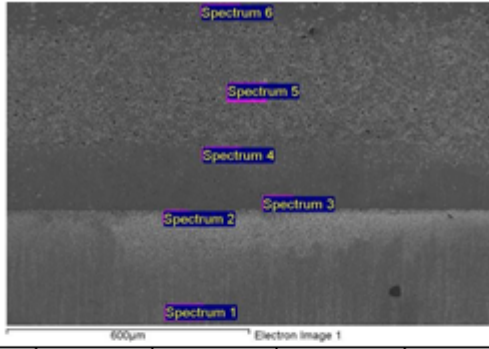
Şekil 6. 6 nolu numunenin SEM ve EDX ve EDX sonuçları.

SEM görüntülerde kaplama tabakasının alt tabakaya düzgün bir şekilde bağlandığı görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenekli yapıların olduğu da tespit edilmiştir. Kaplama ve alt tabakada ortaya çıkan gözenekliliğin nedeni, SHS reaksiyonu esnasında meydana gelen erime/katılma sırasında çözünürlüğün değişmesinden dolayı ortaya çıkan sıkışmış gazın çözünmesinden dolayı oluşur[29-42].

Kaplama ara kesitinde kullanılan Ni ara bağlayıcının kaplama ve alt tabakanın düzgün ve çatlaksız bir şekilde birleşmesinde önemli bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Kaplama ve alt tabaka arasındaki yer alan ara yüz hem SEM fotoğraflarında hem de optik mikro yapı fotoğraflarında da görüldüğü gibi ayırt edilmektedir. Presleme basıncının ara fazların meydana gelmesi üzerinde hızlandırıcı bir etkisi olduğu, sinterleme sıcaklığının ise reaksiyon sonucu oluşan gözeneklerin azalmasına yardımcı olduğu belirlenmiştir.

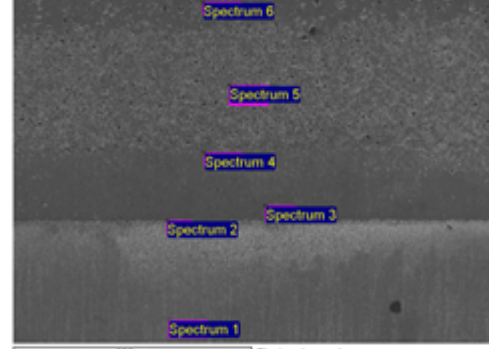
Sinterleme sonrası ara yüzey üzerinden alınan EDX sonuçlarında, en önemli difüzyon paslanmaz çelik ile nikel ara tabaka arasında meydana geldiği gözlenmiştir. Özellikle Şekil 6 ve 7'de SEM resimlerinde gösterildiği gibi 3 nolu noktadan elde edilmiş EDX analiz sonuçları 6 nolu numunede % 68.10 Ni, %27.79 Fe, 7 nolu numunede ise % 84.79 Ni, %13.37 Fe sonucu da doğrulamaktadır.

Kaplama bölgesinin Ni₃Al intermetalik bileşiğinden oluştuğu XRD ve EDX analiz sonuçlarından tespit edilmiştir[43]. Analiz sonuçlarında Ni₃Al₄ fazının bütün numunelerde oluştuğu görülmektedir. Bu faz Ni₃Ga₄ tipi bir yapıdır ve CsCl tipi yapının düzenli bir şeklidir. Ni₃Al₄ basit kübik kristal kafese sahiptir [44]. Bu faz bir yan ürün olup, Ni-Al denge diyagramında görülmemektedir. Ni₃Al₄ kararsız bir fazdır ve kolayca NiAl ve Al' a ayrışabilir[45]. Ni₃Al₄'ün varlığı Ni-Al sisteminde dönüşümün bazı yerlerde tamamlanamadığı anlamına gelmektedir. Şekil 9 - 12'de gösterildiği gibi tüm numunelere ait XRD piklerinin grafikleri verilmiştir. Tüm numunelerde Ni₃Al, Ni ve Ni₃Cr₂ fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.



	Element	Weight %	Atomic%	Fazlar
1	Cr K	13.72	14.59	α Fe,Cr
	Fe K	86.28	85.41	
	Totals	100.00		
2	Al K	0.75	1.51	α Fe,Cr
	Cr K	17.92	18.88	
	Fe K	77.97	76.47	
	Ni K	3.37	3.14	
3	Al K	0.38	0.82	γ Fe,Ni
	Cr K	1.46	1.63	
	Fe K	13.37	13.87	
	Ni K	84.79	83.69	
4	Al K	0.36	0.77	Ni
	Ni K	99.64	99.23	
	Totals	100.00		
5	Al K	10.90	21.02	Ni ₃ Al+Ni
	Ni K	89.10	78.98	
	Totals	100.00		
6	Al K	12.06	22.99	Ni ₃ Al+Ni
	Ni K	87.94	77.01	
	Totals	100.00		

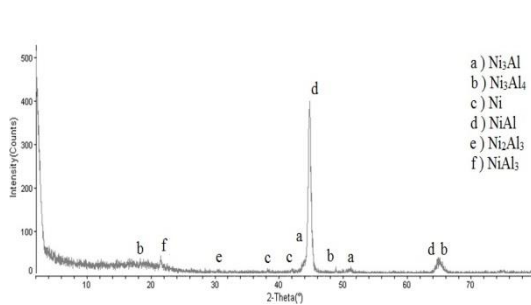
Şekil 7. 7nolu numunenin SEM ve EDX sonuçları.



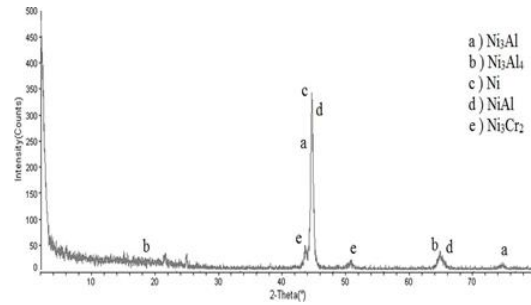
	Element	Weight %	Atomic%	Fazlar
1	Cr K	12.18	12.97	α Fe,Cr
	Fe K	87.10	86.35	
	Totals	100.00		
2	Al K	0.47	1.01	Ni
	Ni K	99.53	98.99	
	Totals	100.00		
3	Al K	4.22	8.75	Ni ₃ Al+Ni
	Ni K	95.78	91.25	
	Totals	100.00		
4	Al K	12.94	24.44	Ni ₃ Al
	Ni K	87.06	75.56	
	Totals	100.00		
5	Al K	12.86	24.31	Ni ₃ Al
	Ni K	87.14	75.69	
	Totals	100.00		
6	Cr K	16.22	17.22	α Fe,Cr
	Fe K	82.26	81.34	
	Ni K	1.53	1.43	
	Totals	100.00		

Şekil 8. 8 nolu numunenin SEM ve EDX sonuçları

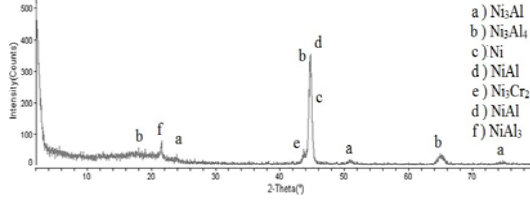
XRD analiz sonucunda 200, 250 ve 300 MPa kompaktlama basıncına sahip numunelerde Ni₃Cr₂ fazı tespit edilmiştir. Bu faz Ni esaslı süper alaşımlarda görülen ve sigma fazı olarak isimlendirilen fazdır. [46]. Aql vd. yapmış oldukları Ni-Ti-Cr sert nano kompozit kaplama çalışmasında paslanmaz çelik tarafında Ni₃Cr₂ fazının oluştuğunu ifade etmişlerdir[47]. Literatür ile elde etmiş olduğumuz XRD analizleriyle örtüşmektedir.



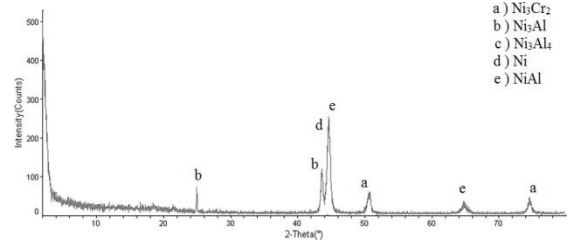
Şekil 9. 5 nolu numunenin XRD grafiği.



Şekil 10. 6 nolu numunenin XRD grafiği.



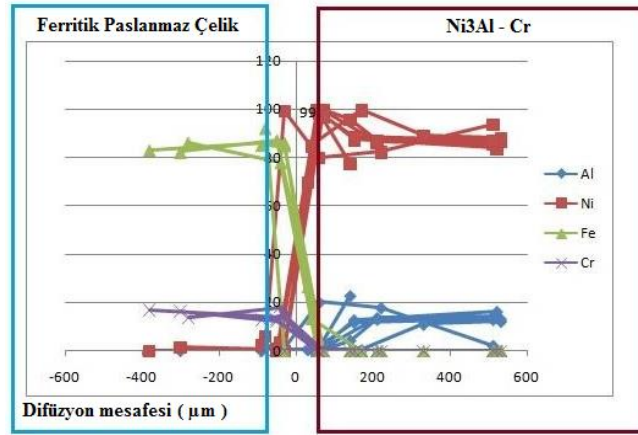
Şekil 11. 7 nolu numunenin XRD grafiği.



Şekil 12. 8 nolu numunenin XRD grafiği.

3.2. Arakesit Bölgesinde Difüzyon ve Elementlerin Dağılımı

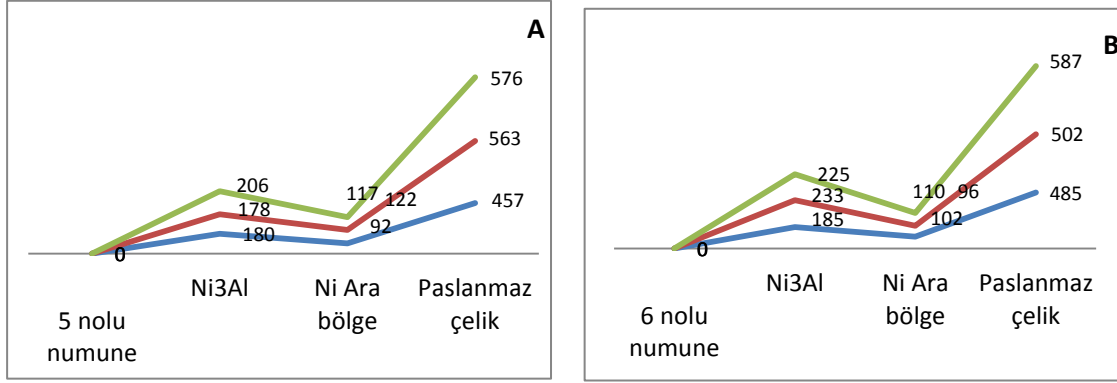
1000 °C ve 1100 °C'de yapılan sinterleme işleminde, difüzyon mesafeleri açısından bir fark yaratmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 13). Öte yandan difüzyon sadece paslanmaz çelik ile nikel ara tabaka arasında meydana gelmiştir. Difüzyon mesafesi takriben 150 µm kadardır. Ara kesit boyunca bir çizgi halinde belirli aralıklarla alınan EDX analizleri neticesinde saf Ni ara tabakadan paslanmaz çelik tarafına Ni paslanmaz çelikten de Fe ve Cr elementlerinin difüze olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Arakesit Bölgesinde Difüzyon ve Elementlerin Dağılımı

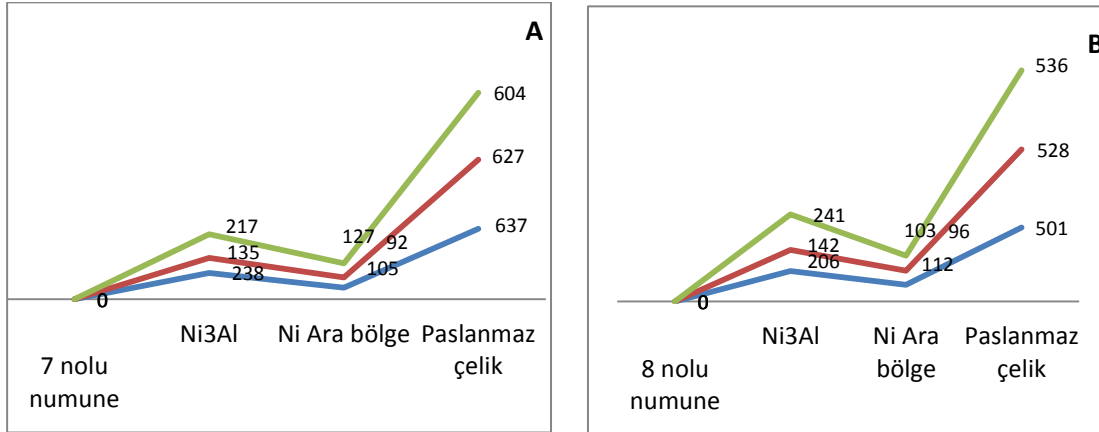
3.3. Mikrosertlik

Numunelere ait mikro sertlik değerleri Şekil 13a, b ve Şekil 14a, b olmak üzere aşağıda verilmiştir. Kaplama yüzeyine dik doğrultuda yapılan sertlik taraması sonrasında, en yüksek sertlik değerlerinin paslanmaz çelik tarafından 637 Hv ile 250 MPa kompaktlama basıncına sahip Şekil 14 a'da gösterildiği gibi 7 nolu numunede elde edilmiştir. Tüm numunelerde en yüksek sertlik değerlerinin paslanmaz çelik tarafında olduğu Ni₃Al tarafında ise gözeneklilik nedeniyle değişebildiği sonuçlarla tespit edilmiştir.



Şekil 13. Numunelere ait mikrosertlik değerleri(a: 5, b: 6 nolu numuneler)

Sindhu vd. yapmış oldukları bir çalışmada 340 Hv sertlik değerine sahip olan Ni₃Al kaplamanın alt tabakaya göre daha düşük bir sertlik değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir[48]. Mishra vd. alt tabakanın mikro sertliğinin daha yüksek olduğunu ara yüzden 250µm mesafede Ni₃Al sertlik değerinin 147 Hv olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Ni₃Al kaplamanın ortalama mikro sertlik değerinin 147-193 HV aralığında olduğunu belirtmişlerdir[49]. Literatür göz önüne alındığında elde etmiş olduğumuz değerlerle benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Elde edilen sertlik değerlerinde Ni₃Al kaplamanın alt tabakaya göre daha düşük sertlik değerleriyle sonuçlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 14. Numunelere ait mikrosertlik değerleri(a: 7, b: 8 nolu numuneler)

4. Tartışma

Bu çalışmada ferritik bir paslanmaz çelik SHS ve bunu izleyen sinterleme yöntemi ile Ni₃Al metaller arası bileşiği ile kaplanmıştır. Kaplama sonrası ortaya çıkan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- SHS işlemi esnasında meydana gelen yanma reaksiyonu hemen sonrası uygulanacak sinterleme işleminin ferritik paslanmaz çelik yüzeyinde Ni₃Al intermetalik kaplama oluşturmada önemli bir yöntem olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Sinterleme sıcaklığının, yarı kararlı metaller arası fazların tam çözünmesin etkili olduğu belirlenmiştir. En iyi kaplama yüzeyi 1100 °C sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir. Ayrıca, ara tabaka olarak kullanılan Ni kaplama tabakası ile altık malzeme arasında önemli derecede bağlanma etkisi sağladığı görülmüştür.
- Presleme basıncının ara fazların meydana gelmesi üzerinde hızlandırıcı bir etkisi olduğu, sinterleme sıcaklığının ise reaksiyon sonucu oluşan gözeneklerin azalmasına yardımcı olduğu belirlenmiştir. Sinterleme sonrası ara yüzey üzerinden alınan EDX sonuçlarında, en önemli difüzyonun paslanmaz çelik ile nikel ara tabaka arasında meydana geldiği gözlenmiştir.

- Ara kesit boyunca bir çizgi halinde belirli aralıklarla alınan EDX analizleri neticesinde saf Ni ara tabakadan paslanmaz çelik tarafına Ni paslanmaz çelikten de Fe ve Cr elementlerinin difüze olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] N'Dah E., Tsipas S., Hierro M.P., Pérez F.J. Study of the cyclic oxidation resistance of Al coated ferritic steels with 9 and Cr, *J. Corros. Sci. Eng.*, 2007; 49: 3850–3865.
- [2] Cakir K. Korkmaz E., Kayali S. Study on the Al₂O₃/Fe-Al intermetallic duplex coating prepared with a combined technique of electro-spark deposition and micro-arc oxidation on steel, *Kovove Mater.*, 2017; 55: 81–87
- [3] Özenbaş M., Yılmaz, O. FeCrC, WC ve B₂O₃ Kullanılarak Kaplanmış AISI4340 Çeliğinin Aşınma Karakteristiği. II.Uluslararası Bor Sempozyumu; 2004; Eskişehir /Türkiye. 201-205.
- [4] Talako T., Ilyuschenko A., Letsko A. SHS Powders for Thermal Spray Coating, *Kona Powder Part. J.*, 2009; 27: 55-72.
- [5] Mohammadnezhad M., Shamanian M., Enayati M.H., Salehi M., Hoseynian A. Microstructures and properties of NiAl-TiC nanocomposite coatings on carbon steel surfaces produced by mechanical alloying technique, *Surf. Coat. Technol.*, 2014; 238: 180–187.
- [6] Yoruk, G., Ozdemir O., The evaluation of NiAl- and TiAl-based intermetallic coatings produced on the AISI 1010 steel by an electric current-activated sintering method, *Intermetallics*, 2012; 25: 60-65.
- [7] Singh Sidhu B., Prakash S. Evaluation of the corrosion behaviour of plasma-sprayed Ni₃Al coatings on steel in oxidation and molten salt environments at 900 °C, *Surf. Coat. Technol.*, 2003; 166: 89–100.
- [8] Shahzad A., Zadorozhnyy V. Yu., Pavlov M.D., Zheleznyi M.V., Chirkov A.M., Zagrebin D.S., Semenov D.V., Khasanova R.S., Kaloshkin S.D. Deposition of the Ti-Al coatings on different metallic substrates by mechanical alloying and subsequent laser treatment, *J. Alloys Compd.*, 2018; 731: 1295-1302.
- [9] Li Y., Liu Y., Geng H., Nie D. Synthesis and cladding of Ni₃Al intermetallic on steel substrate by laser controlled reactive synthesis, *J. Mater. Process. Technol.*, 2006; 171: 405–410.
- [10] Lin, C-M., Kai, W-Y., Su C-Y., Key K-H. Empirical alloys-by-design theory calculations to the microstructure evolution mechanical properties of Mo-doped laser cladding NiAl composite coatings on medium carbon steel substrates, *J. Alloy Compd.*, 2017; 702: 679-686.
- [11] Koch C. C., Whittenberge J. D. Review Mechanical milling/alloying of intermetallics, *Intermetallic*, 1996; 4: 339-355.
- [12] Ozdemir O., Zeytin S., C. Bindal C. Tribological properties of Ni₃Al produced by pressure-assisted volume combustion synthesis, *Tribol. Int.*, 2012; 53: 22–27.
- [13] Lin L., Hui S., Lu G., Wang S-L., Wang X-D., Lee D-J. Molecular dynamics study of high temperature wetting kinetics for Al/NiAl and Al/Ni₃Al systems: Effects of grain boundaries, *Chem. Eng. Sci.*, 2017; 174: 127–135.
- [14] Morsi K., Review: reaction synthesis processing of Ni–Al intermetallic materials, *Mater. Sci. Eng.*, 2001; A299: 1–15.
- [15] Liu H., Chen W. Reactive oxide-dispersed Ni₃Al intermetallic coatings by sediment co-deposition, *Intermetallics*, 2005; 13: 805–817.
- [16] Li S., Feng D., Luo H. Microstructure and abrasive wear performance of chromium carbide reinforced Ni₃Al matrix composite coating, *Surf. Coat. Technol.*, 2007; 201: 4542–4546.
- [17] Chen J., Huang H., Zhang K., Wang M., Wu M., Li H., Zhang S., Wen M. Interfacial reactions in the SiCf/Ni₃Al composites by employing C single coating and C+Y₂O₃ duplex coating as barrier layers, *J. Alloys Compd.*, 2018; 765: 18-26
- [18] Stewart L.T., Plucknett P.K. The effects of Mo₂C additions on the microstructure and sliding wear of TiC_{0.3}Ni_{0.7}-Ni₃Al cermets, *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, 2015; 50: 227–239.
- [19] Luis I, C.N. Transition metal aluminid Coatings and Initial Steps on Additive Manufacturing, 20.12.2017, <https://cdn.intechopen.com/pdfs/58790.pdf>.
- [20] Tong Z., Bao H. Decompose the electron and phonon thermal transport of intermetallic compounds NiAl and Ni₃Al by first-principles calculations, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2018; 117: 972–977.
- [21] Nazarov A., Safronov A. V., Khmyrov S. R., Shishkovsky I. Fabrication of gradient structures in the Ni - Al system via SLM Process, *Procedia IUTAM*, 2017; 23: 161 – 166.
- [22] Li-Yuan S., Ting-Fei X., Chen L., Jian-Ting G., Yu-Feng Z. Effect of extrusion process on microstructure and mechanical properties of Ni₃Al_B_Cr alloy during self-propagation high-temperature synthesis, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2012; 22: 489_495.
- [23] Yamaguchi T., Hagino H. Formation of a titanium-carbide-dispersed hard coating on austenitic stainless steel by laser alloying with a light-transmitting resin, *Vacuum*, 2018; 155: 23–28.
- [24] Xiang, X., Wang X., Zhang G., Tang T., Lai X. Preparation technique and alloying effect of aluminide coatings as tritium permeation barriers: A review, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2015; 40: 3697- 3707.
- [25] Sierra C., Vázquez J.A. NiAl coatings on carbon steel by self-propagating high-temperature synthesis assisted with concentrated solar energy: mass influence on adherence and porosity, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2005; 86: 33–42.
- [26] Cammarota G.P., Casagrande A., Poli G., Veronesi P. Ni–Al–Ti coatings obtained by microwave assisted SHS: Effect of annealing on microstructural and mechanical properties, *Surface & Coatings Technology*, 2009; 203: 1429–1437.

- [27] Boromei, A., Casagrande F., Tarterini G., Poli P., Rosa R.V. Ni–Al–Ti coatings obtained by microwave assisted SHS: Oxidation behaviour in the 750–900 °C range, *Surf. Coat. Technol.*, 2010; 204: 1793–1799.
- [28] Ozdemir O., Zeytin S., Bindal C. A study on NiAl produced by pressure-assisted combustion synthesis, *Vacuum*, 2010; 84: 430–437.
- [29] Riyadi T.W.B., Zhang T., Marchant D., Zhu X. Synthesis and fabrication of NiAl coatings with Ti underlayer using induction heating, *Surf. Coat. Technol.*, 2014; 258: 154–159.
- [30] Zanotti C., Giuliani P., Terrosu A., Gennari S., Maglia F., Porous Ni -Ti, ignition and combustion synthesis, *Intermetallics*, 2007; 15: 404-412.
- [31] Goh C.W., Gu Y.W., Lim C.S., Tay B.Y., Influence of nanocrystalline Ni-Ti reaction agent on self-propagating high-temperature synthesized porous NiTi”, *Intermetallics*, 2007; 15: 461-467.
- [32] La P., Bai M., Xue Q., Liu W., A study of Ni3Al coating on carbon steel surface via the SHS casting route, *Surf. Coat. Technol.*, 1999; 113: 44–51.
- [33] Pascal C., Marin-Ayral R.M., Tédenac J.C. Joining of nickel monoaluminide to a superalloy substrate by high pressure self-propagating high-temperature synthesis, *J. Alloys Compd*, 2002; 337: 221–225.
- [34] Kılıç M., Beken B., Kırık İ., Özdemir N. Kendi İlerliyen Yüksek Sıcaklık Sentezlemesi İle Ferritik paslanmaz Çelik Üzerine Ni₃Al'nin Kaplanması Ve Mikroyapı İncelemesi, International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, 66-72, Nevsehir, Turkey.
- [35] Chen, Y., Chung D.D.L. Nickel aluminid (Ni3Al) by reaktive infiltration , *J. Mater. Sci*, 1996; 31: 2117-2122. <http://wings.buffalo.edu/academic/departament/eng/mae/cmrl/Nickel%20aluminide%20fabricated%20by%20reactive%20infiltration.pdf> 15.11.2015.
- [36] <https://www.asminternational.org/> 10.11.2015
- [37] Tosun G., Özler L., Kaya M., Orhan N. SHS yöntemi ile üretilen NiTi alaşımlarının gözenek oranının incelenmesi, 5th International Powder Metallurgy Conference, 2008; 1353-1367, Ankara, Turkey.
- [38] Wang W., Yang B., Du L., Zhang W. Diffusion research between Ni3Al coating and titanium alloy produced by plasma spraying process, *Appl. Surf. Sci.*, 2010; 256: 3342–3345.
- [39] Podrabinnika A.P., Shishkovsky V.I. Laser post annealing of cold-sprayed Al–Ni composite coatings for green energy tasks, *Procedia IUTAM*, 2017; 23: 108 – 113.
- [40] Wang L-L., Wang W., Fan L-Y., Qi X-X., Liu H-J., Zhang Y-Z. Effects of Al and Ni doping on oxidation and corrosion resistance of electrophoretic deposited YSZ coatings, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2017; 27: 1551–1557.
- [41] Chen D., Luo F., Lou X., Qing Y., Zhou W., Zhu D. Comparison of thermal insulation capability between conventional and nanostructured plasma sprayed YSZ coating on Ni₃Al substrates, *Ceram. Int.*, 2017; 43: 4324–4329.
- [42] La P., Bai M., Xue O., Liu W, A study of Ni3Al coating on carbon steel surface via the SHS casting route, *Surf. Coat. Technol.*, 1999; 113: pp. 44-51.
- [43] Kotoban D., Nazarov A., Shishkovsky I. Comparative Study of Selective Laser Melting and Direct Laser Metal Deposition of Ni3Al Intermetallic Alloy, *Procedia IUTAM*, 2017; 23: 138 – 146.
- [44] Sidhu S.B., Prakash S. Evaluation of the corrosion behaviour of plasma-sprayed Ni₃Al coatings on steel in oxidation and molten salt environments at 900 °C, *Surf. Coat. Technol.*, 2003; 166: 89–100.
- [45] Ellner M., Keli S., Predel B. Ni₃Al₄ – A phase with ordered vacancies isotypic to Ni₃Ga₄, *J. Less- Common Metals*, (1989), V.154-1207-215.
- [46] Mishin Y. Atomistic modeling of γ and γ' -phases of the Ni-Al system , *Acta mater.*, 2004; 52: 1451 - 1465.
- [47] Al – Aql A.A., Al- Salhi M.S., Ansari M.I. Precipitation in Ni-35 at pct Cr Alloy, *J.Mater. Sci. Technol.*, 2002; V 18: No:177-79.
- [48] Pogrebnjak A., Beresnev V.M. Hard Nanocomposite Coatings, Their Structure and Properties, 2012; Chapter 6: 13-160, <http://dx.doi.org/10.5772/50567>.
- [49] Mishra B.S., Chandra K., Prakash S., Venkataraman B. Characterisation and erosion behaviour of a plasma sprayed Ni3Al coating on a Fe-based superalloy, *Mater. Lett.*, 2005; 59: 3694 – 3698.

Derin Öğrenme Kullanarak Otonom Araçların İnsan Sürüşünden Öğrenmesi

Mehmet Safa BİNGÖL¹, Çağrı KAYMAK², Ayşegül UÇAR^{3*}

¹ Mekantronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

^{2,3} Mekantronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ msbingol@erciyes.edu.tr, ² ckaymak@firat.edu.tr, ^{3*} agulucar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20/09/2018;

Kabul/Accepted: 19/01/2019)

Özet: Otonom araçlar, çevre koşullarını algılayarak kararlar alan ve aldıkları kararlar doğrultusunda hareket eden araçlardır. Günümüzde otonom araçlara olan ilgi hızla artmaktadır. Gelişen sensör, Grafik İşleme Birimi teknolojisi ve yapay öğrenme yöntemlerindeki yenilikler ile birlikte otonom araç teknolojisi de gelişmektedir. Bu çalışmada, küçük bir yer aracı ile yapay öğrenme yöntemlerini kullanan otonom bir araç tasarlanmıştır. Bu amaçla, yer aracı üzerine çeşitli sensörler, kamera ve NVIDIA TX2 kartı yerleştirilmiştir. Otonom yer aracının insan sürüşünden öğrenmesi için, Evrimsel Sinir Ağları ve Uzun Kısa-Vade Hafıza Ağları birlikte kullanan bir model önerilmiştir. Geliştirilen modelleri kullanan otonom araç, tasarlanan parkur üzerinde test edilmiştir. Tüm uygulamalar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler ve şekiller ile verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Otonom araçlar, Grafik İşleme Birimi, Evrimsel Sinir Ağları, Uzun Kısa-Vade Hafıza Ağları, derin öğrenme.

Learning of Autonomous Vehicles from the Human Driving Using Deep Learning

Abstract: Autonomous vehicles are that perceive environmental conditions and act in accordance with decisions. At present, interest in autonomous vehicles is increasing rapidly. With the development of sensor and Graphics Process Unit technology, and innovations in artificial learning methods, autonomous vehicle technology is also developing. In this paper, a small autonomous land vehicle was built using artificial learning methods. For this purpose, various sensors, camera and NVIDIA TX2 card were installed on the land vehicle. In order for the autonomous car to learn from human driving, a model using Convolutional Neural Networks and Long Short-Term Memory Networks have been proposed. The autonomous vehicle was tested on the designed racecourse. All applications were realized successfully. The results were given by graphics and figures.

Key words: Autonomous vehicles, Graphics Process Unit, Convolutional Neural Networks, Long Short-Term Memory Networks, deep learning.

1. Giriş

Otonom araçlara olan ilgi dünya çapında giderek artmaktadır. Bu teknolojiye gelişim potansiyeli çok açık bir şekilde görülmektedir. Yakın zamanda ulaşım ve taşımacılık alanında ciddi gelişmelerin yaşanması beklenmektedir. Otonom sürüş, trafik akışı ve park problemlerine yardımcı olarak, sürüş özelliklerini geliştirerek ve yakıtı daha verimli kullanarak şehirlerdeki kirlenmeyi azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bunlara ek olarak, otonom araçlar ile birlikte insan ve nakliye taşımacılığında insan kaynaklı hatalar azaldığından güvenlik oldukça artmaktadır [1].

Bir otonom araç için çevresinden bilgi almanın ilk yolu sensörlerdir. Günümüzde, sensör teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, mobil robotların ve otonom araçların ihtiyaç duyduğu sensörler verimli bir şekilde kullanılabilir [2].

Donanımsal gelişmelere bağlı olarak, geçtiğimiz yıllarda bilgisayar görmesi, makine öğrenmesi ve mobil robot araştırmaları alanlarında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle derin öğrenme alanındaki gelişmeler umut verici sonuçlar içermektedir [3]. Yukarıda ifade edilen hem donanım hem yazılım alanındaki yenilikler bizi araştırmalara ve yeni gelişmelere katılmak için cesaretlendirmiştir. Bu sayede, geleneksel bilgisayar görmesi yaklaşımlarının yerine derin öğrenme tabanlı algoritmaları, otonom araçların algılama sistemlerinde kullanmaya yöneltmiştir.

* Sorumlu yazar: agulucar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4188-2025, ² 0000-0001-5343-226X, ³ 0000-0002-5253-3779

Nesne algılama ve tanıma, otonom sürüş uygulamalarının en önemli araştırma konularından biridir. Bunun sebebi, otonom sürüşte bir kontrol hareketinin öncelikle nesneyi algılaması ve sonra da o nesneyi tanımlamasının gerekliliğidir. Son zamanlarda, gerçek hayatta kullanılan araçlar için nesne tanıma uygulamaları hızla büyümüştür. Bu uygulamalara örnek olarak, şerit algılama asistanı, stereo görüntü kullanarak engel algılama, kızılötesi görüntü kullanarak yaya algılama uyarı sistemi [4-7], lazer radar ve tek lensli kamera sistemi birleşimi kullanarak araç algılama sistemleri verilebilir [8].

Son yıllarda, derin öğrenme yöntemleri nesne algılama ve tanıma için güçlü makine öğrenmesi yöntemleri olarak ortaya çıkmıştır [9-11]. Derin öğrenme yöntemleri, bütün geleneksel yaklaşımlardan farklıdır. Derin öğrenme yöntemleri, özellikleri ham piksellerden doğrudan öğrenir. Derin öğrenme yöntemlerinde, yerel algılama alanları katman katman büyür. Çizgi, sınır ve köşe gibi basit özellikleri düşük seviyeli katmanlar algılamak için, araba veya trafik işaretleri gibi yüksek özellikleri yüksek seviyeli katmanlar algılar. Diğer bir ifadeyle derin öğrenme yöntemleri, nesnelere farklı ayrıntı düzlemlerinde temsil etmeye müsaade eder. Derin öğrenme yöntemlerinin başarıları ImageNet sınıflama yarışmalarında kendini göstermiştir [12, 13]. Bu yarışmada derin sinir ağlarının bir türü olan Evrimsel Sinir Ağları (ESA'lar) kullanılmıştır.

Yeni nesil otonom araçlarda araç içerisindeki tüm çoğul ortamlı sistemler ve durumsal farkındalığı sağlayan algılayıcılar, tek birim tarafından komuta edilmektedir. Araç yönetim sistemi sahip olduğu derin öğrenme yapısı sayesinde kameralar vasıtasıyla aldığı görüntüleri eş zamanlı sınıflandırarak sürücü destek sistemini oluşturmaktadır. Bu sayede özellikle kısıtlı görüş şartları gibi birçok durumda kazaların önüne geçilebileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, otonom yer aracının insan sürüşünden alınan veriler yardımıyla otonom sürüşü öğrenmesi amaçlanmıştır. Bilimsel yazında, insan tecrübesini kullanarak farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ESA'lar, Uzun Kısa-Vade Hafıza Ağları (UKVHA'lar) ve otomatik kodlayıcılar kullanılmıştır [14-17]. Bu çalışmada ise, daha kararlı otonom sürüş için hem evrişim katmanı hem de UKVHA katmanı içeren bir model önerilmiştir. Daha kararlı bir sürüş sağlanmıştır. Bu çalışmanın geri kalan bölümlerinde, sırasıyla otonom araç tasarımı, ESA ve UKVHA'lar, önerilen model ve deneysel sonuçlar anlatılmıştır.

2. Otonom Araç Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde, otonom araçlar ile ilgili yapılan çalışmalar doğrultusunda, bir otonom araç yapılmaya çalışılmıştır [18-21]. İlk olarak uygulamada kullanılan araç ve sensörler tanımlanmış, sonrasında yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.1. Donanım

2.1.1. Araç platformu

Otonom araç uygulaması için, Traxxas firmasının ürettiği, radyo kontrollü ve uzaktan kumandalı Traxxas Slash 4×4 Platinum araç kullanılmıştır [22].

Günümüzdeki araçlarda, genellikle Ackermann direksiyon sistemi kullanılmaktadır. Ackermann direksiyon sistemi, Rudolph Ackermann tarafından 1817 yılında geliştirilmiştir [23]. Ackermann direksiyon sistemi, aracın dönüşü sırasında içteki tekerleğin dıştaki tekerleğe göre daha keskin bir dönüş yapmasını sağlar. Traxxas'ın kullanılan aracında, Ackermann direksiyon sistemi kullanılmıştır. Aracında direksiyon kontrolü için bu çalışmada servo motor kullanılmıştır. Servo motoru sürmek için Darbe Genişlik Modülasyonu ile tetiklenen servo sürücü kullanılmıştır. Araçta, Velineon 3500 fırçasız motor kullanılmıştır. Bu motor güç ve uzun ömür için, yüksek sıcaklıkta sinterlenmiş Neodymium mıknatıslar ve yüksek hızlı bilyalı rulmanlar ile üretilmiştir [24].

Uygulamada aracın üzerindeki orijinal Elektronik Hız Kontrolör (EHK) çıkarılarak onun yerine Vedder EHK (VEHK) takılmıştır. Aracın üzerindeki EHK'nin en düşük hızı, saatte yaklaşık 9 kilometredir. VEHK kullanımının ana sebebi, hızı düşürerek aracın kontrolünü arttırmaktır. VEHK mimari olarak, STM32 ARM Cortex işlemciye sahiptir ve açık kaynak kodludur [25]. Veri toplama aşamasında, aracı kontrol etmek için Logitech F710 kablosuz oyun kolu kullanılmıştır. Bu oyun kolu, radyo kontrol ile haberleşen 2.4 GHz hızında nano alıcıya sahiptir.

2.1.2. NVIDIA Jetson TX2

NVIDIA Jetson TX2, düşük güç ve yüksek performans ile gerçek zamanlı yapay zekâ ve görüntü işleme uygulamaları için kullanılabilir. Jetson TX2, GİB olarak NVIDIA Pascal™, 256 CUDA çekirdeğine sahipken Merkezi İşlem Birimi (MİB) olarak, HMP Dual Denver 2/2 MB L2 + Quad ARM® A57/2 MB L2 sahiptir [26].

Otonom araçlarda bulunan kamera, mesafe sensörü ve diğer sensörlerden anlık olarak birçok veri gelmektedir. Bu nedenle, GİB'ler otonom sürüş uygulamaları için kilit rol oynamaktadır. GİB'ler tarafından sağlanan yüksek paralellik, aracın hareket planlaması için sensörlerden gelen verileri hızlı bir şekilde değerlendirerek karar vermesini sağlar.

2.1.3. Stereo kamera

ZED kamera, derinlik algılama ve hareket izleme için dünyanın ilk 3 boyutlu (3B) kamerası olarak Stereolabs firması tarafından geliştirilmiştir [27]. ZED kamerada, insan görüşünü temel alan gelişmiş algıma sistemleri kullanılmıştır. ZED kamera, derinlik algılama, hareket izleme ve 3B haritalama gibi uygulamalar için kullanılabilir. 2.2K video çekerken saniyede 15 görüntü alma kapasitesi ile dünyanın en hızlı kamerası olmuştur. Geniş açılı lensleri sayesinde algılama açısı 110 derecedir. 0.5 metre ile 20 metre arasında algılama yapabilmektedir.

2.1.4. İki boyutlu lazer tarayıcı

İki boyutlu (2B) lazer tarayıcı (LIDAR) olarak A2M6 isimli 2B-LIDAR kullanılmıştır. Kullanılan 2B-LIDAR 360 derece tarama özelliğine sahiptir. Bir saniyede 4000 adet örnek alabilmektedir. Menzili 20 metredir. Normal tarama hızı 10 Hz olmasına karşın, istenilen durumlarda 5-15 Hz arasında kullanılabilir [28].

2.2. Yazılım

Aracın işletim sistemi, Linux for Tegra (L4T) isimli bir Linux sürümüdür. Bu işletim sistemine CUDA, cuDNN, VisionWorks, OpenCV4Tegra yazılımları NVIDIA'nın JetPack isimli yazılım paketi kurularak yüklenmiştir. Ayrıca, Atalet Ölçüm Birimi (AÖB), VEHK, LIDAR ve kameranın çalışması için sürücülerini yüklenmiştir. Mobil robotun benzetimi ve kontrolü için Robot İşletim Sistemi (ROS-Robot Operating System) yüklenmiştir.

2.3. Parkur

Aracın üzerinde hareket etmesi için eni 4 metre, boyu 5,5 metre olan bir parkur hazırlanmıştır. Parkur üzerinde yol çizgileri yapılmıştır. Parkura yerleştirmek için çeşitli trafik levhaları hazırlanmıştır. Parkura ait fotoğraf Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Parkur görüntüsü.

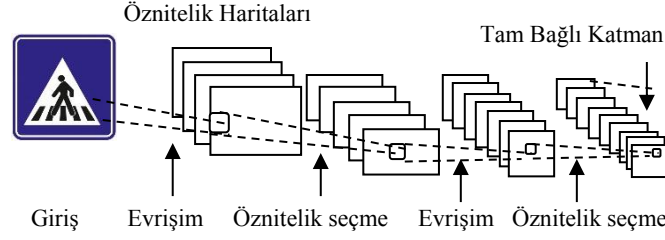
2.4. Yöntem

2.4.1. Evrişimsel Sinir Ağları

Çok katmanlı ileri beslemeli Yapay Sinir Ağları'nın (YSA'ların) bir alt türü olan ESA'lar 1998 yılında Yann LeCun tarafından tanıtılmıştır [29]. ESA'lar, görüntü işleme uygulamalarında, nesne algılama ve

sınıflandırma için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. ESA'nın örnek bir yapısı Şekil 2'de verilmiştir. ESA'ların en önemli getirisi, el ile öznitelik çıkarma işlemine ihtiyaç duymamasıdır.

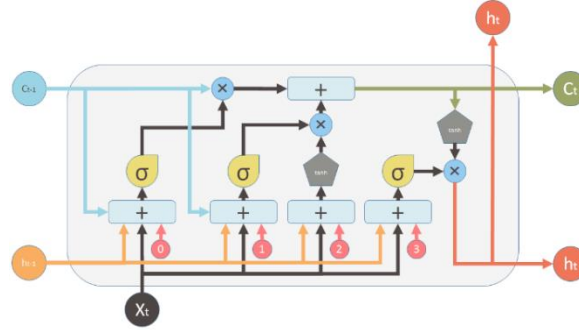
ESA'lar, evrişim katmanı, öznitelik seçici katman, Doğrultulmuş Doğrusal Birim (DDB) [30], tam bağlı katman ve değerlendirme katmanından oluşmaktadır [31-33]. Evrişim katmanı, ESA'ların temel katmanıdır ve giriş görüntüsünden öznitelik çıkarılmasını sağlar. Öznitelik seçici katman ile öznitelik haritalarının boyutu azaltılır. Öznitelik seçici katman ile boyut azaltma işlemi yapılırken, önemli olan özelliklerin kaybolmamasına dikkat etmek gerekir. DDB, doğrusal olmayan işlemler içerir ve negatif değerleri sıfır olarak değiştirir. Tam bağlı katman, evrişim katmanları, öznitelik seçici katmanlar ve DDB katmanlarından sonra gelen katmandır. Tam bağlı katmanın nöronları, önceki katmandaki tüm nöronlara bağlıdır. Tam bağlı katmandan sonra genellikle değerlendirme katmanı gelir.



Şekil 2. Örnek bir ESA mimarisi.

2.4.2. Uzun-Kısa Vade Hafıza Ağları

UKVHA'lar, Sepp Hochreiter ve Jürgen Schmidhuber tarafından 1997 yılında tekrarlayan sinir ağlarının bir çeşidi olarak tasarlanmıştır [34, 35]. YSA'larda, çıkışı sadece o anki giriş değeri değil önceki giriş değerleri de etkileyebilir. Bu yüzden, UKVHA'lara tekrarlayan sinir ağlarına ek olarak bir hafıza birimi eşlik etmektedir. Şekil 3'te örnek bir UKVHA yapısı verilmiştir. Burada; X_t giriş vektörünü, h_t çıkış vektörünü ve C_t hafıza birimini ifade etmektedir.



Şekil 3. Örnek bir UKVHA mimarisi [36].

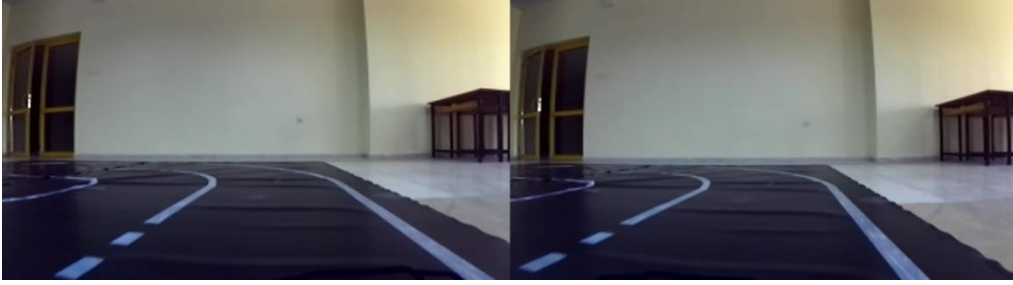
2.5. Uygulama

Uygulamada kullanmak için Traxxas aracının kaporta kısmı sökülüştür. Otonom araç için gerekli olan kamera ve sensörler aracın şasesine sabitlenmiştir. Aracın yandan görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.



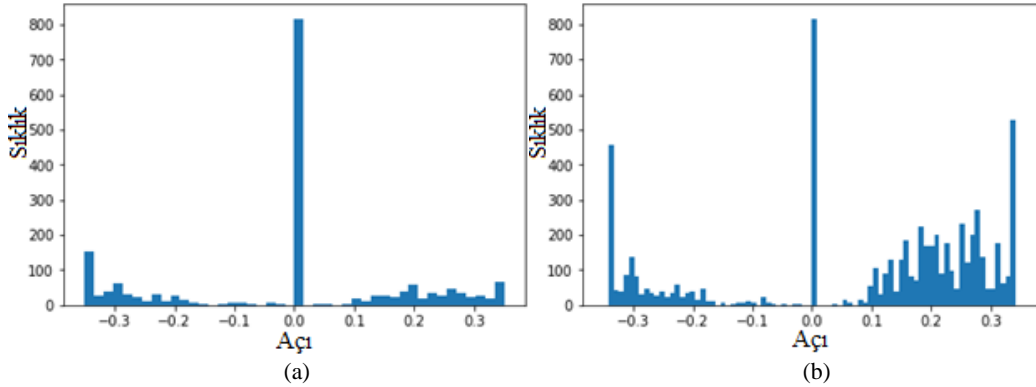
Şekil 4. Aracın yandan görünüşü.

Sonra araç parkura konularak Logitech F710 oyun kolu yardımıyla el ile kontrol edilmiştir. Araç, öğrenmesi istenilen alanlarda sürülmüştür. Bunun amacı, otonom aracın eğitiminde kullanılmak üzere kamera ve sensörlerden eğitim verileri toplayarak eğitim kümesi oluşturmaktır. El ile sürüş sonucunda, kameradan 1860 tane görüntüye ek olarak, araca ait hız ve direksiyon açılarının değerleri de kayıt altına alınmıştır. Kameradan alınan ilk 30 görüntü düzgün olmadığı için eğitim için kullanılmamıştır. Elde edilen görüntülerin %80'i eğitim kümesi, %20'si test kümesi olacak şekilde ayrılmıştır [37]. Kameradan alınan görüntü örneği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Araç kamerasından alınan bir görüntü.

Araç parkur üzerinde sürülürken kameradan alınan görüntülerin, açığa göre dağılımını görmek için Şekil 6 (a)'daki gibi bir histogram çizilmiştir. Açılarının $[-1, 1]$ aralığında düzgün dağılması için veri çoğaltma işlemi uygulanmıştır. Sayısı az olan açı değerleri veri kümesine yeni bir veri olarak tekrar eklenmiştir. Dengeli bir histogram Şekil 6 (b)'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6. (a) Tekerin açı değerlerine ait histogram grafiği, (b) Veri arttırma yöntemi ile elde edilmiş histogram grafiği.

Aracın her ortamda doğru bir şekilde hareket edebilmesi için, veriye parlaklık değişimi uygulanmıştır. Araçtan alınan görüntünün tüm pikselleri gerekli değildir. Bu nedenle üstten 144, alttan 76, soldan 0 ve sağdan 672 piksel alınmıştır. Bu nedenle ilk olarak, ağa kırıcı bir katman oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen bu veriler ile oluşturulan ağ yapısı eğitilmiştir. Eğitim sonuçları Şekil 7 (a)'da verilmiştir. Sonuçta elde edilen direksiyon açısı, ağ sonuç verdikten sonra -0.3 ila 0.3 aralığından -1 ila 1 aralığına çevirmek için 3 ile çarpılmıştır.

İnsan gösterimlerinden öğrenme amacı için iki farklı ağ kullanılmıştır. Birinci ağ yapısı, [14]'teki NVIDIA'nın ESA yapısıdır. Bu ağa ilişkin ayrıntılar Tablo 1'de verilmiştir. Bu ağ sırasıyla, görüntü ön işleme katmanı, dört evrişim katmanı, vektöre dönüştürme katmanı, 0.2 olasılıklı düğüm düşürme ve dört tam bağlı katmanı ile oluşturulmuştur. İkinci ağ yapısı ise UKVHA katmanı eklenerek bu çalışmada önerilmiştir. Ayrıntıları Tablo 2'de verilen önerilen ağ, sırasıyla görüntü ön işleme katmanı, iki evrişim katmanı, en-çok işlevi kullanan öz nitelik seçici katman, bir evrişim katmanı, 0.2 olasılıklı düğüm düşürme katmanı, zamansal vektöre dönüştürme katmanı, UKVHA katmanı ve dört tam bağlı katmanı ile oluşturulmuştur. [14]'teki ağda oluşabilecek aşırı uygunluk yani ezberleme probleminden kurulmak için önerilen ağda 0.2 olasılıklı düğüm

düşürme katmanı kullanılmıştır. Ayrıca en-çok işlevi kullanan öznelik seçici katman ile evrişim katmanının giriş boyutunu azaltmak amaçlanmıştır. Böylece bir sonraki katmanda daha az hesaplama yükü oluşturmuştur hem de ağır ezberlemesini önlemek amaçlanmıştır. UKVHA katmanı sayesinde daha kararlı sonuçlar elde etmek amaçlanmıştır. Modeller, Adam en iyilemeli küçük toplu geriye yayılım algoritması kullanarak eğitilmiştir. Amaç ölçütü olarak Ortalama Karesel Hata (OKH) kullanılmıştır. Eğitim, Intel i7 8700K 3.70 GHz 12M 1151p işlemci ve NVIDIA GTX Titan X Pascal ekran kartı içeren bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğitilen model daha sonra Jetson TX2 kartına gömülmüştür ve 1860 görüntü toplanmıştır.

Şekil 7 (a) ve Şekil 7 (b)'den görüldüğü gibi aşırı uygunluk çarpıcı bir şekilde azaltılmıştır. Böylece önerilen ağır geçerlilik hatası diğer ağıdan daha düşük olarak elde edilmiştir. Her iki modelin, her bir öz yineleme için eğitim süresi yaklaşık 83 ms'dir. Tablo 1 ve Tablo 2'den görüldüğü gibi [14]'ün toplam parametre sayısı 6050619 iken önerilen ağır 350875'dir. Bu da test aşamasında hesapsal yükün daha az olduğunun göstergesidir.

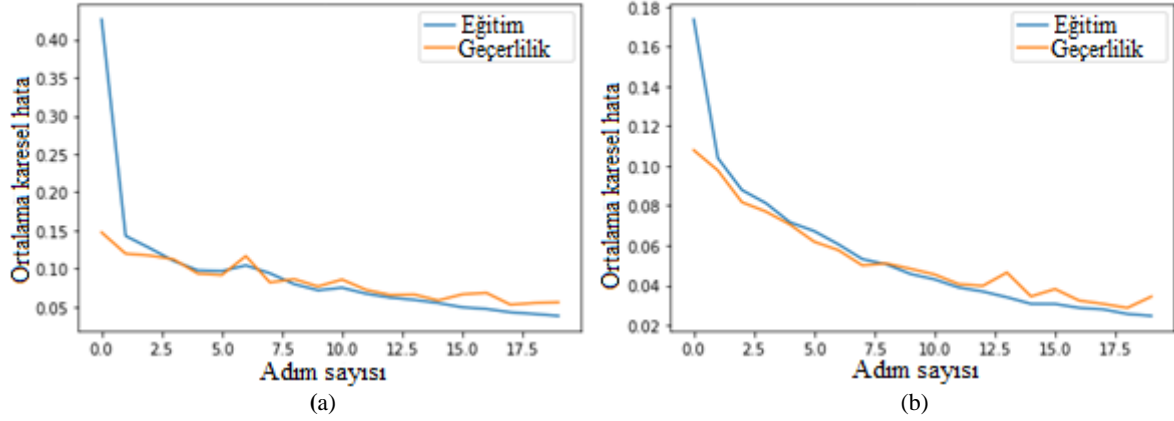
Araçın parkur üzerindeki görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir. Otonom sürüşte hedef, yüksek hızda aracın kararlı bir şekilde sürüşünün gerçekleştirilmesi ve direksiyon açısı üzerindeki hatanın düşük olmasıdır. Bu da UKVHA katmanı ile başarılmıştır. Özellikle yüksek hızlarda virajlarda kararlı dönüşler elde edilmiştir.

Tablo 1. [14]'teki CNN yapısı.

Katman	Filtre Boyutu	Öznelik Uzaklı Boyutu	Kaydırma Boyutu	Etkinleştirme İşlevi	Çıkış Boyutu	Parametre Sayısı
2B Kırpma katmanı (cropping2d_1)	-	-	-	-	156, 672, 3	0
Düzgeleme Katmanı (lambda_1)	-	-	-	-	156, 672, 3	0
2B Evrişim katmanı (conv2d_1)	5x5	24	2x2	DDB (ReLU)	76, 334, 24	1824
2B Evrişim katmanı (conv2d_2)	5x5	36	2x2	DDB (ReLU)	36, 165, 36	21636
2B Evrişim katmanı (conv2d_3)	5x5	48	2x2	DDB (ReLU)	16, 81, 48	43248
2B Evrişim katmanı (conv2d_4)	3x3	64	1x1	DDB (ReLU)	14, 79, 64	27712
2B Evrişim katmanı (conv2d_5)	3x3	64	1x1	DDB (ReLU)	12, 77, 64	36928
Vektöre dönüştürme (flatten_1)	-	-	-	-	59136	0
Tam bağlı katman (dense_1)	-	100	-	-	100	5913700
Tam bağlı katman (dense_2)	-	50	-	-	50	5050
Tam bağlı katman (dense_3)	-	10	-	-	10	510
Tam bağlı katman (dense_4)	-	1	-	-	1	11

Tablo 2. Önerilen UKVHA yapısı.

Katman	Filtre Boyutu	Öznelik Uzaklı Boyutu	Kaydırma/Azaltma Boyutu	Etkinleştirme İşlevi	Çıkış Boyutu	Parametre Sayısı
2B Kırpma katmanı (cropping2d_1)	-	-	-	-	156, 672, 3	0
Düzgeleme Katmanı (lambda_1)	-	-	-	-	156, 672, 3	0
2B Evrişim katmanı (conv2d_1)	5x5	24	2x2	DDB (ReLU)	76, 334, 24	1824
2B Evrişim katmanı (conv2d_2)	5x5	36	2x2	DDB (ReLU)	36, 165, 36	21636
Öznelik Seçici Katman (Max pooling)	-	-	2x2	-	18, 82, 36	0
2B Evrişim katmanı (conv2d_3)	5x5	48	2x2	DDB (ReLU)	7, 39, 48	43248
Düğüm düşürme katmanı- (Dropout)	-	-	0.2	-	7, 39, 48	0
Vektöre dönüştürme Katmanı (Time-distributed flatten_1)	-	-	-	-	7, 1872	0
UKVHA katmanı	-	36	-	-	36	274896
Tam bağlı katman (dense_1)	-	100	-	-	100	3700
Tam bağlı katman (dense_2)	-	50	-	-	50	5050
Tam bağlı katman (dense_3)	-	10	-	-	10	510
Tam bağlı katman (dense_4)	-	1	-	-	1	11



Şekil 7. (a) [14]'teki ağır eğitim sonuçları, (b) Önerilen ağır eğitim sonuçları.



Şekil 8. Aracın parkur üzerindeki görüntüsü.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, insan gösterimlerinden öğrenen bir otonom yer aracının tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, Traxxas marka araç, VEHK, LIDAR, AÖB ve kamera kullanılarak otonom yer aracı oluşturulmuştur. İkinci olarak aracın üzerinde hareket edebileceği parkur oluşturulmuştur. Araç, oluşturulan bu parkur üzerinde kullanıcı tarafından hareket ettirilmiş ve ağı eğitmek için gerekli veriler toplanmıştır. Üçünü olarak, evrişim katmanlarından sonra UKVHA katmanı içeren yeni model önerilmiştir. Dördüncü olarak, toplanan veriler ile ağ eğitilmiştir. Son olarak, tasarlanan otonom araç parkur üzerinde test edilmiştir. Önerilen ağır, direksiyon açısının tahmini üzerinde NVIDIA'nın ESA'sından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Gelecek çalışma olarak daha kapsamlı bir algılama sistemi tasarlanarak daha gelişmiş bir otonom araç gerçekleştirilebilir. Algılamadaki yanlışlıkları en aza indirmek, aracın hızını arttırmak ve aracın daha verimli çalışmasını sağlamak gelecek araştırmalara konu olabilir.

4. Teşekkür

Bu çalışma, "Grafik İşleme Ünitesi (GPU) Tabanlı Öğrenme Kullanarak Otonom Araçlar İçin Algılama Sisteminin Geliştirilmesi" isimli tez çalışması kapsamında, FÜBAP MF.17.05 nolu Yüksek Lisans Tez Projesi ve FÜBAP MF.18.06 nolu performans projesi desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, NVIDIA ve Open Zeka şirketlerine donanım desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Gomez V. Object detection for autonomous driving using deep learning. PhD Thesis, Universitat At Politecnica De Catalunya, Automatica Robotica I Visio, Barcelona, 2015.
- [2] Nikbay K. Otonom araçların güzergah takibi için bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [3] Wason R. Deep learning: Evolution and expansion. *Cognitive System Research* 2018; 52: 701-708.
- [4] Mobileye pedestrian collision warning system, <https://www.mobileye.com/our-technology/> (Erişim: 28 Ağustos 2018)
- [5] Coelingh E, Eidehall A and Bengtsson M. Collision warning with full auto brake and pedestrian detection - a practical example of automatic emergency braking. In *Proceedings of the 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*; 19-22 September 2010; Funchal, Portugal, pp. 155-160.
- [6] Autonomous driving, <https://www.bmw.com/en/index.html/> (Erişim: 17 Ağustos 2018)
- [7] VW Emergency Assistance System, <https://safecarnews.com/> (Erişim: 11 Temmuz 2018)
- [8] Active safety technology, https://www.toyota-global.com/innovation/safety_technology/toyota-safety-sense/ (Erişim: 3 Eylül 2018)
- [9] Deng L and Yu D. Deep Learning: methods and applications, *Foundations and Trends in Signal Processing* 2014; 7: 3-4.
- [10] Christian S, Toshev A and Erhan D. Deep neural networks for object detection. In *Proceeding of the Advances in Neural Information Processing Systems*; 5-10 December 2013; Lake Tahoe, USA; pp. 2553-2561.
- [11] Krizhevsky A, Sutskever I and Hinton GE. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems*; 3-6 December 2012; Lake Tahoe, USA; pp. 1097-1105.
- [12] Deng J, Berg A, Satheesh S, Su H, Khosla A and Fei-Fei L (2012). <http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/2012/>
- [13] Berg A, Deng J and Fei-Fei L. Large scale visual recognition, *International Journal of Computer Vision* 2010; 115(3): 211-252.
- [14] Bojarski M, Del Testa D, Dworakowski D, Firner B, Flepp B, Goyal P and Zhang X. End to end learning for self-driving cars 2016; arXiv preprint arXiv:1604.07316.
- [15] Santana E and Hotz G. Learning a driving simulator 2016; arXiv preprint arXiv:1608.01230.
- [16] Eraqi HM, Moustafa MN and Honer J. End-to-end deep learning for steering autonomous vehicles considering temporal dependencies 2017; arXiv preprint arXiv:1710.03804.
- [17] Karşlı M, Satılmış Y, Şara M, Tufan F, Eken S and Sayar A. End-to-end learning model design for steering autonomous vehicle. In *Proceedings of the 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*; 2-5 May 2018.
- [18] Du X, Ang MH, Karaman S and Rus D. A general pipeline for 3d detection of vehicles 2018; arXiv:1803.00387 [cs.CV].
- [19] Ma F, Cavalheiro GV and Karaman S. Self-supervised sparse-to-dense: self-supervised depth completion from lidar and monocular camera 2018; arXiv:1807.00275 [cs.CV].
- [20] Amini A, Soleimany A, Karaman S and Rus D. Spatial uncertainty sampling for end-to-end control 2018; arXiv:1805.04829 [cs.AI].
- [21] Shin R, Karaman S, Ander A, Boulet MT and Connor J. Project based, collaborative, algorithmic robotics for high school students: Programming self driving race cars at MIT. In *Integrated STEM Education Conference (ISEC)*; 11 March 2017; New Jersey, USA; pp. 195-203.
- [22] Slash 4x4 Platinum Edition, <https://traxxas.com/products/models/electric/6804Rslash4x4platinum/> (Erişim: 10 Ocak 2018)
- [23] Weinstein AJ and Moore KL. Pose estimation of Ackerman steering vehicles for outdoors autonomous navigation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*; 14-17 March 2010; Vina del Mar, Chile; pp. 579-584.
- [24] Velineon 3500 Brushless Motor, <https://traxxas.com/products/parts/motors/velineon3500motor/> (Erişim: 10 Ocak 2018)
- [25] FOCBOX motor controller, <https://www.enertionboards.com/electric-skateboard-parts/FOCBOX-programmable-brushless-motor-controller/> (Erişim: 22 Şubat 2018)
- [26] Autonomous machines, <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems-dev-kits-modules/> (Erişim: 7 Temmuz 2018)
- [27] Zed stereo camera, <https://www.stereolabs.com/> (Erişim: 19 Haziran 2018)
- [28] RPLidar A2M6, <https://www.seeedstudio.com/RPLidar-A2M6-The-Thinnest-LIDAR-p-2919.html> (Erişim: 5 Haziran 2018)
- [29] LeCun Y, Bottou L, Bengio Y and Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition. In *Proceedings of the IEEE* 1998; 86(11): 2278-2323.
- [30] Uçar A ve Bingöl MS. Derin öğrenmenin Caffè kullanılarak grafik işleme kartlarında değerlendirilmesi. *DÜMF Mühendislik dergisi* 2018; 9(1): 39-49.
- [31] Jarrett K, Kavukcuoglu K, Ranzato M and LeCun Y. What is the best multi-stage architecture for object recognition. In *Proceedings of the International Conference on Computer Vision (ICCV)*; 29 September-2 October 2009; Nevada, USA; pp. 2146-2153.

- [32] LeCun Y, Kavukcuoglu K and Farabet C. Convolutional networks and applications in vision. In Proceeding of the Circuits and Systems International Symposium; 30 May-2 June 2010; Grenoble, France; pp. 253-256.
- [33] Ucar A, Demir Y and Guzelis C. Object recognition and detection with deep learning for autonomous driving applications. SIMULATION 2017; 93(9): 759-769.
- [34] Hochreiter S and Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural computation 1997; 9(8): 1735-1780.
- [35] Martin S, Schlüter R and Ney H. LSTM neural networks for language modeling. In Proceedings of Thirteenth annual conference of the international speech communication association; 9-13 September 2012; Portland, USA; pp. 194-197.
- [36] LSTM and its diagrams, <https://medium.com/mlreview/understanding-lstm-and-its-diagrams-37e2f46f1714/> (Erişim: 15 Ağustos 2018)
- [37] Bingöl MS. Grafik işleme ünitesi (GPU) tabanlı öğrenme kullanarak otonom araçlar için algılama sisteminin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2018.

AASHTO Metodunda Rijit ve Esnek Üstyapıların Projelendirilmesinde Kullanılan Parametrelerin İncelenmesi

Mehmet Mahmut TANYILDIZI^{1*}, Tacettin GEÇKİL²

¹ 2'nci Ordu Komutanlığı, Malatya, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

*¹mmtanyildizi@hotmail.com, ²tacettin.geckil@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 02/02/2019;

Kabul/Accepted: 16/02/2019)

Özet: Ülkemiz karayollarının orta ve uzun vadedeki bakım-onarımın yanında, işletme giderlerinin de göz önüne alınarak en uygun seçeneğin tercih edilmesi hem ekonomiklik hem de verimlilik açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, yol üstyapısının projelendirilmesinde kullanılan AASHTO (1986) metodundaki parametrelerin, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını ve esnek üstyapı sayısını ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Esnek üstyapıların projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken en önemli parametrenin 'Taban Zemini Esneklik Modülü (M_R)' ve rijit üstyapılarda ise 'Betonun Elastisite Modülü (E_c)' olduğu bulunmuştur. Ekonomik kayıpların önlenmesi bakımından, bu parametrelerin belirlenmesinde hassas bir şekilde davranılması gerektiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Rijit üstyapı, esnek üstyapı, AASHTO metodu, tabaka kalınlığı.

Investigation of Parameters Used in the Design of Rigid and Flexible Superstructures in AASHTO Method

Abstract: In addition to medium and long-term maintenance and repair of highways in Turkey, choosing the most suitable option considering the operating costs is very important in terms of both economy and efficiency. In this study, the parameters of the AASHTO (1986) method used in the design of rigid and flexible pavements were investigated to determine the extent of the rigid pavement concrete pavement thickness and the number of flexible pavements. It was found that the most important parameter to be considered in the design of flexible superstructures is subgrade resilient modulus (MR) and that of rigid superstructures is the elastic modulus of concrete (Ec). In terms of prevention of economic losses, it was seen that these parameters should be treated with precision.

Key words: Rigid pavement, flexible pavement, AASHTO Method, layer thickness.

1. Giriş

Günümüzde taşıt endüstrisinde meydana gelen hızlı gelişmeler bir taraftan yol kaplamalarının daha fazla trafik yüklerine maruz kalmasına, diğer taraftan da mevcut yol ağlarında yetersizliklere neden olmaktadır. Bu sebeple, Türkiye'de karayolları açısından ortam ve koşullara göre en uygun seçeneğin tercih edilmesi önemlidir. Özellikle yolun orta ve uzun vadedeki bakım-onarım ve işletim giderlerinin de hesaba katılarak, ülkemiz açısından en ekonomik ve verimli olan seçimin yapılması gerekli olmaktadır [1-2].

Karayolları üst yapılarının yapım harcamalarının maliyetli olması nedeniyle, karayolu bütçelerinin en verimli kullanımı için mevcut en iyi tasarım yönteminin ve seçim parametrelerinin uygulanması gerekmektedir. Yeni ya da takviye tabakası uygulanacak üst yapı bünyelerinin tasarımındaki gelişme veya yenilik, bu yapılarındaki bakım masraflarını azaltmada önemli ve gözle görülür olanaklar sunmuştur. Üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konu özelliği taşımaktadır [3].

Yol üst yapısı trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketi sırasında dingil yüklerinden dolayı oluşan radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmelerinden oluşmaktadır. Trafik yüklerinin şiddeti ve mertebesi oluşan gerilmelerin tekrarlanmasıyla doğrudan orantılıdır. Yol üst yapı tasarımında amaç tabakalarda kullanılacak malzemelerin özellikleri belirlenerek tekrarlanması planlanan yükleri, ç¹evresel koşullar altında, büyük deformasyonlara, çatlamalara maruz kalmadan güvenli bir şekilde taşıyabilecek tabakaların kalınlıklarının belirlenmesidir [4-5].

Bu çalışmada; Rijit ve esnek üstyapıların projelendirilmesinde kullanılan AASHTO (1986) metodundaki parametrelerin, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı ile esnek üstyapı sayısını ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır.

* Sorumlu yazar: mmtanyildizi@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-5992-2665, ²0000-0001-8070-6836

2. Materyal ve Yöntem

Üstyapı tipinin seçilmesi, çok sayıda ve değişik ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konudur. Seçim yapılırken, üstyapı tipleri teknik ve ekonomik bakımdan karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak, karara varılmalıdır.

Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme yönünden farklılık gösterirler. Alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapılar, tekerlek yükleri altında deforme olmakta ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Böylece taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olmaktadır [6]. Rijit üstyapılar, temel tabakaları üzerine yapılan beton plaktan oluşmaktadır. Beton plağın elastisite modülü, taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu bakımdan beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Trafik hacmi ve yıllık trafik artış oranı yüksek, ayrıca trafik içindeki ağır taşıt miktarı fazla olan yollar için rijit üstyapı dikkate alınmalıdır [7]. Mevsimler arasında büyük sıcaklık farklılıkları bulunan, kara ikliminin hakim olduğu bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması nedeniyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi güç olmaktadır. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak bu durumda, beton plaklar arasındaki derz mesafesinin kış mevsimlerinde çok fazla açılması problemi ortaya çıkmaktadır. Buda pompaj olayını kolaylaştırmaktadır [8]. Her iki kaplama türü ilk yapıldığında, güvenli ve konforlu bir seyir sağlamaktadır. Beton yollar açık renkleri nedeniyle, gece koşullarında kolay görünmekte, siyah renkli asfalt betonlu yollarda ise, durum tam tersi olmaktadır [9]. Üstyapı tipi seçiminin en önemli ölçütü, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk yapım maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle kullanıcı açısından ortaya çıkacak gecikme maliyetlerinin toplamıdır. Beton yolların ilk yapım maliyeti genellikle asfalt yollardan yüksektir. Ancak asfalt üretiminde kullanılan ham petrolün çok büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bugün çimento üretimi bakımından dünyanın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır [10]. Birçok parametrenin birbiri ile çelişmesi sebebiyle, her yönden olumlu sonuçlar verecek bir kaplama türünün uygulanması güçtür [11]. Bu nedenle üstyapı seçiminde, o yoldan beklenen performans ve ülkenin çeşitli koşulları (ekonomi, iklim, trafik, teknik olanaklar, kalite tercihi vs.) dikkate alınmak ve en uygun sonuca ulaşmak zorunlu olmaktadır [12].

2.1 AASHTO metodu ile rijit üstyapı tasarımı

AASHTO (1986) metodu, yol testi sonuçları ile standart dingil yükü tekerrür sayısının kaplamanın performansına etkisi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Esnek kaplamaların tasarımında olduğu gibi, kaplamanın servis yeteneğindeki azalma göz önüne alınmaktadır. Beton kaplamanın performansı için AASHTO (1986) yol testinden denklem (1) deki eşitlik elde edilmiştir [6].

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10} W_{8,2} = & Z_R S_0 + 7,35 \text{Log}_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\text{Log}_{10}[\Delta \text{PSI}/(4,5-1,5)]}{1 + [1,624 \times 10^7 / (D+1)^{8,46}]} \\ & + (4,22 - 0,32P_t) \text{Log}_{10} \frac{S_c C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]} \end{aligned} \quad (1)$$

Burada;

- $W_{8,2}$: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı
- Z_R : Standart normal sapma
- S_0 : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
- D : Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı (inç)
- ΔPSI : $P_0 - P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)
- P_0 : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
- P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi
- S_c : Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (psi)
- J : Yük transfer katsayısı
- C_d : Drenaj katsayısı
- E_c : Betonun elastisite modülü (psi)
- k : Zemin yatak katsayısı (pci)

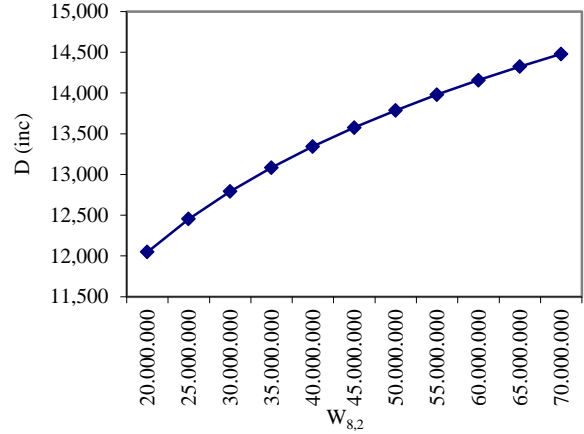
Bu çalışmada; yük transfer katsayısı $J=3.2$, drenaj katsayısı $C_d=1.0$ ve servis yeteneği kaybı $\Delta PSI=2$ olarak alınmış, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı D 'nin, $W_{8.2}$, k , S_0 , Z_R , E_c ile değişimi incelenmiştir.

8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı 20-70 milyon arasında, yatak katsayısı 25-800 psi arasında, trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası %10-%60 arasında, Güvenilirlik %5-%99 arasında, beton sınıfı C16 - C50 arasında seçilmiştir.

Tablo 1'de standart dingil yükü tekerrür sayısının kaplama kalınlığına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 1'de ise standart dingil yükü tekerrür sayısının kaplama kalınlığına etkisi verilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere, standart dingil yükü tekerrür sayısının artması ile kaplama kalınlığı artış eğilimi azalarak artmaktadır.

Tablo 1. $W_{8.2}$ değerindeki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.

$W_{8.2}$ (milyon)	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi) (milyon)	D (inc)	D (cm)
20	72	0,35	-1,645	5	12,050	30,607
25					12,454	31,633
30					12,792	32,492
35					13,085	33,236
40					13,344	33,894
45					13,576	34,483
50					13,787	35,019
55					13,980	35,509
60					14,158	35,961
65					14,324	36,383
70					14,480	36,779

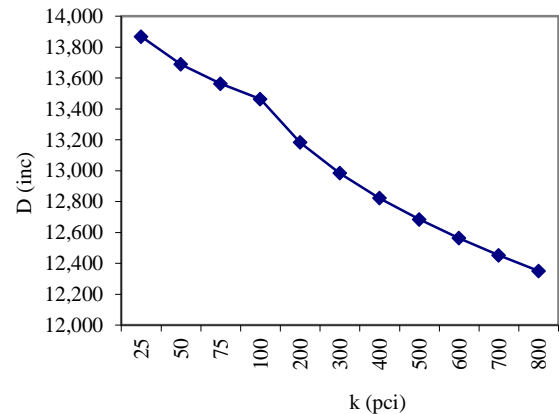


Şekil 1. Kaplama kalınlığının standart dingil yükü tekerrür sayısı ile değişimi.

Yatak katsayısının (k), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına etkisi Tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki değerlerin değişimi Şekil 2'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi, yatak katsayısının küçük değerlerinde, üstyapı beton kaplama kalınlığı büyük değerler almaktadır. Yatak katsayısı arttıkça üstyapı beton kaplama kalınlığı azalmaktadır.

Tablo 2. Yatak katsayısındaki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.

$W_{8.2}$ (milyon)	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi) (milyon)	D (inc)	D (cm)
45	25	0,35	-1,645	5	13,868	35,225
	50				13,688	34,768
	75				13,563	34,450
	100				13,463	34,196
	200				13,182	33,482
	300				12,983	32,977
	400				12,822	32,568
	500				12,684	32,217
	600				12,563	31,910
	700				12,452	31,628
	800				12,350	31,369

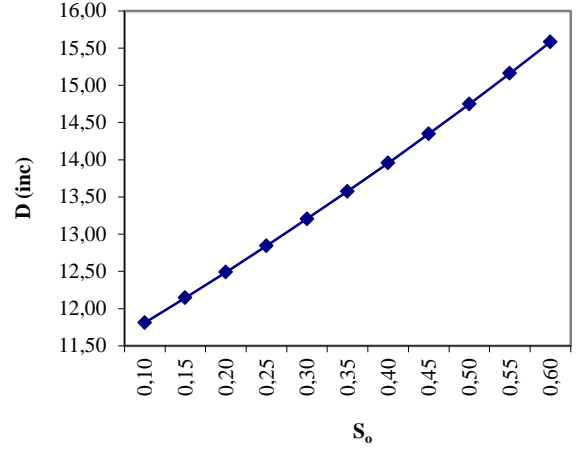


Şekil 2. Kaplama kalınlığının yatak katsayısı ile değişimi.

Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatasının (S_0), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 3'de verilmiştir. Tablodaki değerler Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 3'de de görüldüğü gibi S_0 değeri arttıkça, kaplama kalınlığı lineer olarak artmaktadır.

Tablo 3. S_0 'daki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.

$W_{8,2}$ (milyon)	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi) (milyon)	D (inc)	D (cm)
45	72	0,10	-1,645	5	11,810	29,997
		0,15			12,146	30,851
		0,20			12,490	31,725
		0,25			12,843	32,621
		0,30			13,205	33,541
		0,35			13,576	34,483
		0,40			13,957	35,451
		0,45			14,347	36,441
		0,50			14,748	37,460
		0,55			15,160	38,506
		0,60			15,582	39,578



Şekil 3. Kaplama kalınlığının bileşik standart hataya göre değişimi.

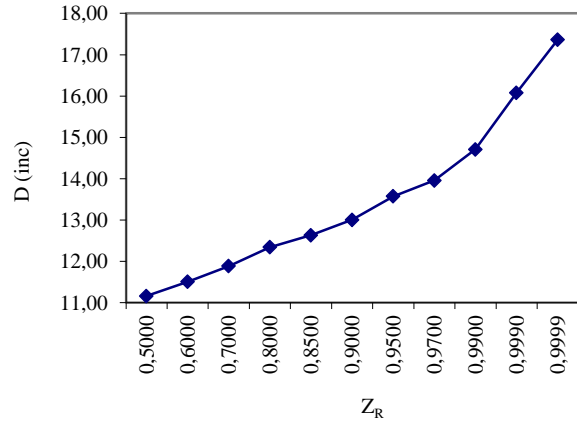
Tablo 4'de standart normal sapmanın (Z_R) kaplama kalınlığına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 4'de ise standart normal sapmaya karşılık gelen güvenilirlik faktörünün kaplama kalınlığına etkisi verilmiştir. Güvenilirliğin düşük değerleri arasında kaplama kalınlığı az miktarda değişirken özellikle %95 ve daha büyük bir güvenilirlik seviyesi için kaplama kalınlığı önemli derecede artmaktadır.

Tablo 5'te betonun elastisite modülünün (E_c) kaplama kalınlığına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 5'te ise betonun elastisite modülünün kaplama kalınlığına etkisi grafiksel olarak verilmiştir. Betonun elastisite modülünün artması ile kaplama kalınlığının lineer kabul edilebilecek bir şekilde azaldığı, en kaliteli beton sınıfının (C50) kullanılması durumunda ele alınan diğer trafik, yatak katsayısı, normal standart sapma parametrelerin ortalama değerlerine ve %95 güvenilirlik seviyesine göre beton kaplama kalınlığı en az 32,8 cm bulunmuştur.

Parametrelerin etkinliklerini belirlemek için hesaplamalarda dikkate alınan değerlerin ortalama değerlerinde %20'lik bir artışın kaplama kalınlığını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Tablo 4. Z_R 'deki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.

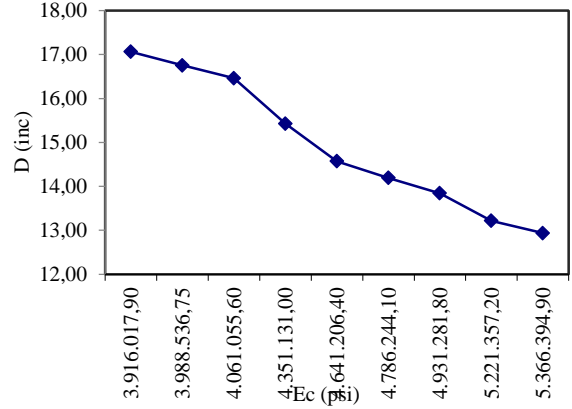
$W_{8,2}$ (milyon)	k (pci)	S_0	R_E	Z_R	E_c (psi) (milyon)	D (inc)	D (cm)
45	72	0,35	0,5000	0,000	5	11,164	28,357
			0,6000	-0,253		11,508	29,230
			0,7000	-0,524		11,887	30,193
			0,8000	-0,841		12,344	31,354
			0,8500	-1,037		12,634	32,090
			0,9000	-1,282		13,006	33,035
			0,9500	-1,645		13,576	34,483
			0,9700	-1,881		13,958	35,453
			0,9900	-2,327		14,709	37,361
			0,9990	-3,090		16,080	40,843
			0,9999	-3,750		17,363	44,102



Şekil 4. Kaplama kalınlığının güvenilirlik faktörüne göre değişimi.

Tablo 5. Ec'deki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.
($W_{8,2}=45.10^6$, $k=300$, $S_0=0,35$, $Z_R=-1,645$)

S _c (psi)	E _c (MPa)	E _c (psi)	D (inc)	D (cm)	C
406,10	27.000	3.916.017,90	17,061	43,335	C16
421,72	27.500	3.988.536,75	16,752	42,550	C18
437,34	28.000	4.061.055,60	16,459	41,806	C20
499,82	30.000	4.351.131,00	15,426	39,182	C25
562,30	32.000	4.641.206,40	14,569	37,005	C30
593,54	33.000	4.786.244,10	14,192	36,048	C35
624,77	34.000	4.931.281,80	13,843	35,161	C40
687,25	36.000	5.221.357,20	13,216	33,569	C45
718,49	37.000	5.366.394,90	12,934	32,852	C50



Şekil 5. Kaplama kalınlığının beton elastisite modülüne göre değişimi.

Eşdeğer standart dingil yükü sayısının ($W_{8,2}$) 45 milyondan 54 milyona artması kaplama kalınlığını %2,55 oranında artırmaktadır. Yatak katsayısının (k) 300 pci'den 360 pci'a yükselmesi kaplama kalınlığını %0,8 azaltmaktadır. Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatasının (S_0) 0,35'den 0,42'ye yükselmesi kaplama kalınlığını %3,97 oranında artırmaktadır. Güvenilirlik seviyesinin (R_E) %80'den %96'ya yükselmesi %10,6 daha fazla kaplama kalınlığı gerektirmektedir. Beton elastisite modülünün (E_c) 30.000 MPa'dan 36.000 MPa yani C25 sınıfı betondan C45 sınıfı betona yükselmesi kaplama kalınlığını %16,7 oranında azaltmaktadır.

2.2 AASHTO metodu ile esnek üst yapı tasarımı

AASHTO metodu ile esnek üstyapının projelendirilmesi kısmen deneyimlere dayandırılmakla beraber, taban zemini taşıma gücü, trafik dingil yükleri ve tekrürü ile yerel koşullar, ayrıca üstyapıda kullanılan malzemelerin birbirlerine oranla, direnç özellikleri de hesaba katılmaktadır. AASHTO yol deneyinden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesabında kullanılmak üzere üstyapıya etkileyen faktörleri içine alan AASHTO (1986) deney yolu denklemi (2) eşitliği ile verilmiştir [12].

$$\text{Log}T_{80} = Z_R S_0 + 9,36 \log_{10}(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10}[\Delta PSI / (4,2 - 1,5)]}{0,40 + [1094 / (SN+1)^{5,19}]} + 2,32 \text{Log}_{10}(0,145 M_R) - 8,07 \quad (2)$$

Burada;

T_{80} : Projelendirilecek yolun hizmete açılmasından, hizmet kabiliyeti indeksinin seçilen değere düşeceği değere kadar hesap şeridinin taşıyacağı tahmin edilen toplam trafiktir. (Eşdeğer standart dingil sayısı olarak)

M_R : Taban zemini esneklik modülü (psi)

S_0 : Standart sapma

Z_R : Normal standart sapma

SN : Üstyapı sayısı

ΔPSI : Servis kabiliyeti indeksi

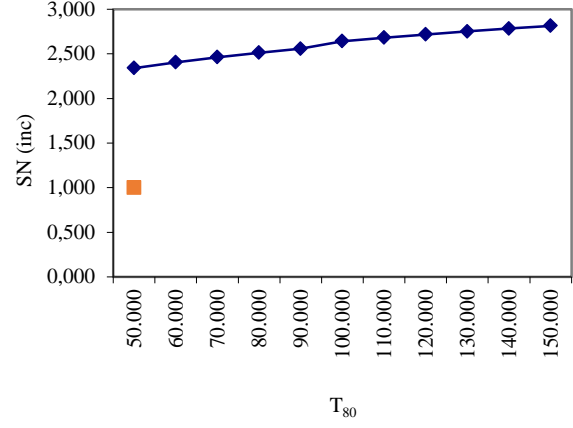
Bu çalışmada üstyapı sayısı SN 'nin, T_{80} , S_0 , R_E , M_R ile değişimi incelenmiştir. Eşdeğer standart dingil yükü tekrürü sayısı 50.000-150.000 bin arasında, standart sapma 0.40-0.50 arasında, taban zemini esneklik modülü 13.790-275.800 arasında seçilmiştir.

Tablo 6'da eşdeğer standart dingil yükü tekrürü sayısı (T_{80})'nin üstyapı sayısına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 6'da ise eşdeğer standart dingil yükü tekrürü sayısının üstyapı sayısına etkisi verilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü üzere, üstyapı sayısındaki değişim, eşdeğer dingil yükü tekrürü sayısına

paralel olarak lineer bir şekilde değişmektedir. Eşdeğer dingil yükü tekrür sayısı arttıkça, üstyapı sayısı da aynı oranda artmaktadır.

Tablo 6. T_{80} İle SN arasındaki ilişki.

T_{80} (Bin)	M_R	S_0	R_E	Z_R	ΔP	SN (inc)	SN (cm)
50	20685	0,35	0,500	-3,090	2,20	2,340	5,944
60						2,405	6,109
70						2,462	6,253
80						2,512	6,380
90						2,556	6,492
100						2,642	6,711
110						2,681	6,810
120						2,717	6,901
130						2,751	6,988
140						2,783	7,069
150	2,813	7,145					

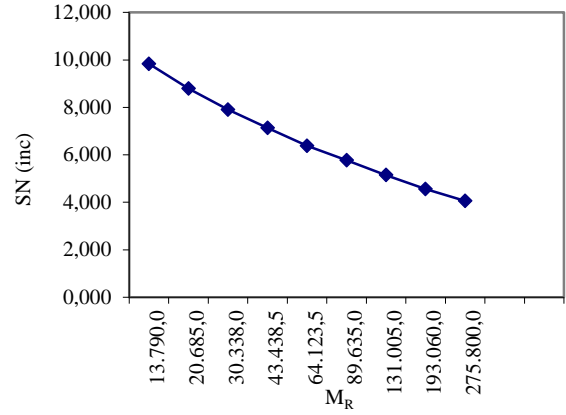


Şekil 6. SN'nin T_{80} ile değişimi.

Tablo 7'de taban zemini esneklik modülü (M_R)'nin üstyapı sayısına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 7'de ise taban zemini esneklik modülünün üstyapı sayısına etkisi verilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü üzere, taban zemini esneklik modülünün küçük değerlerinde, üstyapı sayısı büyük değerler almaktadır. Esneklik modülü arttıkça, üstyapı sayısı küçülmektedir.

Tablo 7. M_R İle SN arasındaki ilişki.

T_{80} (Bin)	M_R	S_0	R_E	Z_R	ΔP	SN (inc)	SN (cm)
100	13.790,00	0,6	0,999	-3,090	2,20	9,833	24,976
	20.685,00					8,793	22,334
	30.338,00					7,898	20,061
	43.438,50					7,135	18,123
	64.123,50					6,374	16,190
	89.635,00					5,772	14,661
	131.005,00					5,143	13,063
	193.060,00					4,552	11,562
	275.800,00					4,053	10,295

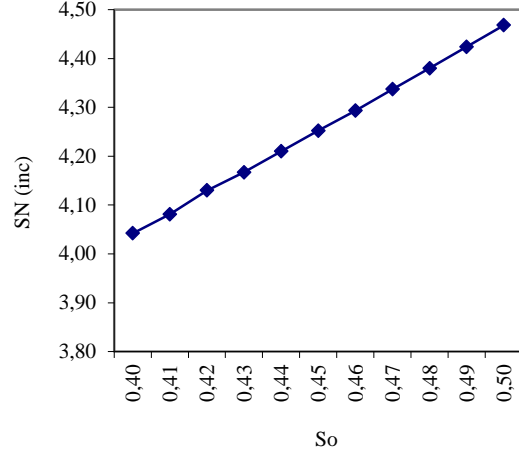


Şekil 7. SN'nin M_R ile değişimi.

Tablo 8'de standart sapma (S_0)'nın üstyapı sayısına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 8'de ise standart sapmanın üstyapı sayısına etkisi verilmiştir. Şekil 8'den görüldüğü üzere, üstyapı sayısındaki değişim, standart sapma sayısına paralel olarak lineer bir şekilde değişmektedir. Standart sapma sayısı arttıkça, üstyapı sayısı da aynı oranda artmaktadır.

Tablo 8. S_0 ile SN arasındaki ilişki.

T_{80} (Bin)	M_R	S_0	R_E	Z_R	ΔP	SN (inc)	SN (cm)
100	20685	0,40	0,999	-3,090	2,20	4,042	10,267
		0,41				4,081	10,366
		0,42				4,130	10,490
		0,43				4,167	10,584
		0,44				4,210	10,693
		0,45				4,252	10,800
		0,46				4,293	10,904
		0,47				4,337	11,016
		0,48				4,380	11,125
		0,49				4,424	11,237
		0,50				4,468	11,349

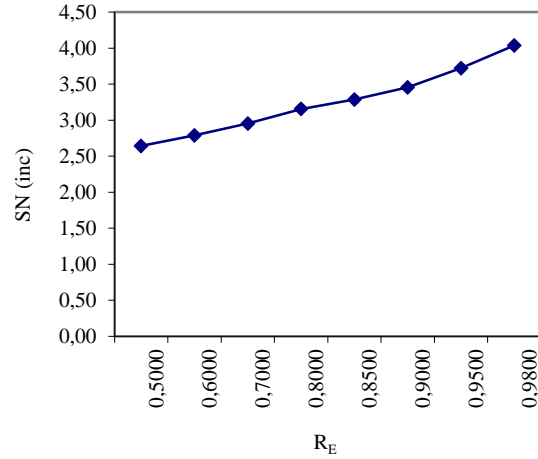


Şekil 8. SN'nin S_0 ile değişimi.

Tablo 9'da emniyet parametresi (R_E)'nin üstyapı sayısına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 9'da ise emniyet parametresinin üstyapı sayısına etkisi verilmiştir. Şekil 9'dan görüldüğü üzere, 0,50'den başlayarak değişen R_E değerlerine karşılık, SN değeri de artmaktadır.

Tablo 9. R_E ile SN arasındaki ilişki.

T_{80} (Bin)	M_R	S_0	R_E	Z_R	ΔP	SN (inc)	SN (cm)
100	20.685	0,60	0,50	0,000	2,20	2,642	6,711
			0,60	-0,253		2,789	7,084
			0,70	-0,524		2,953	7,501
			0,80	-0,841		3,156	8,016
			0,85	-1,037		3,286	8,346
			0,90	-1,282		3,456	8,778
			0,95	-1,645		3,721	9,451
			0,98	-2,054		4,037	10,254



Şekil 9. SN'nin R_E ile değişimi.

Parametrelerin etkinliklerini belirlemek için hesaplamalarda dikkate alınan değerlerin ortalama değerlerinde %20'lik bir artışın üstyapı sayısını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu kapsamda,

Eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısının (T_{80}) 100.000'den 120.000'e artması üstyapı sayısında %2,839'luk fazla değer elde edilmiş olmaktadır. Yani eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısında yapılmış %20'lik hata, üstyapı sayısında %2,839'luk hataya neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, trafik değerinin, gerçek trafik değerinden fazla alınması durumunda üstyapı sayısı, gerçek değerinden büyük olacaktır. Bu durumda da üstyapı tabaka kalınlıkları gereğinden kalın inşa edilmiş olacağından, ekonomik zarar söz konusu olacaktır. Aynı şekilde, trafik değerinin, gerçek trafik değerinden eksik alınması durumunda üstyapı sayısı, Bunun sonucu olarak, gerçek trafik değerinin altındaki bir değerde tasarlanan üstyapının, gerçek trafik karşısında hizmet ömrü kısılacak ve yol daha kısa sürede bozulacaktır.

Taban zemini esneklik modülünün M_R 'nin gerçek değerinden %20 büyük değer alınmış olması durumunda üstyapı sayısında %5,664'luk fazla değer elde edilmiş olmaktadır. M_R değerinin gerçek değerinden büyük alınması durumunda, üstyapı sayısı gerçek değerinden daha küçük olmaktadır. Bu durumda, tasarlanan üstyapı yolun hizmet ömründen daha kısa sürede bozulacaktır.

Standart sapma S_0 modülünün gerçek değerinden %20 büyük değer alınmış olması durumunda üstyapı sayısında %11.43'lük fazla değer elde edilmiş olmaktadır. S_0 değerinin gerçek değerinden büyük alınması durumunda, üstyapı sayısı gerçek değerinden daha büyük olmaktadır. Bu durumda, tasarlanan üstyapı yolun hizmet ömründen daha kısa sürede bozulacaktır.

Emniyet faktörü R_E modülünün gerçek değerinden %20 büyük değer alınmış olması durumunda, üstyapı sayısı gerçek değerinden daha büyük olmaktadır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, AASHTO metodundaki parametrelerin, esnek ve rijit üstyapılarda beton kaplama kalınlığına ve esnek üstyapı sayısına etkisi araştırılmıştır.

Rijit üstyapılarda; beton kaplama kalınlığını en çok etkileyen parametre betonun elastisite modülü E_c , ikinci derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası S_0 , üçüncü derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı $W_{8,2}$, dördüncü derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre ise standart normal sapma Z_R olmaktadır. Buna karşın, yatak katsayısı k üstyapı beton kaplama kalınlığını en az etkileyen parametre olarak belirlenmiştir. Bu nedenle rijit üstyapılarda kullanılacak beton kalitesinin artırılması ile daha az kalınlıkta beton tabaka imal edilebileceğinden ya da aynı kalınlıkta daha fazla trafik yüküne, deforme olmadan direnç gösterebilecek bir kaplama oluşturulabileceğinden, tamamen yerli kaynaklarla üretilecek kaliteli betonlar ile ekonomik açıdan önemli bir kazanç sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Esnek üstyapılarda, esnek üstyapı sayısını en çok etkileyen parametre taban zemini esneklik modülü M_R olmaktadır. Esnek üstyapılarda M_R değerinin gerçek değerinden büyük alınması durumunda tasarlanan üstyapı yolun hizmet ömründen daha kısa sürede bozulacak, M_R değerinin gerçek değerinden küçük alınması durumunda ise yatırım giderleri gereksiz yere artırılmış ve böylece ekonomik zararlara yol açabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Tanyıldızı M.M, AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Beton Kaplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İrdelenmesi, Y.Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2010.
- [2] Kuloğlu N., Kök B.V., Yılmaz M., Tanyıldızı M., AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Kaplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey. S:40-44
- [3] E.J.Yoder, M.W.Witzak, Principles of Pavement Design. New York: 1975.
- [4] Karayolları Genel Müdürlüğü, Sratejik Plan 2007-2011. Ankara.
- [5] Açar E., Süttaş İ., Öztaş G. Beton Yollar. İstanbul. İTÜ Yayınları,1998.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures..., Washington, D.C.: 1993
- [7] W.Carey, W, P. Irick, The Pavement Serviceability-Performance Concept,Highway Research Board Special Report 61E, AASHO Road Test, 1962.
- [8] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.:1986.
- [9] D.E.Peterson, "Pavement Management Practices," NCHRP Synthesis 135, Transportation Research Board. 1987.
- [10] P.Sulten, "Kayma Dirençli Gürültü Azaltıcı Betonlar", Federal Otoyol Araştırma Enstitüsü, Almanya. 2001.
- [11] K.Vqyeux, "Renovation of two places at Dinant", 19th Belgian Road Congress, Belgium. 2001.
- [12] Tunç A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Ankara. Nobel Yayınevi, 2007.
- [13] Kuloğlu, N., Erkmen, R., 1996. AASHTO Metodunda Esnek Üstyapı Sayısına Etki Eden Parametreler, TÜBİTAK, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, C: 20 S: 2, 79 – 85.

Matlab/Simulink Kullanılarak Kimyasal Parametrelerin Gerçek Zamanlı Kontrolü için Bir Altyapı

Abdurrahman ÖZBEYAZ¹¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
aozbeyaz@adiyaman.edu.tr

(Geliş/Received: 15/12/2018;

Kabul/Accepted: 17/02/2019)

Özet: Kimyasal süreçlerde çözelti içerisindeki bazı parametrelerin kontrolünün sağlanması ile birlikte çözeltinin istenen çıkış değerine yaklaşması beklenir. Bu parametrelerin değerlerini bir kimyasal reaksiyon sürecinde kontrol altında tutmak için kontrol algoritmaları kullanılır. Bu çalışmada, kimyasal işlemlerde kullanılan parametrelerin kontrolünü sağlayabilecek bir sistemin donanım ve yazılım alt yapısı geliştirilmiştir. ATmega 328 aracılığı ile sensörlerden okunan değerler Visual Studio.Net C#'ta geliştirilen program ara yüzüne seri iletişim ile aktarılmış ve böylece sistemin çalışabilirliği kontrol edilmiştir. Seri porttan gönderilen değerlerin istenen seviyenin alt ya da üstünde olmasına göre peristaltik pompa otomatik bir şekilde devreye alınmış ya da devre dışı bırakılmıştır. Ayrıca Matlab Simulink ortamında PID ile parametre kontrolünü sağlayacak örnek bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen donanımda seri iletişim için MAX232 entegresi, ATmega 328 entegresi, BD651 model transistör, 7805 marka voltaj regülatörü, DIY MORE marka pH sensörü, DC 12V 5000 RPM marka peristaltik pompa, 10 ve 1'er Farad'lık kondansatörler kullanılmıştır. Çalışmada ortaya konan altyapıda ileri kontrol algoritmaları denenerak geliştirilecek ve böylece sistemin durum tepkileri ve davranışları daha kararlı bir şekilde izlenebilecektir. Sonuç olarak, bu çalışmada kimyasal süreçlerde çözelti içerisindeki parametreleri kontrol altında tutabilecek bir sistem, donanım ve yazılım altyapıları ile birlikte geliştirilmiştir. Önerilen sistem bu alanda çalışan araştırmacılara maliyeti düşük alternatif bir kontrol sisteminin altyapısını sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kimyasal İşlemler, Kontrol, Matlab/Simulink, ATmega 328, Visual Studio.Net

An Infrastructure for the Real-Time Control of Chemical Parameters Using Matlab Simulink

Abstract: In chemical processes, it is expected that the solution approaches the desired output value with the parameter control in solution. Control algorithms are used to control parameters in chemical processes. In this study, a hardware and softwares infrastructure that could control the parameters used in processes was developed. The values were transferred via serial communication to the software interface developed in Visual Studio. Thus, the system's operability was checked. Peristaltic pump was automatically switched on/off according to whether values read from the serial port were above or below the desired level. In addition, an application was developed to control a parameter using PID in Matlab/Simulink. In the hardware, we employed MAX232 integrated for serial communication, Arduino Uno development card, BD651 transistor, 7805 voltage regulator, DIY MORE pH sensor, DC 12V 5000 RPM peristaltic pump and, 10F and 1F capacitors. The developed control mechanism is suitable for testing and developing new algorithms, so that the system's behavior such as system transient response can be monitored. Consequently, a hardware, which can keep the parameters in a solution under control in the chemical processes, has been developed with its softwares in this study. The proposed system alternatively presents an infrastructure in this field.

Key words: Chemical Process, Control, PID, ATmega 328, Embedded Systems, Visual Studio.Net, C#

1. Giriş

Bir çözelti içerisindeki parametrelerin seviyelerinin kontrol edilebilmesi tüm sistemin kontrolü için önem arz etmektedir. Örneğin belirli bir pH değerine sahip suya ihtiyaç duyan bazı bitki türleri bulunmaktadır. Bu bitkilerin, su içerisinde belirli seviyede bulunan pH değeri için en iyi düzeyde sudan istifade etmesi beklenmektedir. Benzer şekilde bazı balıklar belirli bir pH değerine sahip suda yaşayabilirler [1]. pH, arıtma kalitesini ve maliyetini etkileyen, EC (Elektrokoagülasyon) işlemi için önemli bir anahtar parametredir. Bundan dolayı bir EC işleminde en iyi akım yükünün belirlenmesi ve pH parametrelerinin kontrol edilmesi gerekmektedir [2]. Bu çalışmada bir çözelti için gerekli olan belirli bir parametrenin değerini istenen seviyede tutabilecek bir kontrol mekanizmasının donanım ve yazılım kısmı geliştirilmiştir.

Bir sistemin kontrol edilmesi ile insan faktörü en aza indirilir. Otomatik bir şekilde görevi yerine getirebilen ve bozucu etkileri algılayabilen mekanik veya elektrik-elektronik sistemlere kontrol sistemleri denir. Bir

¹ Sorumlu yazar: aozbeyaz@adiyaman.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: 10000-0002-2724-190X

kimyasal işlemin çeşitli değişkenlerini sabit tutabilmek için kontrol sistemleri geliştirilmektedir [2], [3]. Parametrik kontrol, bir kimyasal süreç için çok önemli olabilmektedir. Kimyasal işlemlerde bazı parametrelerin anlık ve sürekli izlenebilmesi ve bu parametrelerin endüstriyel operasyonlarda hatalı davranışlarının kontrol altında tutulabilmesi gelişen bilgisayar sistemleri ile artık mümkün olabilmektedir. Ayrıca işletmelerin bilgisayar tabanlı kontrol sistemi ile kontrol edilebilmesi kurulum ve üretim maliyetleri açısından son derece önemli olmaktadır [4].

Bu çalışmada kimyasal süreçlerde çözelti için gerekli olan parametrelerin otomatik kontrolünü sağlayabilecek bir mekanizma geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol sisteminin altyapısı farklı algoritmaların denenmesine müsaittir. Kontrol sistemi için geliştirilen donanım üzerinde biri gömülü, diğer ikisi Windows tabanlı olmak üzere toplam üç farklı yazılım geliştirilmiştir. Sistemin çalışabilirliği pH parametresinin kontrolü ile denenmiştir. Çalışmada geliştirilen donanım, bilgisayarın seri portundan aldığı sinyali TTL seviyesine dönüştürerek belirli komutları peristaltik pompa'ya göndermiş ve bunun tersi bir durum için pH sensöründen okunan değerleri de yine TTL'e dönüştürerek bilgisayara göndermiştir. Bu işlemleri yapabilmek için bir adet ATmega 328 geliştirici kart, bir motor kontrolcü, bir adet voltaj regülatörü ve bir adet MAX232 entegresi kullanılmıştır. Bu donanım çok giriş ve çok çıkışlı uygulamaların geliştirilmesine de müsaittir. Çalışmada geliştirilen gömülü sistem yazılımı ise giriş çıkış işlemlerini yapabilen ve peristaltik pompayı sürebilen bir yazılımı içermiştir. Bununla birlikte, çalışma kapsamında geliştirilen Windows tabanlı yazılımlardan birincisi seri port aracılığı ile sistemin çalışabilirliğini test etmek için kullanılmış, diğer yazılım ise Matlab Simulink ortamında geliştirilmiş ve bu yazılımda üzüm posası çözeltisinde sürekli artan pH değerini kontrol etmek için Simulink ortamında PID uygulaması geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem özellikle kimyasal reaksiyon süreçlerinde belirli bir parametreyi kontrol altında tutmak isteyen araştırmacılar için yeni ve maliyeti düşük bir çözüm sunmaktadır. Literatürde açık kaynaklı böyle bir çalışma pek bulunmamakla birlikte genellikle böyle bir sistem için araştırmacılar ciddi proje bütçeleri ayırmaktadır. Önerilen bu sistem ile araştırmacılar kontrol tabanlı kendi projelerinde maliyeti daha uygun, geliştirilmeye daha müsait, açık kaynak ve yönetilebilir bir kontrol sistemi altyapısı kurabileceklerdir. Bu çalışmada geliştirilen sisteme benzer sistemler literatüre bakıldığında şöyle sıralanabilir; yapılan bir çalışmada ticari amaçlı şişelenmiş sulardaki pH değerini kontrol etmek için farklı cihazlar denenmiştir. Yapılan bu çalışmada kurulan sistem ticari amaçlı ve maliyeti yüksek bir sistem olup aynı zamanda tam bir kontrol mekanizması sağlamamaktadır [5]. Yapılan başka bir çalışmada ise yağmur suyu içerisindeki pH değerinden su kalitesi testleri yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen kontrol sistemi sadece bir prototip olarak önerilmiştir [6]. Yapılan başka bir çalışmada ise otomatik pH izleme ve kontrol etme sistemi veri elde etme kartı kullanılarak geliştirilmiştir [7]. Yapılan diğer bir çalışmada ise; su çözeltisinde pH seviyesi sensörle ölçülmüş ve mikro denetleyici tarafından otomatik olarak kontrol edilmiştir. Ve böylece geliştirilen sistem derin su kültüründeki pH değerini ayarlayabilmiştir [8]. Önerdiğimiz çalışmanın bu son çalışmalardan farkı, farklı kontrol algoritmalarının sistem üzerinde denenebilmesine olanak sağlamasından ileri gelmektedir. Yapılan başka bir çalışmada ise pamuklu tekstil endüstrisinden elde edilen atık suların Elektrokoagülasyon (EC) yöntemiyle arıtımı gerçekleştirilmiş ve bu arıtım işleminde pH kontrolü ticari amaçlı bir kontrol sistemi ile gerçekleştirilmiştir [2]. Yapılan başka bir çalışmada ise pH kontrolü nesnelere interneti uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada sistemin donanım ve yazılım altyapısı kullanıcı tarafından geliştirilmiştir [1]. Ancak bu çalışma otomatik kontrol sistemi için yeterli değildir.

Makalenin bundan sonraki kalan kısmı şu şekilde oluşturulmuştur; ikinci bölümde çalışma kapsamında kullanılan donanımlar ve yazılım için kullanılan platformlar anlatılmıştır. Üçüncü kısımda bulgulara yer verilmiş ve son bölümde ise sonuçlar ve tartışmadan bahsedilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kimyasal işlem sürecinde çözelti içerisindeki belirli parametrelerin kontrolünü sağlayabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Sistemin yazılım altyapısı daha sonra geliştirilecek farklı kontrol algoritmaları için güncellenmeye müsaittir. Bilgisayar ile seri iletişim yapan donanım, duruma göre belirli sinyalleri bilgisayara göndermekte ve böylece kontrol sistemi çalıştırılmaktadır. Sistemin çalışabilirliğini kontrol etmek amacıyla geliştirilen yazılım öncelikle Microsoft Visual Studio C# ile ortaya konmuştur. Bu yazılım ile çözeltideki parametrelerin değerleri anlık olarak okunabilmektedir. Seri porttan okunan değerler belirli bir eşik üzerine çıktığında peristaltik pompayla seri port üzerinden iletişim kurularak sistem çalıştırılmaktadır. Aynı zamanda Matlab Simulink ortamında geliştirilen diğer bir yazılımda ise sistemde kontrolü sağlamak için PID kontroller denenmiştir. Çalışmada kullanılan materyaller ve metot aşağıda anlatılmıştır.

2.1.Gömülü Sistem

Çalışma kapsamında geliştirilen donanım için Arduino kart kullanılmıştır. Arduino açık kaynak temelli elektronik bir cihazdır. Bu cihaz üzerinde ATmega328P mikro denetleyici barındırır. Arduino kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikro denetleyicinin yanı sıra programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlar bulunur. Kart üzerindeki mikro denetleyici, yazacağımız programa göre giriş ve çıkış bağlantılarını kontrol eder. Bu kart 5 V ve 3.3 V'luk çıkış gerilim seçeneklerine sahiptir. Ayrıca her Arduino kartında en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16 MHz kristal osilator bulunmaktadır. Bilgisayara takılı olan USB kablo veya bir koaksiyel kablo aracılığı ile taşınabilir güç kaynağı üzerinden giriş gerilim beslemesini alabilir. Bir Arduino bordu kullanılarak çeşitli uygulamalar geliştirilebilir. Arduino ara yüzü kullanılarak yazılan kodlar kontrolcü üzerine atılabilir. Arduino'nun çeşitli türleri vardır. Bunlar Uno, Mega, Yun ve diğerleri olarak sayılabilir [9]. Geliştirilen elektronik sistemde ucuz ve kolay olduğu için Arduino Uno geliştirme kartı kullanılmıştır.

2.2. pH Sensörü

Gerçek zamanlı bir uygulama geliştirebilmek için çalışmada üzüm posası çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti içerisinde ki pH değeri zamanla kendiliğinden değiştiği için kontrol sisteminin çalışma şekli gerçek zamanlı olarak daha rahat izlenebilmiştir. pH uygulamada asidiklik ya da baziklığın bir ölçüsü olarak tanımlanır ve pH sensörü bu değeri ölçer. Saf su natürelidir ve 25 °C altında pH değeri 7 değerine yakındır. Eğer çözelti içerisindeki pH değeri 7'den büyükse çözeltinin bazik ya da alkaline olduğu ve eğer pH değeri 7'den küçük ise çözeltinin asidik olduğu ifade edilir [7]. Bu çalışmada pH sensörü, çözeltideki pH değerini ölçmektedir. pH sensöründe ölçülen değerler Atmega 328 mikro kontrolcüsü vasıtası ile bilgisayarda geliştirilen yazılıma gönderilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan pH metre, pH 0-14 değer algılama regülatör modülü izleme kontrol ölçer cihazını ve Arduino için BNC pH elektrot probunu içermektedir. pH sensörü özellik değerleri şöyledir; çalışma voltaj aralığı 5±0.2V (AC / DC), çalışma akım aralığı 5-10mA, algılama kapasitesi pH 0-14, cevaplama süresi 5S den küçük, kararlılık süresi 60S den küçük, güç tüketimi 0.5 W'dan küçük, çalışma sıcaklık aralığı -10~50 °C, çalışma nemi 95%RH ve analog voltaj sinyal çıkışına sahiptir. BNC elektrot pH probe özellik değerleri ise şöyledir; anlık okuma, BNC giriş terminali, pH aralığı 0-14, alkali hatası 0.2 pH, dahili direnci 98.5% den büyük, cevaplama süresi 1 dakikadan küçük, işletme sıcaklığı 0-60°C'dir.

2.3. Peristaltik Pompa

Peristaltik pompalar, sıvıları güvenli ve hızlı bir şekilde aktarmada kullanılır. Pompanın iç aksamı ile hiçbir şekilde sıvı teması olmadığından, medikal, gıda ve kimyasal deney uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir. Peristaltik pompa, 12V gerilim ile çalışmaktadır. Çevre dostu toksik madde içermeyen silikon hortuma sahiptir. Herhangi bir valf, solenoid vb. yapıya sahip olmadığından, istenildiği takdirde bu hortum değiştirilebilir [7]. Pompa iki yönlü olarak kullanılabilir. Çalışma kapsamında kullanılan peristaltik pompanın özellikleri şöyledir; çalışma gerilimi 12VDC, akış hızı 6-24 mL/dk, çalışma sıcaklığı: 0~40 °C, çalışabileceği ortam nemi: < 80%, boşta çektiği akım 0.06A, yükte çektiği akım 0.25A, boşta hızı 3500 RPM ve hortum tipi D (1.5-4) mm*0.5m silikon hortum. Çalışmada kullanılan bahsi geçen özelliklere sahip peristaltik pompa Arduino'dan gelen bilgiye göre devreye girerek çözeltiliye asit veya baz ekleyerek sistemin pH değerini denge durumuna getirmiştir.

2.4. MAX232 Devresi

MAX232 entegresi, mikro denetleyici seri iletişim uygulamalarında seviye dönüştürücü olarak kullanılan entegredir. Bu entegre TTL/CMOS(0-5) ->RS232(-12 +12) ve RS232->TTL/CMOS seviyesine dönüştürme işlemini gerçekleştirmektedir. Entegrenin Rx pinleri yüksek seviyeli RS232'i giriş olarak alır, düşük seviyeli TTL/CMOS çıkışlarına çevirir. Tx pinleri ise düşük seviyeli CMOS/TTL seviyeleri alarak yüksek seviyeli RS232'ye çevirir. MAX232 entegresi seviye dönüşümünün yanında tersleme işlemini de yapmaktadır. Çünkü CMOS/TTL için lojik-0 0V iken, RS232 için +12 voltur yani bildiğimiz lojik 1 ve 0 mantığının tersi bir durum vardır. Çalışmamızda kullandığımız MAX232 entegresi seri iletişim yapmaktadır.

2.6. Motor Süren Devre

Çalışmada kullanılan peristaltik pompanın devreye alınabilmesi ve pH değerlerinin bilgisayar tarafından okunabilmesi için bilgisayarın seri portundan gelen bilgilerin pompaya aktarılmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle çalışma kapsamında bir elektronik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistemi düzenlemek ve denetlemek için çalışmada BD651 model transistör ve 7805 marka voltaj regülatörü kullanılmıştır. Sistemde kullanılan transistör NPN tipli olup sistemde anahtarlama görevi yapmaktadır. Anahtarlama işlemi motorun açılıp kapanmasını sağlayan bir işlemdir. Aynı zamanda sistem içerisinde kullanılan voltaj regülatörü 1.8V, 3.3V, 5V, 6V, 8V, 9V, 12V, 15V, 18V, 24V ve ayarlanabilir, pozitif ve negatif çıkışlı, Dip veya SMD Kılıf tipinde entegreleri içermektedir. Sistemde kullanılan bu voltaj regülatörü düşük voltaj değerlerinde çalışan devre elemanlarını çalıştırabilmek için kullanılmıştır.

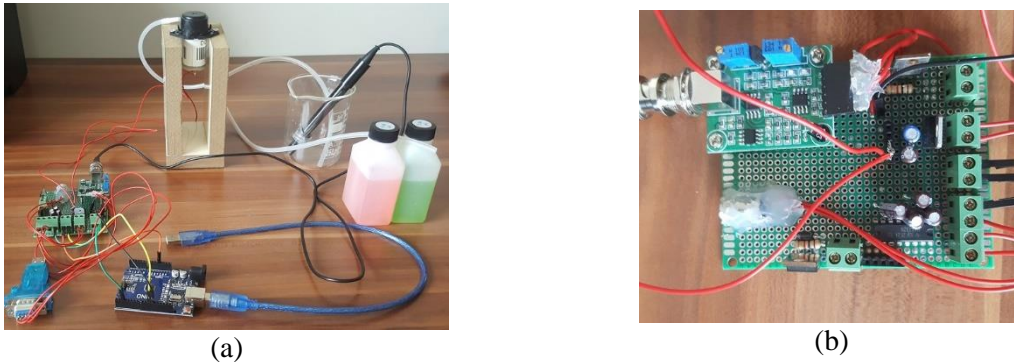
2.7. Yazılım Ortamları

Visual Studio.Net yazılımı geliştiricilere karmaşık uygulamaları görsel ara yüze sahip bir platformda geliştirmelerine müsaade eden bir ortam sunmaktadır. Visual C#'ta programlama çeşitli bileşenleri veya kontrolleri birlikte görsel bir şekilde bir form üzerinde düzenleyerek, bu bileşen ve kontrollerdeki özellikleri ve aksiyonları ayarlayarak ve her bir bileşen ve kontrol altına çeşitli komut satırları yazarak bir uygulamanın geliştirme adımlarını tamamlanmasını sağlamaktadır. Visual Studio platformunda, daha önceden tanımlanmış eylemler ve nitelikler için program yazma süreci basitleşir ve dolayısı ile geliştiriciler çok fazla satır kod yazma zahmetinden kurtulurlar [7]. Çalışmamızda Visual Studio.NET C# da geliştirilen yazılım, sistemin pH değerini denetleyerek sistemin daha verimli ve istenilen pH değerine göre çalışmasını sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında sistemin kontrolü Matlab Simulink ortamında PID ile geliştirilmiştir. Simulink ortamındaki veriler, USB portu üzerinden denetleyici kartına seri haberleşme yönetimi ile gönderilip alınmıştır. Bu haberleşmenin sağlanabilmesi için Arduino Simulink kütüphanesinden Arduino IO Setup bloğu eklenmiş ve USB kablo hangi porta bağlı ise "Serial (COM) port" bölümüne yazılmıştır. Arduino Uno kartının analog girişlerine bağlanan sensörler sağladığı verilerin Simulink ortamına aktarılması için Analog Read blokları Simulink ortamına eklenmiştir. Arduino Uno kartının analog girişleri 10 bit çözünürlüğe sahip olduğu için analog sinyaller minimumda 0 maksimumda 1024 değerini almıştır.

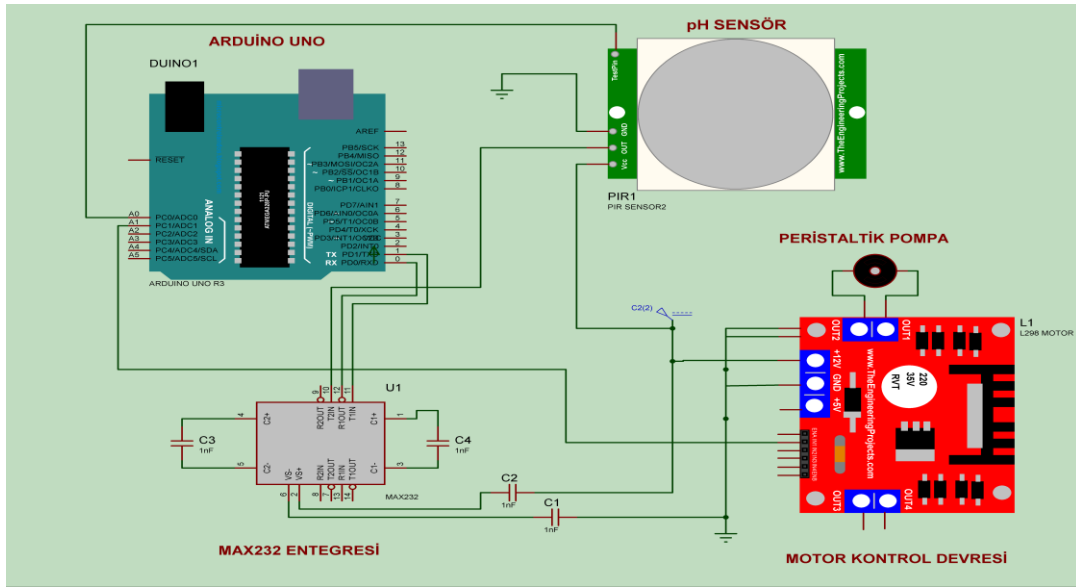
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kimyasal süreçlerin kontrol altyapısını sağlayacak bir sistem tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında temelde dört adet donanım ve üç adet yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem içerisinde birer adet motor sürme ve seri iletişimi sağlayan devre tasarım kartı, bir adet Arduino Uno kart, bir adet peristaltik pompa ve bir adet pH sensörü çözeltinin içerisinde bulunduğu beher ile birlikte kullanılmıştır. Yazılımlardan birincisi bilgisayarda pompanın çalışıp çalışmaması gerektiğine karar vermiş, diğer yazılım motoru sürmüş ve seri iletişimi sağlamış ve üçüncü yazılım ise PID kontrolcü ile kimyasal çözeltideki pH değerini kontrol etmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen donanım Şekil-1'de gösterilmiştir.



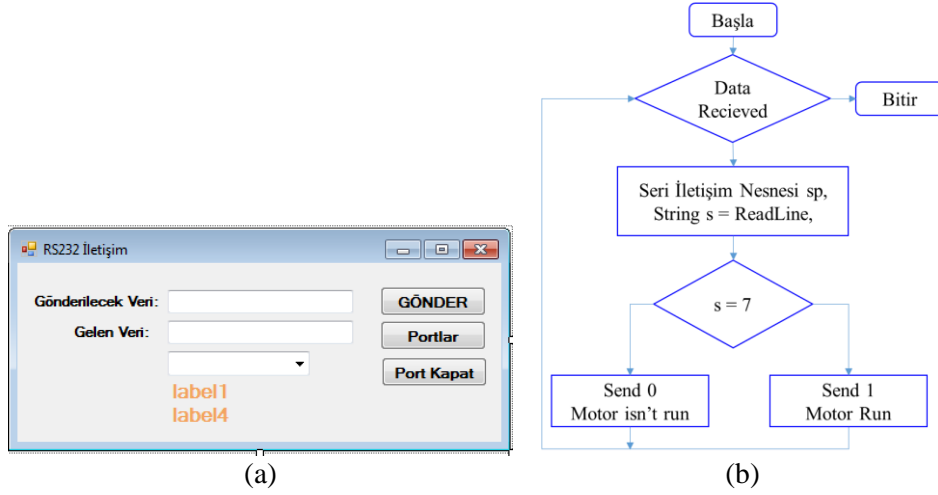
Şekil 1. (a) Geliştirilen sisteme ait görsel (b) sistem içerisinde motor sürmek ve seri iletişimi sağlamak için geliştirilen elektronik kart

Şekil 1-(a)'da geliştirilen sisteme ait genel bir görünüm ve Şekil 1-(b)'de ise geliştirilen sistemde motor sürme işlemini ve seri iletişimi mümkün kılan bir devre tasarımı gösterilmiştir. Geliştirilen kontrol kartında bir adet MAX232 devresi, bir adet BD651 model transistör, iki adet 7805 marka voltaj regülatörü, bir adet DIY MORE marka pH sensörüne ait BNC konektör, 10 ve 1 Farad'lık kondansatörler kullanılmıştır. Sistemde kullanılan voltaj regülatörleri 12V'luk gerilimi 5V'a düşürmektedir. Bunun yapılma sebebi, düşük voltaj değerlerinde çalışan sistem bileşenlerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Sistemde peristaltik pompayı açıp kapatabilmek (anahtarlama) için transistör kullanılmıştır. Ayrıca sistem üzerindeki seri iletişimi TTL seviyesinde yapabilmek için MAX232 entegresi kullanılmıştır. pH sensöründen okunan değerler MAX232 devresi aracılığı ile geliştirilen program ara yüzlerine gönderilmiştir. Gönderilen pH değerleri yazılımlar tarafından değerlendirilmiş, asitlik veya bazlık değerlerini aşma durumuna göre peristaltik pompa otomatik olarak devreye alınmış veya devreden çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen sisteme ait proteus çizimi Şekil 2'de verilmiştir.



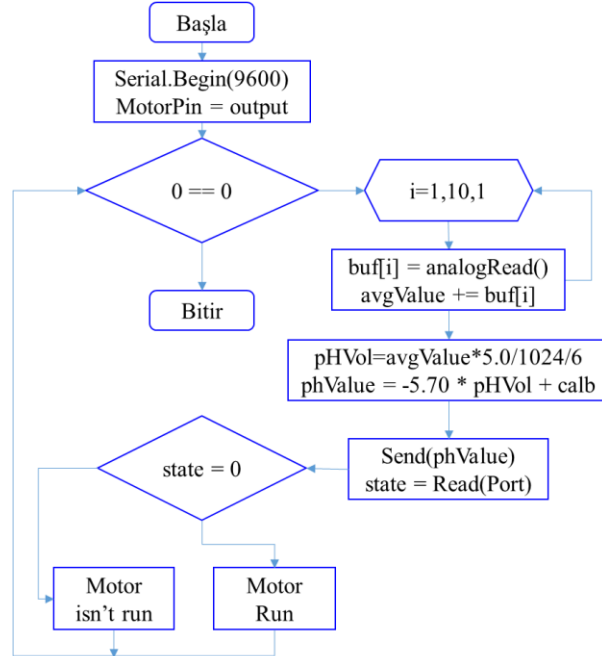
Şekil 2. Elektronik cihazın bağlantı şeması

Çalışma kapsamında üç farklı yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan birincisi Visual Studio.Net ortamında C# programlama dili ile geliştirilmiştir. Bu yazılım pH değerlerini seri iletişim ile bilgisayar ortamına aktarmış ve pH seviyesine göre seri porta 0 ya da 1 bilgisini göndermiştir. Seri port üzerinden gelen bilgi eğer 0 ise peristaltik pompa kapalı konumda, 1 ise peristaltik pompa açık konuma getirilmiştir. İki sistem arasındaki seri iletişim sürekli olduğu için peristaltik pompa hassas bir şekilde çalışmıştır. Bu yazılım, sistemin çalışabilirliğini belirlemek amacı ile geliştirilmiştir. Kimyasal süreçlerde çözelti içerisinde ki kullanılan parametreleri (pH, sıcaklık, iletkenlik, vb.) kontrol atında tutabilmek için geliştirilen bu sistem üzerinde farklı algoritmalar denenebilecektir. Çalışmanın tamamıyla gömülü bir sistem üzerinde değil de bilgisayar destekli olarak geliştirilmesinin sebebi ise sistem üzerinde farklı algoritmaların geliştirilebilmesine olanak sağlamak içindir. Sistemde geliştirilecek kontrol algoritmaları için Matlab ya da R gibi programlama dilleri tercih edilebilecektir. Geliştirilen Windows ara yüzünde giden ve gelen verilerin izlenebilmesi için iki adet Textbox, port seçimi yapabilmek için bir adet Combobox ve hazırda bekleyen portları görebilmeyi, seri iletişimde veri gönderebilmeyi ve port kapatmayı sağlayan üç adet button bulunmaktadır. Geliştirilen Windows tabanlı yazılımın ara yüzü ve akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Ayrıca yazılıma gelen verileri okuyabilmek için seri port nesnesinin DataReceive olayına yazılan kodun akış diyagramı Şekil 3-(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Windows tabanlı geliştirilen programa ait (a) ara yüz (b) ve akış diyagramı

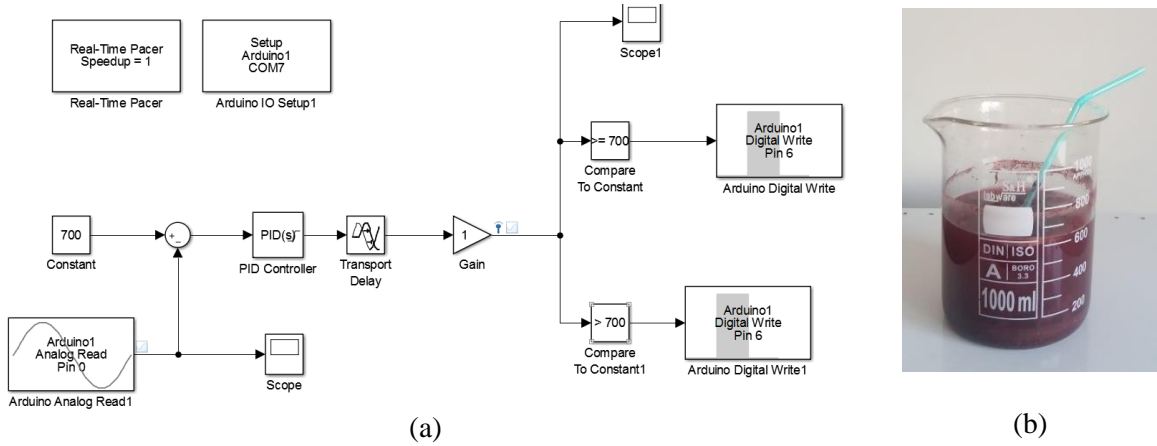
Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan diğer bir yazılım ise peristaltik pompa sürme işlemini ve pH sensöründen pH değerini okuyarak bilgisayar ile seri iletişim yapabilen Arduino geliştirme kartı üzerinde yazılmış kod bloğudur. Arduino kart üzerinde ki A0 ve A1 pinleri sırasıyla pH okumak ve motor sürmek için kullanılmıştır. pH voltaj değerini elde etmek için arka arkaya 10 adet değer okunmuş ve bu değerler belirli bir kalibrasyon süzgecinden geçirilerek ortalama pH değeri elde edilmiştir. Son olarak elde edilen ortalama pH değeri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayara veri gönderebilmek için Arduino'nun SoftwareSerial kütüphanesinden faydalanılmıştır. Arduino kart üzerinde seri iletişim için 10 ve 11'nci PWM çıkışları kullanılmıştır. 10. Port gönderilen, 11. Port ise gelen verileri almak için kullanılmıştır. Seri iletişim için 9600 baudrate veri iletişim hızı tercih edilmiştir.



Şekil 4. pH kontrolü yaparak motoru süren algoritmanın akış diyagramı

Çalışmada sistemi test etmek amacıyla örnek bir uygulama Matlab ortamında Simulink ara yüzü kullanılarak geliştirilmiştir. Simulink ortamında PID kontrolcüsü, üzüm posası çözeltilisindeki (Şekil 5-b) pH

değerini kontrol etmek için kullanılmıştır. Sistemin Matlab ortamında çalışabilmesi için Arduino üzerinde sistemin giriş çıkışlarını kontrol edebilecek özel bir yazılım kullanılmıştır. Bununla birlikte Simulink ortamında Arduino ile data alış verişini sağlayacak kütüphane Matlab ortamına eklenmiştir. Çalışma kapsamında bir blok diyagram uygulaması Simulink ara yüzü kullanılarak geliştirilmiştir. Bu ara yüze ait görüntü Şekil 5-a'da verilmiştir. Simulink ara yüzünde geliştirilen program bloğunda pH değerinin 7'de tutulması istenmektedir. Yapısı gereği üzüm posası çözelti içerisinde pH sürekli artmaktadır. Geliştirmiş olduğumuz PID kontrolcüsü ise pH değerini 7 seviyesinde tutmayı hedeflemiştir. Arduino'dan gelen pH değeri pin 0'dan okunmuş ve en son çıkan değer pin 6'dan sisteme gönderilmiştir. Böylece sistem negatif beslemeli bir döngü içerisinde çalıştırılmıştır. Kontrol sisteminde geliştirilen donanım, sisteme aktüatör olarak entegre edilmiştir. PID uygulamasında sistemdeki pH değerinin 7 seviyesinde tutulduğu gözlenmiş ve sistemin çalışabilirliği ispat edilmiştir.



Şekil 5. Matlab Simulink ortamında geliştirilmiş uygulamaya ait (a) blok diyagram ve çalışmada kullanılan (b) üzüm posası çözeltisi

4. Sonuçlar

Otomatik kontrol sistemleri, belirli bir düzende çalışan sistem elemanlarına ait bazı parametrelerin istenen düzeyde kalmasını sağlayan mekanizmalardır. Uzun yolda seyreden bir arabanın belirli bir hızda kalması, çamaşır makinesinin istenen devir sayısında dönmesi gibi uygulamalar otomatik kontrol sistemlerine örnek olarak verilebilmektedir. Yapılan çalışmada kimyasal reaksiyon süreçlerinde çözelti içerisindeki parametreleri istenen seviyede otomatik olarak tutmayı hedefleyen bir mekanizmanın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, kimyasal süreçlerde rahatlıkla kullanılacak, otomatik kontrolü sağlayacak, algoritmaların platform bağımsız bir şekilde geliştirilebilmesini mümkün kılacak ve maliyeti düşük bir kontrol sisteminin altyapısı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemin donanım biriminde; Arduino kart, bir adet peristaltik pompa, pH sensörü, donanım bileşenlerini birbirleriyle senkronize ederek çalıştırabilen elektronik bir kart ve bir bilgisayar kullanılmıştır. Kontrolcü olarak ATmega328 entegresi kullanılmıştır. Tüm bu donanımları birbirleriyle senkron bir şekilde çalıştıracak ve motoru sürebilecek üç farklı yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan birincisi gömülü sistem üzerinde, ikincisi bilgisayar ortamında ve diğer yazılım ise örnek bir kontrol algoritmasının gerçek zamanlı uygulamasını gözlemlemek amacı ile Matlab/Simulink platformunda geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol sisteminde masaüstü bir bilgisayarın kullanılma nedeni, çeşitli kontrol algoritmalarının geliştirilebilmesini sağlamak içindir. Gelişmiş kontrol algoritmalarına ait kütüphaneler masaüstü bilgisayar ortamında daha rahat kullanılabilirdiği için geliştirilen yazılım uygulamaları masaüstü bilgisayarlarda koşturulmuştur.

Sonuç olarak geliştirilen Matlab/Simulink temelli kontrol sistemi; çözelti içerisindeki parametre değerlerini istenilen değerde otomatik bir şekilde tutmayı hedeflemiş ve bunu çalışmada geliştirilen yazılımlar ile başarmıştır. Yapılan çalışma ileride geliştirilmesi hedeflenen kontrol algoritmaları için bir altyapı sunmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan donanım bileşenleri farklı şekillerde güncellenebilir durumdadır. Şöyle ki kontrol altyapısında kullanılan tüm cihazları senkron bir şekilde çalıştıran elektronik kart farklı donanım bileşenleri için güncellenebilir. Örneğin sistem üzerinde kullanılan bir adet peristaltik pompa projenin ilerleyen

dönemlerinde iki durumlu kontrol için genişletilebilir. Ayrıca sistemin altyapısı farklı kontrol algoritmalarının geliştirilmesine imkân verebilecektir. İleriki çalışmalarda sistem donanımları genişletilecek ve bulanık mantık gibi ileri kontrol algoritmalarının uygulamaları sistem üzerinde denenecektir.

Kaynaklar

- [1] Altınten, A., Demirci, Y., Pekel, L. C., & Alpbaz, M. (2016a). Elektrokoagülasyon Reaktöründe Bulanık Kontrol Metodu İle Ph, İletkenlik Ve Sıcaklığın Eş Zamanlı Kontrolü. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(4), 987–996.
- [2] Aparna, V. (2014b). Development of Automated pH Monitoring & Control System Through USB Data Acquisition. In 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON) (pp. 1–6).
- [3] Cancelier, A., Claumann, C. A., Bolzan, A., & Machado, R. A. F. (2016c). Predictive control of a batch polymerization system using a feedforward neural network with online adaptation by genetic algorithm. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 33(1), 177–190.
- [4] Demirci, Y., Pekel, L. C., & Alpbaz, M. (2015d). Investigation of Different Electrode Connections in Electrocoagulation of Textile Wastewater Treatment. International Journal of Electrochemical Science, 10, 2685–2693.
- [5] Dibble, W. E., & Tiller, W. A. (1999e). Electronic Device-Mediated pH Changes in Water. Journal of Scientific Exploration, 13(2), 155–176.
- [6] Fatani, A., Kanawi, A., Alshami, H., Bensenouci, A., Brahimi, T., & Bensenouci, M.-A. (2018f). Dual pH level monitoring and control using IoT application. In 2018 15th Learning and Technology Conference (L&T) (pp. 167–170).
- [7] Maciel, P. S. P., Da Silva, S. B., De Medeiros, G. F. B., & Rodrigues, T. V. (2013g). Innovative pH control for water: Reusing rainwater. In 2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 288–293).
- [8] Saaid, M. F., Sanuddin, A., Megat, A., & Yassin, M. S. A. I. M. (2015h). Automated pH Controller System for Hydroponic Cultivation. In Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE) (pp. 186–190).
- [9] Vimal, P. V., & Shivaprakasha, K. S. (2017i). IOT based greenhouse environment monitoring and controlling system using Arduino platform. In 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT) (pp. 1514–1519).

Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi

Tacettin GEÇKİL¹, Maksut SELOĞLU^{2*}

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Elazığ OSB Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Elazığ, Türkiye

¹ tacettin.geckil@inonu.edu.tr, ² mseloglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12/12/2018;

Kabul/Accepted: 15/02/2019)

Özet: Bu çalışmada, bitüm modifikasyonunda bir katkı maddesi olarak kullanılan Reaktif Terpolimerin (Elvaloy RET) bitümlü bağlayıcıların kıvamı ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, saf B 100/150 penetrasyon sınıfı bitümlü bağlayıcısına %0,5, %0,75 ve %1 Elvaloy RET ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcıların özellikleri; penetrasyon, yumuşama noktası, kütle kaybı ve dönel viskozimetre deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, bitümlü bağlayıcıların termal duyarlılıkları, penetrasyon endeksi ve penetrasyon viskozite sayı değerleri hesaplanarak tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre Elvaloy RET katkılı bağlayıcılarda, katkısız bağlayıcılara göre penetrasyon değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve viskozite değerlerinde ise önemli oranda artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak, yumuşak kıvamlı ve sıcaklık duyarlılığı yüksek olan bağlayıcıların Elvaloy RET ilavesiyle daha sert bir kıvama geldiği, bağlayıcı sınıfının değiştiği ve sıcaklık duyarlılığının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Elvaloy RET, Kıvam, Sıcaklık Duyarlılığı.

The Effect of Reactive Terpolymer on The Stiffness and Temperature Susceptibility of Bitumen

Abstract: In this study, the effect of Reactive Terpolymer (Elvaloy RET), which is used as an additive in bitumen modification, on the consistency and thermal properties of bituminous binders was investigated. For this purpose, modified binders were obtained by adding 0,5%, 0,75% and 1% Elvaloy RET to the pure B 100/150 penetration grading binder. The features of pure and modified binders were analyzed by penetration, softening point, mass loss and rotational viscometer tests. In addition, the thermal sensitivities of the bituminous binders were determined by calculating the penetration index and penetration viscosity number values. According to the test results penetration values were decreased in Elvaloy RET additive binders compared to pure binders, while significant increase were observed in softening point and viscosity values. As a result, it was determined that binders with soft consistency and high temperature sensitivity had a harder consistency with the addition of Elvaloy RET, binder class changed and the temperature sensitivity decreased significantly.

Key words: Bitumen, Modification, Elvaloy RET, Consistency, Temperature Susceptibility.

1. Giriş

Bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamaların performansı üzerinde önemli bir rolü olan bitümlü bağlayıcılar sıcak karışımdaki en önemli malzemedir. Karışımın ağırlıkça %5-7'sini, hacimce %13-15'ini oluşturan bağlayıcı, agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önler, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlar, kohezyonu ile karışımın stabilitesini artırır ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlar [1,2].

BSK kaplamaların ana malzemesi olan bitümlü bağlayıcı, mühendislik davranışı bakımından visko-elastik davranış gösteren termo-plastik bir malzemedir [2,3]. Bu tür malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) elastik, düşük yükleme hızlarında (yavaş ya da duran taşıtlar) viskoz, orta yükleme hızlarında orta elastik ve viskoz davranış gösterir. Benzer şekilde, düşük sıcaklıklarda elastik davranış ve yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda ise viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Asfaltın bu reolojik özelliği asfalt karışımların da visko-elastik özellik göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yükleme süresi ve sıcaklık, asfaltın ve bitümlü sıcak karışımın rijitliğine doğrudan etki etmektedir [4, 5, 6].

İlk inşa edildiklerinde yüksek bir performansla hizmet veren BSK'da trafik, iklim ve çevre şartları altında zamanla kalıcı deformasyonlar, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve su etkisiyle soyulma gibi birçok bozulma meydana gelmektedir [7,8]. Kaplama performansını olumsuz yönde etkileyen bu bozulmalara karşı, bitümlü bağlayıcıya veya karışıma çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitüm veya karışımlar elde edilmektedir [9,10]. Modifikasyon ile genel manada, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli

* Sorumlu yazar: maksutseloglu@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-8070-6836, ²0000-0002-0200-8423

rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır [11].

Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile genel anlamda, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır. Ayrıca kaplamanın, yüksek trafik yükleri altında yorulma nedeniyle oluşan çatlamlar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenen düzeyde kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin artırılması da amaçlanmaktadır.

Bitüm modifikasyonunda polimer gurubu malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır [12,13]. Yapılan birçok çalışmada polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), Stiren-Butadien-Stiren (SBS), styrene-butadiene-rubber (SBR), polistiren (PS) ve etilen vinil asetat (EVA) gibi malzemeler çok kullanılmıştır. Bu katkıların bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini iyileştirerek düşük, orta ve yüksek sıcaklıklarda kaplamanın performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir [14, 15, 16].

Bu çalışmada Reaktif Terpolimerler, yapısı itibarıyla bağlayıcının sıcaklık hassasiyetine, kıvamına ve dolayısıyla tekerlek izi direncine etkisi araştırılmıştır.

Dupont ve Chevron'un 1990'lı yıllarda üretmeye başladıkları terpolimerler (Elvaloy RET), geliştirilerek binder tabakasında bitüm modifikasyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Elvaloy RET, küçük bir miktar bitümde modifiye katkı olarak kullanıldığı zaman elastomerik özelliklerini geliştirdiği bu çalışmada görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda ve de ısıtılınca viskoelastik kıvamda olan ve yumuşak halde bulunan bu polimer düşük sıcaklıklarda katı hale geçmektedir [17].

Katz çalışmasında, birçok elastomerin ve plastomerin aksine bitüme az bir oranda Elvaloy Terpolimerinin ilavesiyle hazırlanan modifiye karışımların 1991'den beri uzun dönem durabilitede mükemmel sonuçlar gösterdiğini ve yüksek trafik yükleri altında zor deforme olduğunu, tekerlek izi oluşumunu önemli ölçüde azalttığını ve sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı olduğunu ifade etmiştir [18].

Önceki bazı çalışmalarda, bitümün sıcaklığa karşı hassasiyetini azaltmak ve üst yapının hizmet ömrünü artırmak amacıyla Elvaloy RET ve Elvaloy AC bitüme ilave edilerek modifiye bitümler hazırlanmıştır. Bu çalışmaların sonuçlarına göre saf bitümlü bağlayıcıya kıyasla modifiye bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin arttığı, duktilite değerlerinin de azaldığı görülmüştür [19].

Güngör ve arkadaşları polimer modifiye bitümlerin bitümün kıvamına ve sıcaklık duyarlılığına etkisinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmasında; Kırıkkale rafinerisine ait bitümlerde SBS katkılı modifiye bitümlerin düşük sıcaklık performansının genellikle bir sınıf azaldığını, Elvaloy RET katkılı bitümlerde ise çok az bir azalma olduğu ve çoğunlukla ana bitüm sınıfıyla aynı performans sınıfı içerisinde kaldığı sonucuna varmıştır. Batman rafineri bitümünden SBS ve Elvaloy RET katkı malzemesi ile üretilen modifiye bitümlerin performans sınıfının en az bir, çoğunlukla ise iki sınıf azaldığı yani düşük sıcaklık performansının kötüleştiğini tespit etmiştir [20].

Lavin, bitüm modifikasyonunda %1-2 oranda Elvaloy RET kullanarak test bölgesi Gürcistan Ulaştırma Departmanında (GDOT) kaplamanın binder tabakasında uygulama yapmış ve Elvaloy RET kullanımıyla Superpave karışım dizaynıyla hazırladığı modifiye karışımlarda performans sınıfı yüksek sıcaklık değerinde bir sınıf artma sağladığını tespit etmiştir. Böylelikle daha yüksek sıcaklığa sahip olan bölgelerde Elvaloy RET kimyasal reaktörünün bitüm modifikasyonunda kullanım alanı artmıştır [21].

Bu çalışmada Elvaloy RET'in bitüm kıvamına ve sıcaklık hassasiyetine etkisini belirlemek amacıyla, saf ve modifiye bitümler sırasıyla penetrasyon, yumuşama noktası ve dönel viskozimetre deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışmada ayrıca bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin ölçüsü olan penetrasyon endeksi (PI) ve penetrasyon viskozite sayı değerleri (PVN) penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri kullanılarak hesaplanmış ve bütün sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak Batman Tüpraş rafinerisinden temin edilen B 100/150 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Bağlayıcının fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Katkı maddesi olarak, Dupont firması tarafından temin edilen bir polimer türü olan reaktif terpolimer (Elvaloy RET) kullanılmıştır. Elvaloy RET'in genel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada, modifiye bağlayıcı elde etmek amacıyla yumuşak kıvamlı saf B 100/150 bağlayıcısına ağırlıkça (%0,5, %0,75 ve %1,0) oranlarda Elvaloy RET ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Bu bağlayıcılar sırasıyla B100/150 SAF, B100/150+%0,5ELV, B100/150+%0,75ELV ve B100/150+%1,0ELV ile kodlanarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Bağlayıcının fiziksel özellikleri

Özellikler	Deney Standardı	B 100/150	
		Sonuç	Şartname Sınırı
Özgül Ağırlık (gr/cm ³), 25 °C	TS 1087	1,032	1,0-1,1
Düktilite (cm), 25 °C	TS 119	>100	min. 100
Penetrasyon (0,1 mm), 100gr, 5 sn, 25 °C	EN 1426	146,8	100-150
Yumuşama Noktası (°C)	EN 1427	45,45	39-47
Penetrasyon İndeksi (PI)	-	0,714	-
Parlama Noktası (°C)	EN 22719	312	min. 230

Homojen bir bağlayıcı-Elvaloy RET karışımı elde etmek amacıyla, 185°C'ye gelene kadar ısıtılan ve karıştırıcıda bekletilen saf bitüme belirlenen oranlarda Elvaloy RET ilave edilerek hazırlanan modifiye karışımlara katalizör olarak %0,25 oranda süper fosforik asit enjekte edilerek Şekil 1'de verilen bir karıştırıcı ile 500 devir/dakika hızda 2 saat karıştırılmıştır.

Tablo 2. Elvaloy RET polimerinin genel özellikleri

Özellikler	Deney standardı	Sonuçlar
Moleküler yapısı		Doğrusal
Özgül ağırlık	ASTM D-792	0,94
Fiziksel hali		Toz tanecikli
Hacim özgül ağırlık (g/cm ³)		0,557
Akış katsayısı (g/10min)	ASTM D-1238	8
Erime noktası (°C)	ASTM D-3418	72

Bu süreçte bağlayıcı ile Elvaloy RET arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmiştir. Çalışmada %1,25 ve daha yüksek oranda katkı, karışım yüzeyinde topaklanma oluşturduğu ve homojen bir dağılım sergilemediği için kullanılmamıştır. Ayrıca jel oluşumu riski nedeni ile karışımın performansını olumsuz etkileyeceği de bazı çalışmalarda belirtilmiştir [22]. Bu nedenle çalışmada %1'den fazla katkı bitüme ilave edilmemiştir. Elde edilen modifiye bağlayıcıların özellikleri incelenerek, saf B100/150 bağlayıcısı ile kıyaslanmış ve Elvaloy RET'in bitümlü bağlayıcı özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

**Şekil 1.** Modifiye bitüm karıştırıcısı

2.1. Penetrasyon Deneyi

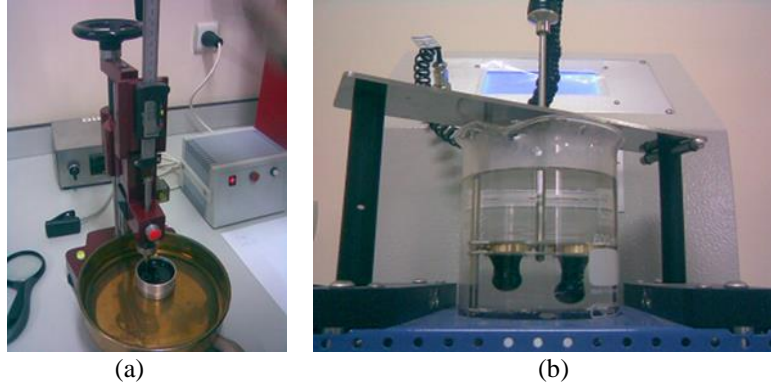
Penetrasyon deneyi, EN 1426 standardına göre bitümlü bağlayıcıların sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon, 100 gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon birimi 10⁻¹ mm'dir. Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Şekil 2.a'da gösterilmiştir.

Deneye tabi tutulacak bitümlü bağlayıcı numunesi TS EN 58'e göre alınır ve ısıtılarak numune kabına aktarılır. Numuneler 5-30°C ortam sıcaklığı olan bir yerde 60-90 dakika soğumaya bırakılır. Sonra numune

kapları aktarma kabının içine konularak sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilir ve 1-1,5 saat bekletilir. İçinde numune kabı bulunan aktarma kabı Penetrasyon cihazının tablası üzerine konulur. Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine 1 cm'den daha yakın olmayan noktalardan en az 3 okuma yapılır. Okumaların aritmetik ortalaması tamsayıya yuvarlanarak penetrasyon değeri olarak alınır.

2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Yumuşama noktası, TS EN 1427 standardına göre üzerine bir bilye yerleştirilmiş olan bitümlü bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda sıcaklığın artması ile yumuşamış bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklıktır. Yumuşama noktası deney aleti Şekil 2.b'de gösterilmiştir.

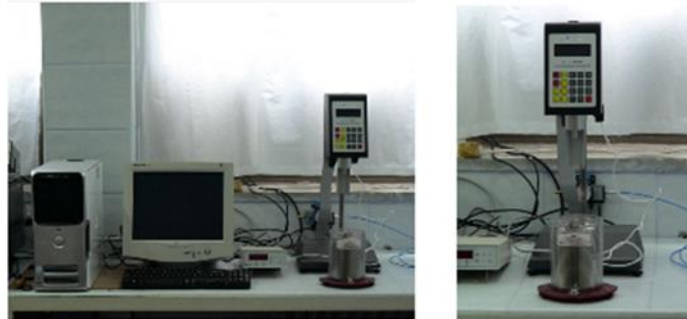


Şekil 2. Penetrasyon deney aleti (a)-yumuşama noktası deney aleti (b)

Yumuşama noktası cam kabına 5°C'lik saf su konulur. İçinde numune bulunan halka suyun içine sarkıtılır. Daha sonra bilye ve termometre su dolu beher içine konulur. Ardından bilye halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5°C artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır. Halka içindeki bitümlü maddenin cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır ve iki değer aritmetik ortalaması alınır.

2.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi

Dönel viskozimetre deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde ne derece işlenebilirliğe ve pompalanabilirliğe sahip olduğunun tespiti için yüksek sıcaklıklardaki akıcılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bazı asfalt birimleri bu ölçüme "Brookfield viskozitesi" demektedir (Şekil 3). Deney, ASTM D4402 standardına göre yapılmaktadır. RV değeri, asfalt numunesi içinde 20 devir/dakika hızla döndürülen silindirik bir milin sabit bir sıcaklıkta kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenmektedir [23].



Şekil 3. Brookfield viskozimetresi

Deneye tabi tutulacak asfalt numune etüvde 150°C'nin altındaki bir sıcaklıkta ısıtılarak, deney kabının içerisine 8-11gr arasında dökülür. Kap, önceden ısıtılmış sıcaklık kontrollü bir taşıyıcıya yerleştirilir. Deney parametreleri sisteme girildikten sonra, silindirik mil cihaza takılarak kaptaki asfalt içerisine daldırılır. Milin dönme hızı 20rpm olarak ayarlanır ve cihaz çalıştırılır. Hedef sıcaklıktaki viskozite okumaları sabitleşmeye başladığı anda deney sonuçları kaydedilir. Bağlayıcının 135°C sıcaklıkta ölçülen dönel viskozite değerinin 3000cP'i aşmaması istenmektedir [24].

Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenebilmesi için RV deneyinin 135°C ve 165°C sıcaklıkta yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu iki sıcaklıkta belirlenen viskozite değerleri, viskozite-sıcaklık grafiğinde işaretlenerek karıştırma ve sıkıştırma için tavsiye edilen viskozite değerlerini sağlayacak sıcaklık aralıkları belirlenmektedir. Karıştırma için 170±20cP, sıkıştırma için 280±30cP viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir [25].

2.4. Dönel İnce Film Etüvü Deneyi (RTFOT)

Asfaltın karıştırma ve yapım sırasındaki kısa süreli yaşlanmasını tespit etmek için uygulanan deney, AASHTO T240 veya ASTM D2872 standartlarına göre yapılmaktadır. Deneyde, asfaltın bünyesinde sıcaklık ve havanın etkisiyle oluşan uçucu madde kaybının tespit edilmesi amaçlanmaktadır [2]. Şekil 4'te gösterilen deney aleti, 163°C'lik ısıya sahip bir etüv, etüvün içerisine silindir cam şişeleri yerleştirmek için monte edilmiş dönen tablası bulunan bir taşıyıcı ve şişelere hava püskürtmeye yarayan bir hava üfleyici parçaya sahiptir.



Şekil 4. Dönel ince film etüvü (RTFOT) aleti

Deneyde kullanılacak 8 adet şişenin her birinin içine 35±0,5 gram asfalt numunesi doldurularak dönen tabla üzerine yerleştirilir ve tabla dakikada 15 devir yapacak şekilde 75 dakika süreyle 163 °C'lik deney sıcaklığında döndürülür. Dönme esnasında şişelere akışı 4000±200 ml/dakika olacak şekilde hava püskürtülür. Sıcaklık, dönme hareketi ve hava üfleme etkisiyle asfalt bağlayıcının yaşlanması sağlanmaktadır. Deneyden sonra, bağlayıcıda oluşan kütle kaybı Formül 1 ile hesaplanır [23].

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{(\text{İlk kütle} - \text{Son kütle})}{\text{İlk kütle}} \times 100 \quad (1)$$

Kütle kaybı; asfalt bağlayıcı içerisindeki uçucu maddelerin kaybindan ibaret olup asfaltın taşıma, depolama, ısıtılma ve kaplamanın inşası esnasındaki sertleşmesinin bir göstergesidir. Bağlayıcı kütle kaybının en fazla %1,0 olması istenir [2].

2.5. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti

2.5.1. Penetrasyon İndeksi (PI) Yöntemi

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını tespit etmek amacıyla genellikle Penetrasyon İndeksi (PI) değeri kullanılmaktadır. PI, standart penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları kullanılarak Formül 2 ve 3 ile belirlenmektedir.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (2)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (3)$$

Formüldeki P_{25} , bitümün 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değerini, T_{YN} ise yumuşama noktası değerini göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları arttıkça PI değerleri azalmaktadır. Penetrasyon İndeksi değerinin -2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı az duyarlı olduğunu göstermektedir [26]. Daha yüksek PI'ye sahip bitüm içeren asfalt karışımları, düşük sıcaklıktaki çatlamaya ve kalıcı deformasyona karşı daha dirençlidir [27].

2.5.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı (PVN) Yöntemi

Sıcaklık duyarlılığının bir ölçüsü olarak PI yerine penetrasyon viskozite sayısı (PVN) terimi de kullanılmıştır. Bitümün sıcaklığa duyarlılığı penetrasyon ve viskozite değerlerine dayandırılarak belirlenmiştir. PVN ve PI değerleri, değerlendirme şekli nedeniyle çoğu bitüm türü için sayısal olarak özdeş olmalıdır [28]. PVN'yi hesaplamak için Formül 4 kullanılmaktadır [29,30];

$$PV = -1.5 \times \left[\frac{4.258 - 0.7967 \times \log(Pen_{25}) - \log(V)}{0.7951 - 0.1858 \times \log(Pen_{25})} \right] \quad (4)$$

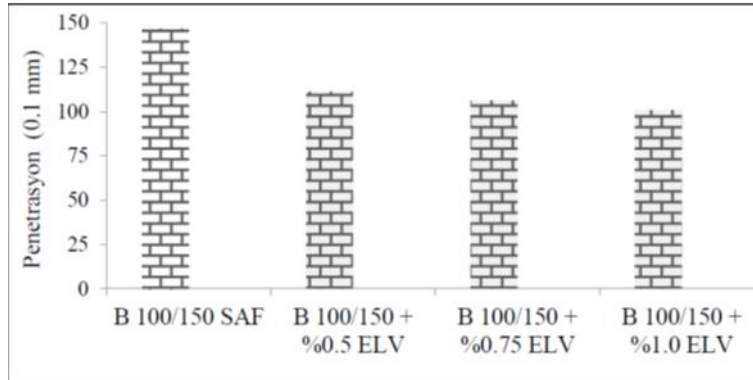
Burada, Pen_{25} 25°C'de penetrasyon ve V, modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş bitümler için 135°C'de kinematik viskozitedir.

Normal olarak bitümlerin PVN değerleri +0,5 ile -2,0 arasında olur ve +1 ve -1 arası iyi kabul edilir. PI'ye benzer şekilde, düşük PVN değerleri, bitümlerin sıcaklık duyarlılığının yüksek olduğunu gösterir [30].

3. Deneysel Sonuçları

3.1. Penetrasyon Deneysel Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.

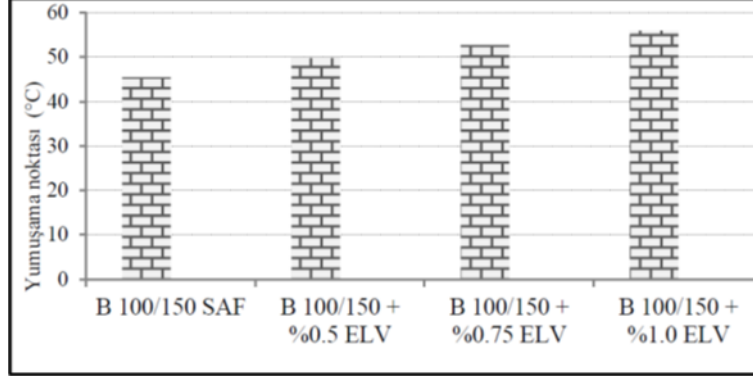


Şekil 5. Bağlayıcıların penetrasyon değişimi

Şekil 5'te görüldüğü üzere saf B100/150 bağlayıcısına Elvaloy RET ilave edilmesi ile penetrasyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma saf bağlayıcıya göre sırasıyla %24,3, %27,7 ve %31,3 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum Elvaloy RET ilavesiyle bağlayıcıların daha sert kıvama geldiğini, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin düştüğünü ve bağlayıcı penetrasyon sınıfının değiştiğini göstermektedir. Ayrıca daha soğuk iklimlerde kullanılan yumuşak kıvamlı bağlayıcıların farklı Elvaloy RET ilavesi ile sıcak bölgelerde daha uzun kullanım ömrüne sahip olabileceğini ifade etmek mümkündür.

3.2. Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan yumuşama noktası deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

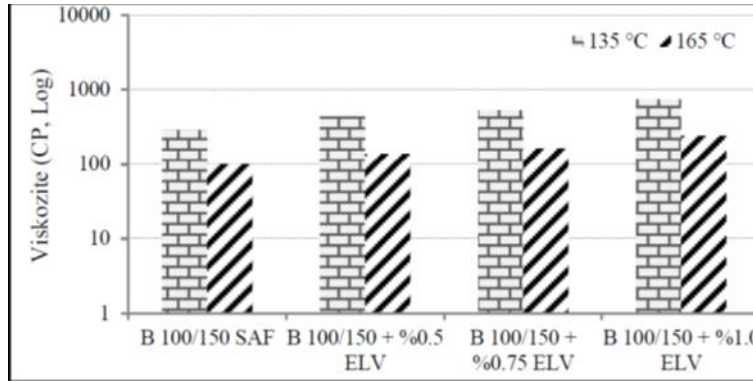


Şekil 6. Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimi

Şekil 6'da saf bağlayıcıya Elvaloy RET ilave edilmesi ile bağlayıcının yumuşama noktası değerlerinde önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bu artış miktarlarının da saf bitüme göre sırasıyla %9,6, %15,9 ve %23,1 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların yüksek sıcaklık direncinin önemli oranda arttığını ve daha sıcak bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

3.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi Sonuçları

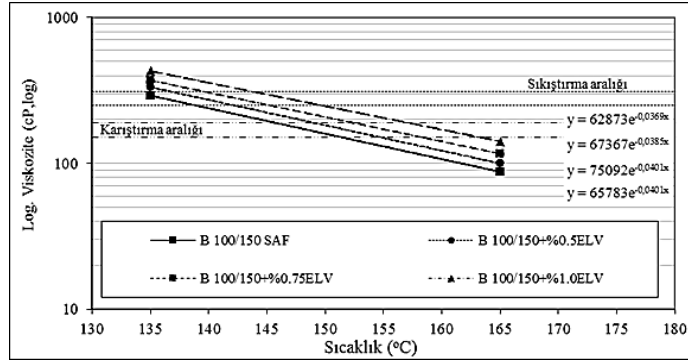
Saf ve modifiye bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için, bağlayıcılar 140°C ısıtılarak viskozimetre kabına yaklaşık 11 gr. dökülmüştür. Kap cihaza yerleştirildikten ve No:27 silindirik mili takıldıktan sonra deney, dönme hızı 20 devir/dakika hızla yapılmıştır. Bağlayıcıların 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki ortalama viskozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.



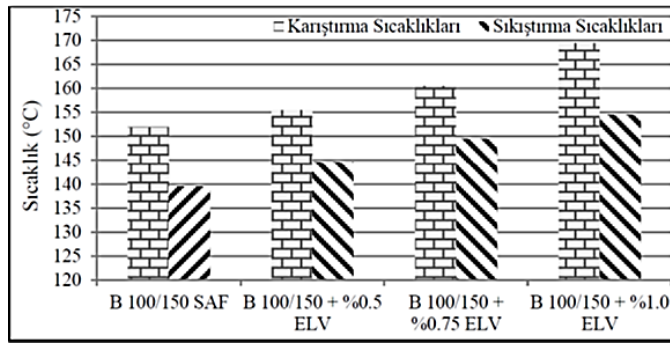
Şekil 7. Bağlayıcıların viskozite değişimi

Deney sonucuna göre B 100/150 bağlayıcısının 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri sırasıyla 287,5 ve 100 cP olarak bulunmuştur. Bu bağlayıcıya Elvaloy RET ilavesi ile viskozite değerlerinde hem 135°C sıcaklıkta hem de 165°C sıcaklıkta katkı oranı arttıkça viskozite değerleri buna paralel olarak artış göstermiştir.

Çalışmada, bağlayıcıların 135°C ve 165°C'deki viskozitelerinden yararlanılarak karışım için gerekli olan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için viskozite-sıcaklık grafiği çizilerek Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu grafik yardımıyla bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları bulunarak arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık değişimi



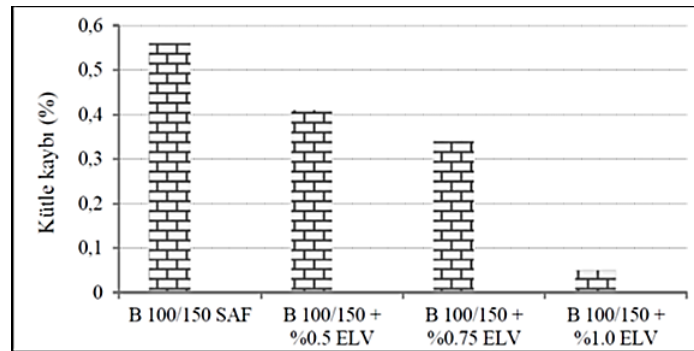
Şekil 9. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değişimi

Deney sonucuna göre B 100/150 bağlayıcısının ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı sırasıyla 152°C ve $139,5^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Ancak Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların karıştırma sıcaklıklarında B 100/150 bağlayıcısına göre sırasıyla %2,3, %5,6 ve %11,5; sıkıştırma sıcaklıklarında ise yaklaşık sırasıyla %3,6, %7,2 ve %10,8 oranında bir artış meydana gelmiştir.

Bu verilere göre, bağlayıcıya Elvaloy RET ilave edilmesiyle katkı miktarına bağlı olarak, elde edilen modifiye bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin önemli ölçüde düşürdüğü ve bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği tespit edilmiştir. Bu durumda modifiye bağlayıcıların plentte ısıtılması esnasında Elvaloy RET oranına bağlı olarak saf bağlayıcıya göre daha fazla enerjinin harcanmasına sebep olacaktır.

3.4. Dönel İnce Film Etüvü Deney Sonuçları

Deney sonucunda, bağlayıcıların kütle kayıpları tespit edilmiş ve katkı oranı değişimi ile kütle kaybı arasındaki ilişki Şekil 10'da gösterilmiştir.



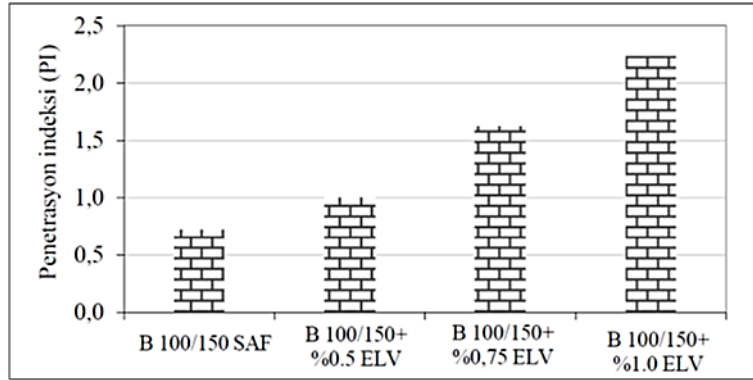
Şekil 10. Bağlayıcıların kütle kaybı değişimi

Deney sonuçlarına göre, Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların kütle kayıpları katkı oranının artmasına bağlı olarak azalış göstermiştir. Bu azalış miktarı saf bağlayıcıya göre sırasıyla %26,8, %39,3 ve %91,1 oranında olmuştur. Şekil 10’da görüldüğü üzere bağlayıcılarda Elvaloy RET’in modifiye katkı olarak kullanılması ile kaplamalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olan bağlayıcı sertleşmesinin olumsuz etkilerinin ortadan kalktığı, dolayısıyla bağlayıcının elastikiyetinde bir azalma olmadığı görülmüştür.

3.5. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti

3.5.1. Penetrasyon İndeksi (PI) Yöntemi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 11’de verilmiştir.

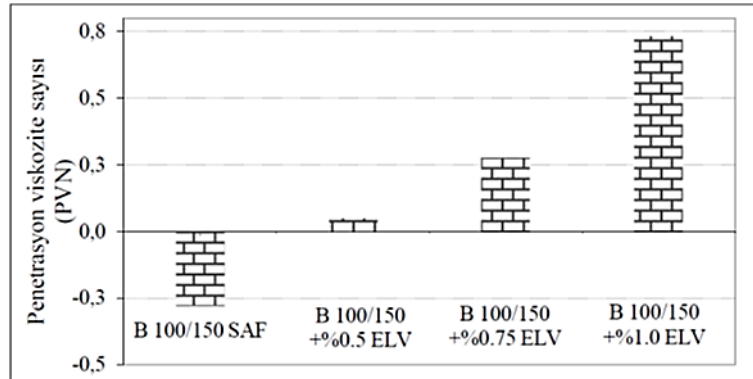


Şekil 11. Bağlayıcıların PI değişimi

Şekil 11’e göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin bir ölçüsü olan PI değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PI değerleri sırasıyla 0,714, 0,995, 1,615 ve 2,228 olarak elde edilmiştir. Bu durum, Elvaloy RET kullanılmasıyla bağlayıcının daha sert kıvama geldiğini ve daha yüksek ve düşük sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu özellik ile kaplamalarda karşılaşılan tekerlek izi ve kuma gibi daha çok sıcaklığa bağlı bozulmaların önlenmesi mümkün olabilecektir.

3.5.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı (PVN) Yöntemi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 4 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Bağlayıcıların PVN değişimi

Şekil 12’de, Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların PVN değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PVN değerleri sırasıyla -0,279, 0,046, 0,274 ve 0,730 olarak elde edilmiştir. Bu görünüş PI değerleri ile PVN değerlerinin tüm modifiye bağlayıcılar için paralellik gösterdiğini ifade etmektedir. PI ve PVN değerleri dikkate alındığında Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin düştüğü görülmektedir. Bu durum bağlayıcıların sıcaklığa karşı duyarlılığını azalttığını yani bu bağlayıcıların daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Elvaloy RET’in bitümlerin kıvamı ve sıcaklık hassasiyetlerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Penetrasyon deneyi sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcılar daha sert bir kıvama gelmiş ve bağlayıcının penetrasyon sınıfı değişmiştir. En etkili değişim %1,0 Elvaloy RET ilavesi ile olmuştur. Penetrasyon değerindeki azalmaya bağlı olarak bağlayıcıların daha sert bir kıvama gelmesiyle sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin azalabileceği ve sıcak bölgelerde daha uzun kullanım ömrüne sahip olabileceği görülmüştür.
- Yumuşama noktası deneyine göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri düşmüş ve sıcaklığa daha dirençli bir hale gelmiştir. Dolayısıyla; Elvaloy RET oranının artması, bağlayıcının yüksek sıcaklıkta daha rijit davranış sergileyebileceğini göstermiştir. Bu nedenle bağlayıcıların daha sert (katı) duruma geldikleri ve bu özellikleri ile daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecekleri görülmüştür.
- RV sonuçlarına göre Elvaloy RET oranına bağlı olarak karışımların viskozite değerlerinde önemli artış meydana gelmiştir. Bu artışlar 135°C ve 165°C sıcaklıklar için en fazla %1,0 Elvaloy RET ilavesiyle olmuştur. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da benzer şekilde artış göstermiştir. Bu, bağlayıcıların Elvaloy RET ilavesi ile daha sert bir kıvama geldiğini ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ancak yapım aşamasında daha fazla enerji gereksinimi olabileceğini göstermektedir.
- RTFOT sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların kütle kayıpları azalmıştır. Bu durum neticesinde; kaplamalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olan bağlayıcı sertleşmesinin olumsuz etkilerinin ortadan kalktığı, dolayısıyla bağlayıcının elastikiyetinde bir azalma olmadığı görülmüştür.
- PI ve PVN sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile yüksek sıcaklık hassasiyetine sahip bağlayıcıların bu hassasiyetlerinin çok önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu artış; Elvaloy RET kullanılması ile bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiğini, daha yüksek ve düşük sıcaklığa sahip iklim bölgelerinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Elvaloy RET ilavesi ile daha yumuşak kıvamlı bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği, sıcaklık hassasiyetlerinin düştüğü, bağlayıcı sınıfının değiştiği ve bu sebeple kaplamalarda meydana gelen tekerlek izi oluşumlarını önlemek veya azaltabilmek için Elvaloy RET’in bir katkı maddesi olarak kullanılması durumunda faydalı olabileceği ve iyi bir performans göstereceği söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Lavin, P.G., 2003, Asphalt Pavements, Spon Pres, London and New York, 444p.
- [2] Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul, 840s.
- [3] McGennis, R.B., Anderson, R.M., Kennedy, T.W., Solaimanian, M., 1995, Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis, Publication No. FHWA-SA-95-003, 172p.
- [4] Uluçaylı, M., 1998, Superpave ve Fransız Bitüm Şartnameleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, s.118-129.
- [5] Whiteoak, D., Read, J., 2003, The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford Ltd., London, 464p.
- [6] Abbas, A.R., 2004, Simulation of the Micromechanical Behavior of Asphalt Mixtures Using the Discrete Element Method, Doctor of Philosophy in Civil Engineering Washington State University, 180p.
- [7] Carreau, P.J., Bousmina, M., Bonniot, F., 2000, The Viscoelastic Properties of Polymer-Modified Asphalt, The Canadian Journal of Chemical Engineering, V.78, No.3, pp. 495-502.
- [8] Yousefi, A.A., Ait-Kadi, A., Roy, C., 2000, Composite Asphalt Binders: Effect of Modified RPE on Asphalt, Journal of Materials in Civil Engineering, V.12, No. 2, 113-123.
- [9] Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:1, İstanbul, 280s.
- [10] Eribol, S., Orhan, F., Önal, M.A., 2002, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü, 94s.

- [11] Birliker, R.Y., 1998, Bitümlü Karışımlara Eklenebilecek Katkılar ile Bu Tip Bitümlü Karışımların Davranışlarının Araştırılması ve Bir Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 208s.
- [12] Isacson, U., Lu, X., 1995, Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens-State of the Art, *Materials and Structures*, 28, 139-159.
- [13] Iqbal, M.H., 2004, Influence of Polymer Type and Structure on Polymer Modification of Saudi Asphalt, Master of Science Degree, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 142p.
- [14] Whiteoak, D., Read, J., 2003, *The Shell Bitumen Handbook*, Thomas Telford Ltd., London, 464p.
- [15] Airey, G.D., 2003, Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel*, 82:14, pp. 1709-1719.
- [16] Khattak, M.J., Baladi, G.Y., 1998, Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures, *Transportation Research Record*, Vol.1638, pp. 12-22.
- [17] Terrel, R.L., 1989. "Asphalt Modifiers," A User Manual for Additives and Modifiers in Hot Mix Asphalt, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.
- [18] Katz, G., Ghana Institution of Engineers (GhIE), Generated 26 October, 2014.
- [19] Seloğlu, M., 2015, Reaktif Terpolimerin Bitümlü Sıcak Karışım Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 130s.
- [20] A. G. Güngör, A. Sağlık, F. Orhan ve E. A. Öztürk, 2009. Polimer Modifiye Bitümlerin Süperpave Performans Sınıflarının Belirlenmesi, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.
- [21] Patrick Lavin, 2003. Binder Performance. *Asphalt Contractor*, September.
- [22] M. Jasso, R. Hampl, O. Vacin, D. Bakos, L. Zanzotto, Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid, *Fuel Process. Technol.* 140 (2015) 172-179.
- [23] Zaniewski, J.P., Pumphrey, M.E., 2004, Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, West Virginia University, Morgantown, 109p.
- [24] Warren, R.S., McGennis, R.B., Bahia, H.U., 1994, Superpave Asphalt Binder Test Methods an Illustrated Overview, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-068, Asphalt Institute, Lexington, 164p.
- [25] Yildirim, Y., Solaimanian, M., Kennedy, T.W., 2000, Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete, Report No. 1250-5, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Austin, 99p.
- [26] Koral, A.F., 2012, Aynı Performans Seviyesine Sahip Bağlayıcılarla Hazırlanan Bitümlü Sıcak Karışımların Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının ve Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [27] Firoozifar, S.H., Foroutan, S., Foroutan, S., 2011, The effect of asphaltene on thermal properties of bitumen. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(10), pp. 2044-2048.
- [28] Yusoff, NIM, Shaw, M.T., Airey, G.D., 2011, Modeling the linear viscoelastic rheological properties of bituminous binders. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, pp. 2171-2189.
- [29] Jones, R., 1990, Modifiers for asphalt concrete. Air Force Engineering & Services Center, Tyndall Air Force Base, Report No. ESL-TR-88-32.
- [30] Wang, D., Wayoe, H.T., Anderson, K.O., 1992, Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP lamont test road in Alberta. R.No. ABTR/RD/RR-92/02. University of Alberta.

SegNet Mimarisi ile Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Karaciğer Bölgesinin Bölütlenmesi

Ümit BUDAK*

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye
* umtbudak@gmail.com

(Geliş/Received: 03/12/2018;

Kabul/Accepted: 16/02/2019)

Özet: Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, tıbbi görüntüleme daha kaliteli bir hale gelmiştir. Bu durum doktorların işlerini hem kolaylaştırmakta hem de tanı ve tedavi işlemlerinin güvenilirliğini artırmaktadır. Bilgisayarlı Tomografi (BT) önemli bir medikal görüntüleme sistemidir ve karaciğer gibi bazı organların izlenmesinde önemli role sahiptir. Karaciğer tümörlerinin boyutlarının belirlenmesi veya karaciğer nakli öncesinde karaciğer hacminin hesaplanması oldukça önemlidir. BT görüntü serilerinden manuel olarak bu karaciğer hacminin hesaplanması doktorlar için hem zor hem de zaman alıcı bir işlemdir. Bu işlemlerin bilgisayar ile otomatik yapılması arzu edilmektedir. Bu çalışmada, BT görüntü serilerinden karaciğer bölgesinin bölütlenmesi için derin mimariye sahip bir yöntem önerilmiştir. Yöntem, ön işlemler ve derin SegNet mimarisine dayanmaktadır. Ön işlemler, SegNet öncesi BT görüntü serisinin daha elverişli hale getirilmesini amaçlarken, SegNet ile bölütleme işlemi yapılmaktadır. Çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyodiagnostik Anabilim Dalı'nın sağladığı 20 DICOM serisi kullanılmıştır. Elde edilen bölütleme sonuçları sırası ile hacimsel örtüşme, bağıl mutlak hacim farkı, ortalama simetrik yüzey mesafesi, etkin simetrik yüzey mesafesi ve en büyük simetrik yüzey mesafesi kriterleri olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar cesaret vericidir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı Tomografi, Derin Öğrenme, SegNet, Karaciğer Bölütleme.

Segmentation of Liver Region from Computerized Tomography with SegNet Architecture

Abstract: In recent years, medical imaging has become better quality with the development of technology. This not only facilitates the work of doctors, but also increases the reliability of diagnostic and therapeutic procedures. Computerized Tomography (CT) is an important medical imaging system and has an important role in monitoring certain organs such as the liver. It is very important to determine the size of liver tumors or to calculate the liver volume before liver transplantation. Calculating of this liver volume manually from the CT image series is both difficult and time-consuming for physicians. It is desirable to do these operations automatically with the computer. In this study, a method with deep learning architecture for segmenting the liver region from a computerized tomography image has been proposed. The method is based on preprocessing and deep SegNet architecture. While pre-processing aims to make the CT image series more convenient before training, segmentation is being done with SegNet. 20 DICOM series provided by Dokuz Eylül University Faculty of Medicine Radiodiagnostic Department were used in the study. The obtained segmentation results are evaluated with the order of volume overlap, relative absolute volume difference, average symmetrical surface distance, effective symmetric surface distance and the largest symmetric surface distance criterion. The results are encouraging.

Key words: Computerized Tomography, Deep Learning, SegNet, Liver Segmentation.

1. Giriş

Medikal görüntüleme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntüleri tanı, biyopsi ve morfolojik anatomi gibi bazı önemli bilgilerin elde edilmesinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır [1]. BT, karaciğer yapısının izlenmesinde ve karaciğer tümörlerinin teşhisinde kullanılan önemli bir görüntüleme sistemidir [2]. Hekimler genellikle BT görüntüleri üzerindeki değerlendirmeleri ve belirlemeleri manuel olarak yaparlar. Ancak yapılan bu değerlendirme ve belirleme, hekimin o anki fiziki durumuna bağlıdır. Yorgunluk, dalgınlık gibi nedenlerden dolayı dikkatten kaçabilecek bazı durumlar olabilir. Son zamanlarda BT görüntülerinin bilgisayar tabanlı akıllı sistemler aracılığıyla değerlendirilmesine imkân tanıyan birçok yeni yöntem ve algoritma geliştirilmiştir [2-10]. Linguraru ve diğ. [2], karaciğer BT görüntülerinden karaciğer bölgesinin otomatik olarak bölütlenmesi için olasılıksal atlas yöntemini kullanmışlardır. Hame [3], bulanık kümeleme ve geometrik deforme olabilen bir model kullanarak karaciğerde bulunan tümörlü bölgelerin belirlenmesini sağlamışlardır. Zayane ve diğ. [4], ön bilgi, konum ve şekil bilgisi kullanarak BT görüntülerinden

* Sorumlu yazar: umtbudak@gmail.com. ORCID Numarası: 0000-0003-4082-383X

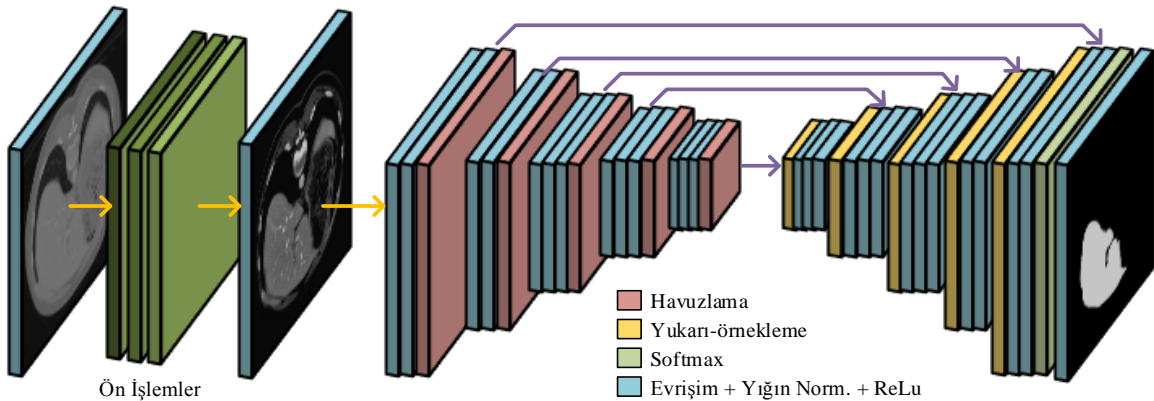
karaciğer bölütlenmesi yapmıştır. Avşar ve Arıca, yaptıkları çalışmada [5] su seviyesi ve histogram eşikleme yöntemlerini kullanarak karaciğer BT görüntülerinde benzer ve farklı dokuları belirlemişlerdir. Benzer bir çalışmada Liu ve diğ. [6] tarafından karaciğer BT görüntülerinin etkili bir şekilde bölütlenmesi için yine su seviyesi yöntemi kullanılmıştır. Wu ve diğ. [7], karaciğer BT görüntülerinde tümör tespiti yapabilmek için bulanık c-ortalamlar ve çizge kesim tabanlı yarı otomatik bir yöntem önermiştir. Linguraru ve diğ. [8], karın bölgesi BT görüntülerinden karaciğer tümör yükünün otomatik olarak hesaplanması için bir çalışma yapmıştır. Bağcı ve diğ. [9], böbrek ve dalağın da içinde bulunduğu BT görüntülerinden karaciğeri bölütlemek için şekil ve bölge tabanlı yöntemleri melez bir yaklaşımla birleştirmişlerdir. Karın bölgesi BT karaciğer görüntüleri için bilgisayar destekli bir tanı sistemi ise Sayed ve diğ. [10] tarafından önerilmiştir. Önerilen sistemde karaciğerin otomatik olarak bölütlenmesi için bulanık kümeleme ve gri kurt optimizasyonuna dayalı melez bir yaklaşım kullanılmıştır.

Son zamanlarda derin öğrenmenin BT görüntülerine uygulandığı birçok çalışma göze çarpmaktadır. Geliştirilen derin öğrenme tabanlı görüntü bölütleme yöntemleri, karaciğer görüntülerinin bölütlenmesinde de yüksek başarımlar göstermişlerdir [11-15]. Jin ve diğ. [11], karaciğer BT görüntülerinin bölütlenmesi için özel bir tam evrişimsel sinir ağı (TESA) yapısı önermiştir. Bellver ve diğ. [12], evrişimsel sinir ağlarını (ESA) kullanarak karaciğer BT görüntülerinde normal olmayan bölgelerin belirlenmesini sağlamışlardır. Önerilen ESA mimarisi kaskat bir yapıda olup, önce karaciğer bölgesinin bölütlenmesi, ardından da karaciğer bölgesi üzerindeki normal olmayan bölgenin bölütlenmesi gerçekleştirilmiştir. Hu ve diğ. [13], 3B ESA ve küresel yüzey evrim optimizasyonu temelli yeni bir karaciğer bölütleme algoritması önermiştir. Qin ve diğ. [14], otomatik karaciğer bölütlenmesi için süper piksel ve sınır duyarlı ESA mimarisine dayalı yeni bir yöntem önermiştir. Zhou ve diğ. [15], karaciğer BT görüntülerinden karaciğerin bölütlenmesi için bir derin ESA mimarisini uçtan-uca öğrenme yaklaşımı ile eğitmişlerdir.

Konu ile alakalı teknik yazım incelendiğinde karaciğer görüntülerinden karaciğer ve normal olmayan bölgelerin bölütlenmesinde yeni trendin derin öğrenme yönüne doğru kaydığı görülmektedir. Bunun temel nedenini elde edilen yüksek başarımlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada da yine derin öğrenme mimarisi kullanan yeni bir karaciğer bölütleme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma öncelikle bazı ön-işlemler uygulayarak karaciğer BT görüntülerini bölütlemeye uygun hale getirmektedir. Daha sonra 5 katmanlı bir SegNet yapısı kullanılarak BT görüntülerinden karaciğer bölgeleri bölütlenmiştir. Çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyodiagnostik Anabilim Dalı'nın sağladığı 20 DICOM serisi kullanılmıştır. DICOM görüntüleri 12 bit derinliğe sahiptir ve her bir seride 70 ile 115 arasında kesit bulunmaktadır. Elde edilen bölütleme sonuçları sırası ile hacimsel örtüşme, bağıl mutlak hacim farkı, ortalama simetrik yüzey mesafesi, etkin simetrik yüzey mesafesi ve en büyük simetrik yüzey mesafesi kriterlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar cesaret vericidir.

2. Materyal ve Yöntem

Önerilen yöntemin grafiksel gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den de görüleceği üzere giriş DICOM imgeleri ilk önce bir dizi ön işlemlerden geçirildikten sonra 5 katmanlı SegNet mimarisine girdi olarak verilmektedirler.



Şekil 1. Önerilen yöntemin grafiksel gösterimi. BT görüntüsü önce bir dizi ön işlemlerden geçirildikten sonra, 5 katmanlı SegNet mimarisine girdi olarak verilmektedir. SegNet mimarisi çıktısı, ikilik görüntü olarak elde edilmiştir.

SegNet mimarisinin aşağı yönlü örnekleme bölümündeki ilk iki katmanında iki evrişim ve bir havuzlama ve son üç katmanda ise üç evrişim ve bir havuzlama katmanı mevcut iken, yukarı yönlü örnekleme bölümünde ise aşağı yönlü örnekleme bölümünün simetriği formatında bir yapı mevcuttur. Son olarak softmax katmanı ile ağ nihayi bölütlemeyi üretmektedir.

2.1. Ön İşlemler

BT görüntü serileri sadece karaciğer bölgesini değil, aynı zamanda yağ dokusu, kaburgalar ve omurgalar gibi diğer bölgeleri de içermektedir. Ön işlem sürecindeki amaç, BT görüntü serilerinde karaciğere ait olmayan bölgelerin çıkarılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle Şekil 2(a)'da gösterilmiş olan ham BT görüntüleri, Hounsfield Unit (HU) aralığına pencerelemiştir [16]. HU değerleri, ilgili veri kümesinin 'info' bilgisinde yer almaktadır ve Algoritma 1'de ilgili işlemler verilmiştir;

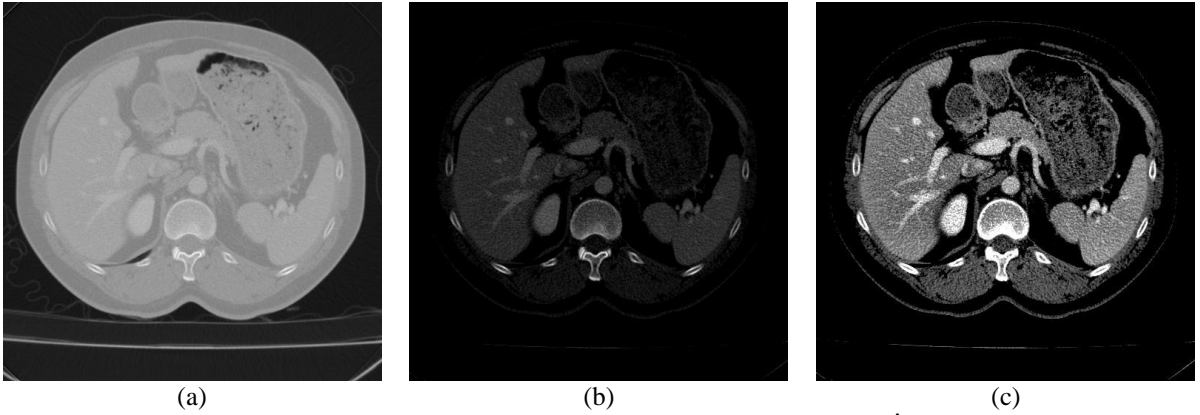
Algoritma-1

```

dicomread → Giriş_BT_serileri
dicominfo → Giriş_BT_serileri
for i = 1 : row
    for j = 1 : column
        HUimage(i,j) = Giriş_BT_serileri(i,j) × info.RescaleSlope + info.RescaleIntercept
    end
end
end

```

Elde edilen yeni görüntü Şekil 2(b)'de gösterilmiştir. DICOM formatındaki piksel değerleri 0-4095 aralığında olduğu için HU pencereleme sonucu 0-255 aralığına dönüştürülmüştür ve ardından Şekil 2(c)'de gösterilen kontrast germe işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2. Uygulanan ön işlem adımlarına genel bakış: a) Ham BT görüntüsü, b) İlgisiz bölgelerin çıkarılması için uygulanan HU pencereleme sonucu, c) Kontrast germe sonucu.

2.2. SegNet Mimarisi

SegNet, piksel tabanlı görüntü bölütlemesi için önerilmiş tam bağlı bir sinir ağ mimarisidir [17]. SegNet mimarisi, farklı çözünürlüklerin sınıflandırılması için kodlayıcı-kod çözücü çiftlerinin ürettiği özellik haritalarını kullanır. Şekil 1'de SegNet mimarisi verilmiştir. Şekil 1'den görüleceği üzere, her kodlayıcı sırası ile evrişim, yığın normalizasyon ve ReLu işlemlerini uyguladıktan sonra elde edilen sonuca maksimum havuzlama işlemi uygular. Kod çözücüler genelde kodlayıcılara benzerler ve ikisi arasındaki temel fark, doğrusal olmayan bir etkiye sahip değildir. Kod çözücüler kendilerine gelen girdiyi kodlama aşamasından gelen indeksleri kullanarak yukarı yönde örneklerler. Son kod çözücülerden elde edilen sonuç, softmax katmanına verilerek nihai çıktı elde edilir.

2.3. Veri Kümesi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan veri kümesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyodiagnostik Anabilim Dalı'ndan alınmıştır. 20 kişiden alınan görüntü serileri, damardan opak madde verilmesini takiben 3.2 mm kesit kalınlığında portal fazda çekilmiştir. Serilerdeki kesit sayıları 70 ile 115 arasındadır. Elde edilen görüntüler, DICOM formatında olup 12 bittir. Görüntü serilerinin standart bir forma dönüştürülmesi için 8 bit formatında yeniden kaydedilmiştir. Böylece standart gri seviye aralığı [0-255] elde edilmiştir. Bu işlem için gerekli olan pencere merkezi ve pencere genişliği bilgileri DICOM meta üstbilgisinden elde edilmiştir. Görüntü serilerindeki karaciğer bölgesi uzman bir radyolog tarafından manuel olarak bölütlenerek referans görüntü serileri üretilmiştir. Tablo 1'de veri kümesine ait detaylı bilgi verilmiştir.

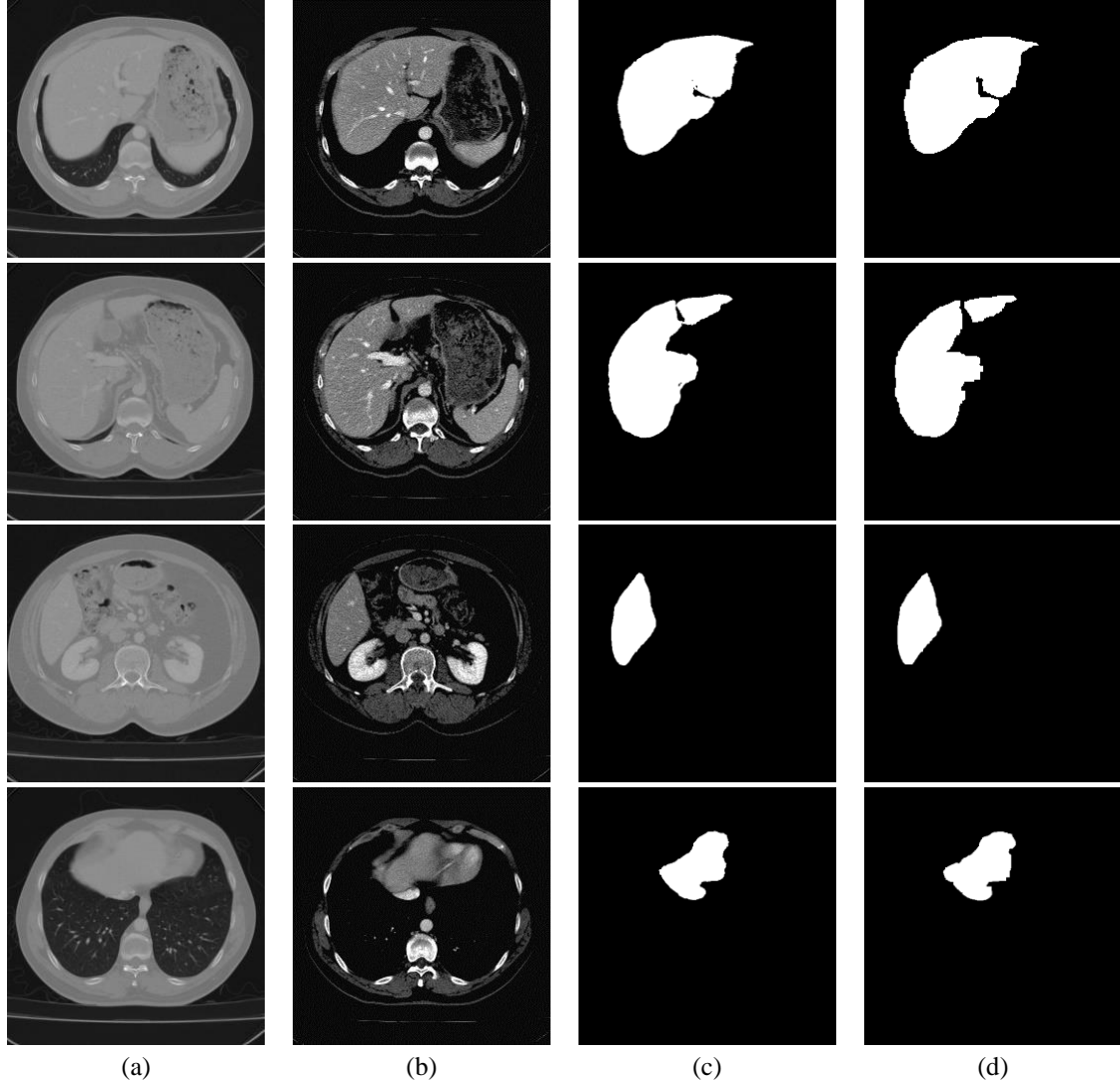
Tablo 1. Veri kümesi ile ilgili teknik bilgiler.

Dosya İsimleri	Kesit Sayıları	Gerçek Bölütlenme Sonuçları	Kullanım Yeri
Set01	96	Var	Eğitim ve Test
Set02	81	Var	Eğitim ve Test
Set03	78	Yok	Test
Set04	94	Yok	Test
Set05	95	Yok	Test
Set06	88	Yok	Test
Set07	108	Yok	Test
Set08	123	Var	Eğitim ve Test
Set09	97	Yok	Test
Set10	110	Yok	Test
Set11	83	Yok	Test
Set12	104	Yok	Test
Set13	89	Yok	Test
Set14	95	Var	Eğitim ve Test
Set15	87	Yok	Test
Set16	91	Var	Eğitim ve Test
Set17	97	Yok	Test
Set18	111	Var	Eğitim ve Test
Set19	90	Yok	Test
Set20	105	Yok	Test

Tablo 1'den de görüleceği üzere veri kümesinde 20 farklı hastaya ait kesit görüntüleri mevcuttur. Bunlardan 6 tanesi (Set01, Set02, Set08, Set14, Set16, Set18) yarışmacılarla eğitim kümesi olarak ve manuel olarak bölütlenmiş ikili karaciğer bölgeleri ile birlikte paylaşılmıştır. Geriye kalan setlerin ise sadece BT kesit görüntüleri mevcuttur. Yarışma kuralları gereği katılımcılardan istenen, 6 küme üzerindeki eğitimin tüm kümelerde tahmin edilmesi ve tahmin edilen tüm setlerin uygulayıcı kuruluş tarafından her bir set için test edilmesidir.

3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar hem görsel hem de rakamsal olarak değerlendirilmiştir. Toplamda 597 kesit görüntüsünün eğitildiği SegNet mimarisinin eğitim parametreleri olarak başlangıç öğrenme oranı 0.1, maksimum yığın (devir) sayısı 200, yığın boyutu 6, öğrenme oranı düşme faktörü 0.5 ve öğrenme oranı düşme periyodu 20 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçların bazıları Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3(a) veri kümesinin ham görüntülerini göstermektedir. Uygulanan ön işlemler sonrasında elde edilen görüntüler, Şekil 3(b)'de verilmiştir. Ayrıca, nihai bölütleme sonuçları Şekil 3(c)'de ve Şekil 3(d)'de ise gerçek bölütleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 3. Elde edilen sonuçların gösterilmesi (a) Orijinal BT görüntüleri, (b) Ön işlemler sonucunda elde edilen görüntü, (c) Elde edilen sonuçlar, (d) Gerçek sonuçlar.

Elde edilen sonuçlara görsel olarak bakıldığında, sonuçların gerçek bölütleme sonuçlarına oldukça benzediği görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan, önerilen yöntemin bölütlenen karaciğer bölgelerinin kenarlarını daha yumuşak bölütlediği görülmüştür. Diğer bir ifade ile elde edilen bölütlemelerde ince hatlar kaybedilmiştir.

Önerilen yöntem ile tahmin edilen bölütleme sonuçları, aşağıdaki beş farklı değerlendirme ölçütü ile hesaplanmaktadır:

1-) Hacimsel Örtüşme:

Referans görüntülerdeki vokseller ile tahmin edilen segmentasyon sonucundaki voksellerin kesişimlerinin birleşimlerine oranı ile hesaplanır. En başarılı durumda %100, en başarısız durumda ise %0 değerini almaktadır.

$$Hacimsel \ Örtüşme = \frac{Voksel \ Sayısı_{referans \cap \ tahmin}}{Voksel \ Sayısı_{referans \cup \ tahmin}} \times 100 \quad (1)$$

2-) Bağıl Mutlak Hacim Farkı:

Tahmin edilen bölütlenmiş nesnenin hacminin referans görüntülerdeki nesnenin hacmine oranı ile hesaplanır. En iyi durumda sıfır değerini almaktadır.

$$\text{Bağıl Mutlak Hacim Farkı} = \left(\left| \frac{\text{Hacim}_{\text{tahmin}} - \text{Hacim}_{\text{referans}}}{\text{Hacim}_{\text{referans}}} \right| \right) \times 100 \quad (2)$$

3-) Ortalama simetrik yüzey mesafesi:

Tahmin edilen nesnenin sınırına ait tüm voksellerin referans nesnedeki sınıra ait tüm voksellere olan en kısa uzaklıkları hesaplanır. Bu mesafe bilgilerinin aritmetik ortalaması ile ortalama simetrik yüzey mesafesi hesaplanır. En iyi durumda sıfır değerini almaktadır.

4-) Etkin simetrik yüzey mesafesi:

Ortalama simetrik yüzey mesafesine benzer şekilde hesaplanmaktadır. Ancak burada mesafe bilgilerinin etkin (ortalama karekök) değeri hesaplanır. En başarılı durumda ise sıfır değerini almaktadır.

5-) En büyük simetrik yüzey mesafesi:

Ortalama simetrik yüzey mesafesine benzer şekilde hesaplanmaktadır. Burada mesafe bilgilerinin en büyük olanı alınır. En iyi durumda sıfır değerini alır.

Hesaplanan bu beş farklı değerlendirme ölçütleri 0-100 arası puanlara dönüştürülmektedir. Yarışmadaki nihai puan ise bu beş ölçütün aritmetik ortalaması alınarak 100 üzerinden hesaplanan bir puan olarak belirlenmektedir. Tablo 2’de bu beş farklı değerlendirme ölçütünün puanlamaya dâhil edildiği minimum ve maksimum değerler gösterilmiştir.

Tablo 2. Bölütleme sonuçlarının her bir ölçüt için değerlendirilmeye dahil edilmesi için elde edilmesi istenilen başarımlar aralıkları.

Değerlendirme ölçütleri	Değerlendirmeye dahil edilen başarımlar aralığı (minimum – maksimum)
Hacimsel Örtüşme	%50 – %100
Bağıl Mutlak Hacim Farkı	%10 – %0
Ortalama simetrik yüzey mesafesi	10 piksel – 0 piksel
Etkin simetrik yüzey mesafesi	15 piksel – 0 piksel
En büyük simetrik yüzey mesafesi	50 piksel – 0 piksel

Hesaplanan bir metrik Tablo 2’deki minimum değerlerden daha başarısız bir sonuç üretiyorsa 100 üzerinden 0 puan almaktadır. Eğer minimum noktası ile aynı değeri alıyorsa 100 üzerinden 50 puan almaktadır. Eğer maksimum değerine ulaşırsa 100 üzerinden 100 almaktadır. Minimum ile maksimum arasındaki değerler ise 100 üzerinden 50-100 arasındaki değerlere atanmaktadır. Örneğin, Hacimsel örtüşmesi %35 olarak hesaplanan bir bölütleme sonucu bu aşamada 0 puan alır. Aynı bölütleme için ortalama simetrik yüzey mesafesi 5 piksel olarak hesaplandıysa bu aşamadan 75 puan almaktadır.

Beş farklı değerlendirme ölçütlerinin sonuçları 100 üzerinden ayrı ayrı hesaplandıktan sonra bunların aritmetik ortalaması alınarak nihai puan hesaplanmaktadır.

Diğer taraftan bütün bölütleme sonuçlarının rakamsal olarak değerlendirildiği sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’den görüldüğü üzere her bir BT görüntüsü, veri kümesi için sırası ile hacimsel örtüşme, bağıl mutlak hacim farkı, ortalama simetrik yüzey mesafesi, etkin simetrik yüzey mesafesi ve en büyük simetrik yüzey mesafesi değerleri için hesaplanmıştır. Hacimsel örtüşme kriterine bakıldığında önerilen yöntemin %82,82 ile %96,71 aralığında değişen değerler ürettiği ve bu değerlerin ortalamasının %88,43 olduğu görülmüştür. Bu değer, önerilen yöntemin ürettiği bölütlemeleri hacimsel olarak gerçek sonuçlarla büyük oranda örtüşüğünü göstermektedir. Benzer şekilde bağıl mutlak hacim farkı kriterine göre bir değerlendirme yapılacak olunursa,

önerilen yöntemin %60,63 ile %99,61 aralığında değerler ürettiği ve Set09 veri kümesi için ise %0 değerini ürettiği görülmüştür. Dolayısıyla önerilen yöntemin ortalama bağıl mutlak hacim farkı değeri %79,62 olarak gerçekleşmiştir. Ortalama simetrik yüzey mesafesi dikkate alındığında, önerilen yöntemin %79,14 ile %96,27 aralığında değerler ürettiği gözlenmiştir. Ayrıca ortalama simetrik yüzey mesafesi değerlerinin ortalaması da %86,96 olarak hesaplanmıştır. Etkin simetrik yüzey mesafesi diğer bir değerlendirme kriteri olarak kullanılmış ve önerilen yöntemin %52,45 ile %96,52 aralığında değerler ürettiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Elde edilen sonuçların rakamsal değerlendirilmesi.

Değerlendirme Kriterleri	Set01	Set02	Set03	Set04	Set05	Set06	Set07
Hacimsel Örtüşme	96,71	96,49	87,18	82,82	92,06	86,04	89,02
Bağıl Mutlak Hacim Farkı	86,29	83,82	60,63	98,25	99,61	91,59	72,14
Ortalama simetrik yüzey mesafesi	95,84	96,27	84,89	81,1	90,97	86,21	90,54
Etkin simetrik yüzey mesafesi	95,56	96,52	78,42	68,61	82,3	83,73	87,88
En büyük simetrik yüzey mesafesi	81,19	90,51	51,86	0	0	0	0
Sonuç	91,12	92,72	72,6	66,15	72,99	69,51	67,92
Değerlendirme Kriterleri	Set08	Set09	Set10	Set10	Set12	Set13	Set14
Hacimsel Örtüşme	96,05	83,72	90,91	88,1	86,86	89,62	96,47
Bağıl Mutlak Hacim Farkı	82,82	0	77,36	72,97	98,62	98,53	84,1
Ortalama simetrik yüzey mesafesi	95,58	84	88,91	88,74	85,34	79,14	95,9
Etkin simetrik yüzey mesafesi	95,54	72,98	80,69	81,78	78,23	52,45	95,66
En büyük simetrik yüzey mesafesi	0	0	0	0	0	0	54,96
Sonuç	74	48,14	67,57	66,32	69,81	63,95	85,42
Değerlendirme Kriterleri	Set15	Set16	Set17	Set18	Set19	Set20	Ortalama
Hacimsel Örtüşme	92,34	96,33	88,73	96,21	91,68	88,89	88,43
Bağıl Mutlak Hacim Farkı	90,45	83,95	93,35	82,87	96,17	64,95	79,62
Ortalama simetrik yüzey mesafesi	92,47	95,58	90,36	95,33	89,46	85,33	86,96
Etkin simetrik yüzey mesafesi	90,6	95,4	87,99	94,31	77,41	73,73	78,34
En büyük simetrik yüzey mesafesi	0	0	0	55,85	0	0	3,7
Sonuç	73,17	74,25	72,09	84,92	70,94	62,58	67,41

Ortalama etkin simetrik yüzey mesafesi ise %78,34 olarak hesaplanmıştır. Son olarak en büyük simetrik yüzey mesafesi kriterine bağlı olarak yapılan değerlendirme de önerilen yöntemin sadece Set01, Set02, Set03, Set14 ve Set18 veri kümeleri için değer ürettiği diğer bütün veri kümeleri için ise %0 değerini ürettiği görülmüştür. Bu durum genel ortalamanın önemli ölçüde düşmesine neden olmuştur.

3. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, BT görüntülerinden karaciğer bölgesinin belirlenmesi için derin ağ mimarisine sahip bir yöntem önerilmiştir. Yöntem temel olarak ön işlemler ve SegNet mimarisi dayalı etkili bir yöntemdir. Yöntemin değerlendirilmesi için 20 farklı BT görüntü serisi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar sayısal (kuantitatif) olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin umut vaat eden bir yapı olduğunu göstermiştir. Önerilen yöntemin temel bir sakıncası derin SegNet mimarisinin eğitim için çok veri ve zamana ihtiyaç duymasıdır. Diğer taraftan elde edilen sonuçlar “Karaciğer bölütleme algoritmaları yarışıyor” [18] isimli yarışmada elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında, en iyi üçüncü sonucun önerilen yöntem ile elde edildiği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Campadelli, P., Casiraghi, E., & Pratisoli, S. A segmentation framework for abdominal organs from CT scans. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2010; 50(1), pp. 3-11.
- [2] Linguraru, M. G., Sandberg, J. K., Li, Z., Shah, F., & Summers, R. M. Automated segmentation and quantification of liver and spleen from CT images using normalized probabilistic atlases and enhancement estimation. *Medical physics*, 2010; 37(2), pp. 771-783.
- [3] Häme, Y. Liver Tumor Segmentation Using Implicit Surface Evolution. *Proceedings of the MICCAI Workshop on 3D Segmentation in the Clinic: A Grand Challenge II 2008*.
- [4] Zayane, O., Jouini, B., & Mahjoub, M. A. Automatic liver segmentation method in CT images. *Canadian Journal on Image Processing & Computer Vision*, 2011; 2(8), pp. 92-85.
- [5] Avşar, T. S., & Arica, S. Automatic Segmentation of Computed Tomography Images of Liver Using Watershed and Thresholding Algorithms. In *EMBECC & NBC 2017*, pp. 414-417. Springer, Singapore.
- [6] Liu, J., Wang, Z., & Zhang, R. December. Liver cancer CT image segmentation methods based on watershed algorithm. In *Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE)*, 2009. International Conference on IEEE, pp. 1-4.
- [7] Wu, W., Wu, S., Zhou, Z., Zhang, R., & Zhang, Y. 3D liver tumor segmentation in CT images using improved fuzzy C-means and graph cuts. *BioMed research international*, 2017.
- [8] Linguraru, M. G., Richbourg, W. J., Liu, J., Watt, J. M., Pamulapati, V., Wang, S., & Summers, R. M. Tumor burden analysis on computed tomography by automated liver and tumor segmentation. *IEEE transactions on medical imaging*, 2012; 31(10), pp. 1965-1976.
- [9] Bağcı, U., Chen, X., & Udupa, J. K. Hierarchical scale-based multiobject recognition of 3-D anatomical structures. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2012; 31(3), pp. 777-789.
- [10] Sayed, G. I., Hassanien, A. E., & Schaefer, G. An automated computer-aided diagnosis system for abdominal CT liver images. *Procedia Computer Science*, 2016; 90, pp. 68-73.
- [11] Jin, X., Ye, H., Li, L., & Xia, Q. December. Image Segmentation of Liver CT Based on Fully Convolutional Network. In *Computational Intelligence and Design (ISCID)*, 2017 10th International Symposium on IEEE, Vol. 1, pp. 210-213.
- [12] Bellver, M., Maninis, K. K., Pont-Tuset, J., Giró-i-Nieto, X., Torres, J., & Van Gool, L. Detection-aided liver lesion segmentation using deep learning. 2017; arXiv preprint arXiv:1711.11069.
- [13] Hu, P., Wu, F., Peng, J., Liang, P., & Kong, D. Automatic 3D liver segmentation based on deep learning and globally optimized surface evolution. *Physics in Medicine & Biology*, 2016; 61(24), 8676.
- [14] Qin, W. et al. Superpixel-based and boundary-sensitive convolutional neural network for automated liver segmentation. *Physics in Medicine & Biology*, 2018; 63(9), 095017.
- [15] Zhou, X., Takayama, R., Wang, S., Hara, T., & Fujita, H. Deep learning of the sectional appearances of 3D CT images for anatomical structure segmentation based on an FCN voting method. *Medical physics*, 2017; 44(10), pp. 5221-5233.
- [16] Tustison, N. J., Avants, B. B., Cook, P. A., Zheng, Y., Egan, A., Yushkevich, P. A., & Gee, J. C. N4ITK: improved N3 bias correction. *IEEE transactions on medical imaging*, 2010; 29(6), pp. 1310-1320.
- [17] Badrinarayanan, V., Kendall, A., & Cipolla, R. Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. 2015; arXiv preprint arXiv:1511.00561.
- [18] Yarışma erişim linki, <http://webb.deu.edu.tr/tb/2izmirbulusmasi/yarisma.html>, Son erişim: 01.04.2018

Zatürre Hastalığının Derin Öğrenme Modeli ile Tespiti

Mesut TOĞAÇAR^{1*}, Burhan ERGEN², Mehmet Emre SERTKAYA³

¹ Bilgisayar Teknolojileri Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{2,3} Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
¹ mtogacar@firat.edu.tr, ² bergem@firat.edu.tr, ³ m.emre357@gmail.com

(Geliş/Received: 17/12/2018;

Kabul/Accepted: 20/02/2019)

Özet: Zatürre Hastalığı, insanın hayatının herhangi bir döneminde karşılaşılabileceği hastalıklardan biridir. Enfeksiyon hastalıklarının yaklaşık %18'ini zatürre hastalığı oluşturmaktadır. Bu hastalık ilerleyen bazı durumlarda ölüme sebep olabilmektedir. Tıbbi olarak zatürre teşhisini kesin olarak konulabilmesi için akciğer röntgen görüntülerinin bir doktor tarafından incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada, zatürre hastalığının teşhisi için geliştirilen tanıma sistemi için erişime açık olan akciğer röntgen görüntülerinden faydalanılmıştır. Elde edilen imge kümesinde öznelik çıkarımı için derin öğrenme modellerinden evrimsel sını ağı (ESA) kullanılmıştır. Hastalığın teşhisi için elde edilen öznelikler farklı sınıflandırıcılar kullanılarak başarımlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sınıflandırma işleminde kullanılan, destek vektör makineleri (DVM) ile %95,8 gibi bir yüksek başarı oranı elde edilmiştir. Zatürre gibi ölümcül hastalıkların erken teşhisinde, derin öğrenme modellerinin daha hızlı ve doğru sonuçlar verdiği bu çalışmada izlenmiştir. Yapılan bu çalışma, ESA ile özellik çıkarmanın biyomedikal alanındaki mevcut yöntemlere kıyasla performans açısından daha iyi sonuçlar verdiği, yapılan bu çalışmada görülmüştür.

Anahtar kelimeler: ESA, Derin öğrenme, Görüntü işleme, Biyomedikal, Zatürre hastalığı.

Detection of Pneumonia with Deep Learning Model

Abstract: Recently, rapid developments in image processing have gained different perspective in deep learning models. Deep learning models continue to contribute to the areas of human health. Pneumonia is one of the diseases that people may encounter in any period of their lives. Pneumonia accounts for about 18% of infectious diseases. In some cases, this disease can cause death. In this study, lung x-ray images were used for the diagnosis of pneumonia. The convolutional neural network (CNN) from deep learning models was used for feature extraction in the resulting image set. The results of CNN with different classifiers were compared. As a result of the comparison, a success rate of approximately 95.8% was obtained with support vector machines (SVM). In the early diagnosis of deadly diseases such as pneumonia, deep learning models were found to be faster and more accurate. This study has shown that feature extraction with CNN provides better results in terms of performance than current methods in biomedical field.

Key words: CNN, Deep learning, Image processing, Biomedical, Pneumonia disease.

1. Giriş

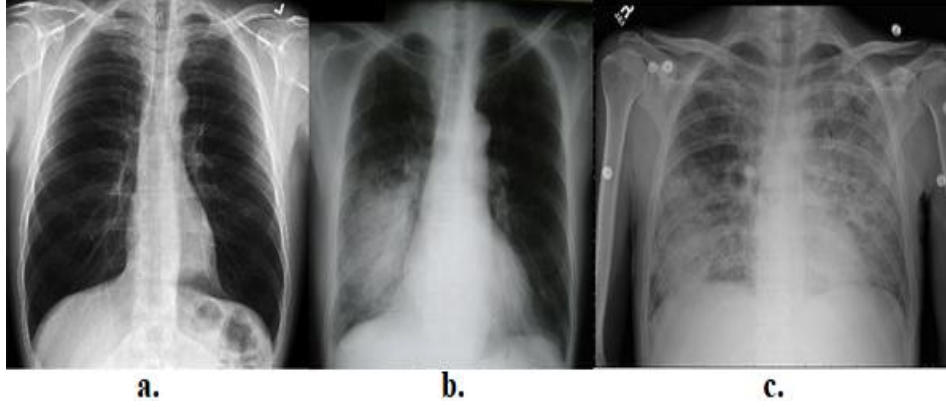
Görüntü işleme, insan gözünün yaptığı işlevleri bilgisayar ortamında çeşitli ara yüz yazılımlarıyla hızlı sonuçlar elde eden bir teknolojidir [1]. Bu teknolojiye çeşitli modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller ile yapılan bilimsel çalışmalar da katkıda bulunulmuştur [2]. Son yıllarda, yapılan bu analiz sonuçlarında en çok tercih edilen model, makine öğrenmesinin bir parçası olan derin öğrenme modelidir. Makine öğrenmesi yöntemine kıyasla çok katmanlı bir yapıya sahip olan derin öğrenme, insan beyninin işleyişinden esinlenerek, son zamanlarda oldukça artan bir ilgi görmektedir [3]. Derin öğrenme modellerinin, görüntü işleme üzerinde yoğunlaştığı alanlardan biri de biyomedikal uygulamalardır. Özellikle bu alanlarda elde edilen biyomedikal imgeler üzerinde, derin öğrenme modellerinin uygulanması sonucu oldukça yüksek başarımlar elde edilmiştir [4,5].

Geçmişten günümüze enfeksiyon hastalıkları, insan sağlığını tehdit eden en önemli unsurlardan biridir. Enfeksiyon hastalıklarının ilk sırasında ise latince tıbbi terim olarak pnömoni adı verilen zatürre hastalığı gelmektedir [6].

Zatürre, virüs ve bakteri gibi canlıların mikroskobik hava keselerini etkilemesi sonucu oluşan akciğer iltihaplanması olarak tanımlanır [7,9]. Her yıl dünya nüfusunun yaklaşık %7'si zatürre hastalığından etkilenir ve

* Sorumlu yazar: mtogacar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8264-3899, ² 0000-0003-3244-2615, ³ 0000-0001-5060-1857

etkilenen hastaların 4 milyon kadarı ölümle sonuçlanır [8]. Bu tip hastalıklarda erken tanı önemlidir [10]. Tipik belirtiler arasında göğüs ağrısı, nefes darlığı, öksürük vs. yer alır. Tanı araçları arasında balgam kültürü ve göğüs röntgeni görüntüleri bulunmaktadır [11]. Zatürre hastalığına ilişkin örnek röntgen görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Normal, (b) ve (c) zatürre hastası.

Tıbbi alanda doktorların göğüs röntgenine bakıp teşhis koyması, günümüz teknoloji çağında zaman kaybettiren bir süreçtir. Bunun yerine var olan teknolojik imkânlardan ve yazılımlardan faydalanarak teşhis yapabilmek, zaman ve maliyet açısından son derece olumlu bir gelişmedir [12]. Zatürre hastalarından elde edilen göğüs röntgen görüntülerini, derin öğrenme modelleri ile eğiterek, mevcut yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir [13].

Bu çalışmada, erişime açık olan göğüs röntgeni görüntüleri, derin öğrenme yöntemlerinden biri olan ESA kullanılarak eğitilmiştir [14]. Eğitilen veri kümelerinden elde edilen öznelikler, farklı sınıflandırıcılar kullanılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. En başarılı sonuç DVM sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir.

2. Veri Kümesi ve Yöntem

Veri kümesi, bir ile beş yaş arası çocukların göğüs röntgenleri kullanılarak oluşturulmuş bir imge veri tabanıdır [14]. Zatürre hastalığı, çocuklarda daha fazla görüldüğü için veri kümesi oluşturulurken, bu yaş aralığı tercih edilmiştir. Veri kümesi, “normal ve pnömoni” adında iki kategoriden oluşmuştur. 1583 adet normal, 4266 adet pnömoni görüntü verisi olmak üzere toplam 5849 adet görüntü kümesi kullanıldı. Görüntülerin dosya uzantısı jpeg, derinliği 8 bit ve çözünürlüğü 1448×1056 'dır. Veri kümesi, ESA modellerinden biri olan AlexNet mimarisini kullanarak öznelik çıkarımı elde edildi.

AlexNet mimarisi, 2012 yılında ImageNet yarışmasında adını duyuran, yaklaşık bir milyon görüntü ile eğitilme özelliğine sahip, görüntüleri sınıflandırmada son derece başarılı bir ESA modelidir. Mimari yapısı, beş adet evrişim katmanı, havuz katmanı, relu katmanı ve üç adet tam bağlantılı katmandan oluşmaktadır [15]. Evrişimsel katman, belirli bir filtrenin tüm görüntü üzerinde dolaştırılması işlemine dayanmaktadır. Filtreler 3×3 , 5×5 gibi farklı boyutlarda olabilir. Filtreler, bir önceki katmandan gelen görüntülere konvolüsyon işlemi uygulanarak çıkış verisini oluştururlar. Bu konvolüsyon işlemi sonucu aktivasyon haritası oluşur. Aktivasyon haritası, her bir filtreye özgü niteliklerden oluşur [16]. AlexNet mimarisinde kullanılan havuzlama katmanı; görüntü boyutunu öznelikleri koruyarak azaltma işleminde kullanılan, maliyeti düşüren ve görüntü bilgilerini koruyan bir yapıya sahiptir. Bu yapıyla parametre sayısı azaltılarak görüntüden elde edilecek bilgileri korumayı amaçlar [15,19].

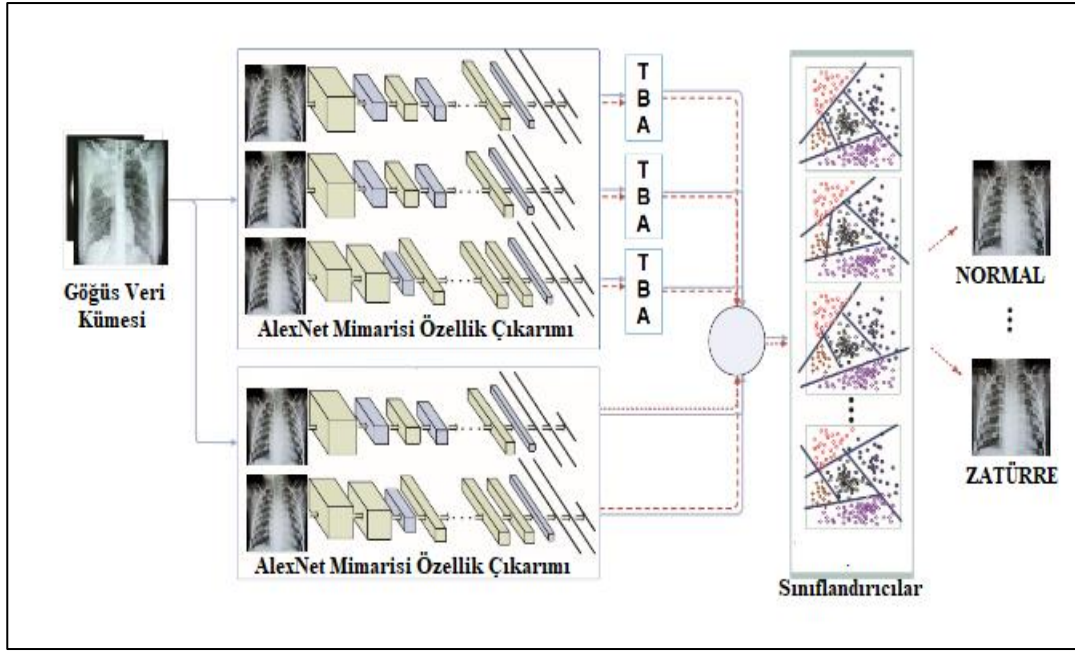
AlexNet mimarisi Tablo 1'de görüldüğü üzere, resim boyutu 227×227 seçilmiş olup, filtre boyutu 11×11 ve adım sayısı dört olarak seçilmiştir [17]. Bu değerler, yapılan bu çalışmada da korunmuştur.

Çalışmada kullanılan görüntü boyutu (1448×1056), AlexNet mimari yapısına uygun (227×227) formata dönüştürülmüştür. Mimarinin içerisinde, temel bileşenler analizi (TBA) kullanılarak öznelik indirgenmesi gerçekleştirildi [18]. AlexNet mimarisi iki yöntem seçilerek veri kümesi üzerinde uygulandı. Birinci yöntemde, AlexNet ile elde edilen nitelikler TBA ile etkin öznelikler belirlendikten sonra sınıflandırma yapıldı. İkinci yöntemde ise TBA uygulanmadan öznelikler doğrudan sınıflandırıldı. İki yöntemde de sınıflandırıcı olarak; karar ağacı (KA), doğrusal ayrımcılık analizi (DAA), lineer regresyon (LR), DVM, en yakın komşu (eYK) ve

softmax yöntemleri kullanıldı. Kullanılan sınıflandırıcı yöntemlerinin performans sonuçları birbirleri ile kıyaslandı. Amaç, bu çalışmada kullanılan en iyi sınıflandırıcıyı tespit etmektir. Önerilen mimarinin tasarımı, Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan AlexNet mimari yapısı [15,17].

Katman		Özellik Haritası	Boyut	Filtre Boyutu	Adım	Aktivasyon
Giriş	Görüntü	1	227×227×3	-	-	-
1	Evrişimsel	96	55×55×96	11×11	4	relu
	Mak. Havuzlama	96	27×27×96	3×3	2	relu
2	Evrişimsel	256	27×27×256	5×5	1	relu
	Mak. Havuzlama	256	13×13×256	3×3	2	relu
3	Evrişimsel	384	13×13×384	3×3	1	relu
4	Evrişimsel	384	13×13×384	3×3	1	relu
5	Evrişimsel	256	13×13×256	3×3	1	relu
	Mak. Havuzlama	256	6×6×256	3×3	2	relu
6	Tam Bağlantılı	-	4096	-	-	relu
7	Tam Bağlantılı	-	4096	-	-	relu
8	Tam Bağlantılı	-	1000	-	-	relu
Çıkış	Softmax	-	1000	-	-	Softmax



Şekil 2. Önerilen uygulamanın algoritma tasarımı [17, 18, 20].

2.1 Sınıflandırıcılar

KA, veri madenciliğinde sınıflandırma da kullanılan yöntemlerden birisidir. Sınıflandırma problemlerinde çokça kullanılmaktadır. KA'dan önce bir karar ağacı oluşturulmakta, daha sonra karar ağacından üretilen kurallar ile veri kümesinden çıkartılan öznitelikler birleştirilerek sınıflandırma işlemi yapılmaktadır [21].

DAA yöntemi, en çok desen sınıflandırması ve makine öğrenimi uygulamaları için ön işlem aşamasında boyut azaltma tekniği olarak kullanılır. Amaç, aşırı uyumu önlemek ve aynı zamanda hesaplama maliyetlerini azaltarak sınıflandırma işlemi yapmaktır [22].

LR yönteminin amacı, parametreler arasındaki ilişki fonksiyonunu elde etmektir. En basit makine öğrenme modelidir. Neden ve sonuç arasında doğrusal ilişki olup olmadığını belirleyerek sınıflandırma işlemi yapmaktadır. Belirli nedene ait veri kümesinden çıkartılan özniteliklerin değerlerine göre, sonuç değerlerini tahmin ederek sınıflandırma işlemi yapmaktadır [23].

DVM yöntemi, sınıflandırma için kullanılabilen denetimli bir makine öğrenmesi yöntemidir. Bu yöntem, her bir veri görüntüsünden elde edilen öznitelikler koordinat düzlemine yerleştirilir. Ardından, iki sınıfı iyi bir şekilde ayıran hiper-düzlemi bularak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir [24].

eYK yönteminin sınıflandırmada ki temel amacı; nesnelerin sahip olduğu özelliklere bakarak, nesnelerin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesi işlemine dayanmaktadır. Seçilen bir özelliğin kendine en yakın olan özellikler arasındaki yakınlığı kullanarak sınıflandırma işlemi yapılır. Nesneler arasındaki mesafelerin belirlenmesinde Denklem (1)'deki Öklid formülü kullanılmaktadır. Yeni gelen veri ile diğer veriler arasındaki mesafeler hesaplanırken Kosinüs, Öklid ya da Manhattan uzaklığı gibi yöntemler kullanılır [25].

$$\text{Uzaklık}_{(i,j)} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (1)$$

Son olarak bu çalışmada kullanılan Softmax yöntemi ise, LR yönteminin geliştirilmiş halidir. Yani sınıflandırma etiketinin daha fazla değer alabileceği, sınıflandırma işlemlerinde kullanılır. MNIST rakam sınıflandırılması probleminde, 10 farklı rakamı ayırt edip sınıflandırma işlemi yapmıştır [26].

3. Bulgular

AlexNet mimarisi, 64 bitlik Windows 10 işletim üzerinde kurulan Matlab R2017b görüntü işleme yazılımı kullanılarak derlendi. Kullanılan bilgisayarın özellikleri; Nvidia GForce 2 GB grafik kartı, Intel i5 çekirdekli 2.5 GHz işlemci ve 8 GB ram bellektir.

Bu çalışmanın geçerliliğinin ölçülmesi; duyarlılık, özgüllük ve doğruluk ile ilişkili olarak doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP), yanlış negatif (YN) anlamındadır [27,28].

$$\text{Duyarlılık} = \frac{(DP)}{(DP+YN)} \quad (2)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{(DP)}{(DP+YP)} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{(DN)}{(DN+YP)} \quad (4)$$

$$\text{F-skör} = \frac{(2 \times DP)}{(2 \times DP + YP + YN)} \quad (5)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{(DP+DN)}{(DP+YN)+(YP+DN)} \quad (6)$$

- DP, zatürre hastası olarak sınıflandırılan zatürre hastası röntgen görüntülerin sayısını temsil eder.
- DN, normal olarak sınıflandırılan normal göğüs röntgen görüntülerinin sayısını temsil eder.
- YP, zatürre hastası olarak yanlış sınıflandırılan normal göğüs röntgen görüntülerin sayısını temsil eder.
- YN, normal göğüs röntgen olarak yanlış sınıflandırılan zatürre hastası görüntülerin sayısını temsil eder.

Bu çalışmada, görüntü kümesinin %30' u test, %70'i eğitim kümesi olarak ayarlandı. Veri kümesinin doğrulama kümesinde 16 adet görüntü yer almaktadır. Doğrulama kümesindeki veri sayısı az olduğundan dolayı, bu kümede yer alan görüntüler de test ve eğitim kümesine ilave edildi. Ayrıca bu çalışmada, çapraz doğrulama kullanılmadı. Verilerin eğitiminde transfer öğrenme kullanılmadı. Özellik çıkarımında AlexNet mimarisinin Tablo 1'de belirtilen parametreleri ve katmanları kullanıldı. Sınıflandırıcı olarak; KA, DAA, LR, DVM, eYK ve softmax yöntemleri kullanıldı. Her bir özellik çıkarımı ve sınıflandırma işlemi için, ortalama 371,45 saniye

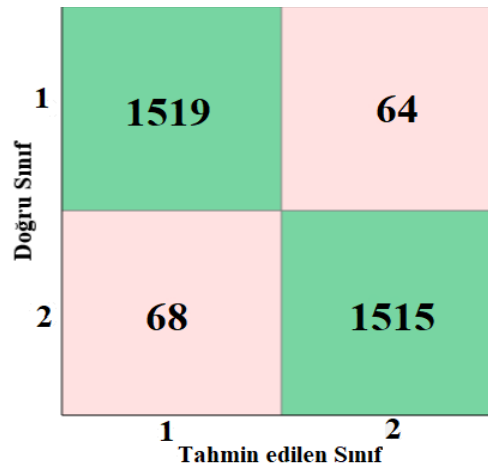
zaman harcandı. Sınıflandırma yöntemlerinden en başarılı sınıflandırma işlemi DVM ile gerçekleştirildi. Her bir sınıflandırma yöntemi, Şekil 2’de görüldüğü gibi TBA kullanılmadan ve TBA kullanılarak elde edilen tasarımın performans ölçümleri, sırasıyla Tablo 2 ve 3’de gösterilmiştir. TBA yöntemiyle kullanılan sınıflandırıcılar ile TBA yöntemi dâhil edilmeden kullanılan sınıflandırıcılardan elde edilen sonuçlar, birbirine yakın sonuçlardır. TBA’nın en önemli avantajı, öznelik düşürümü yaptığı için sonuçlandırma işleminde zamansal açıdan kazanç sağlamıştır [29]. DVM ile ilgili karmaşıklık matrisi Şekil 3’te ve ROC eğrisi Şekil 4’te yer almaktadır.

Tablo 2. TBA kullanılmadan sınıflandırıcı sonuçları.

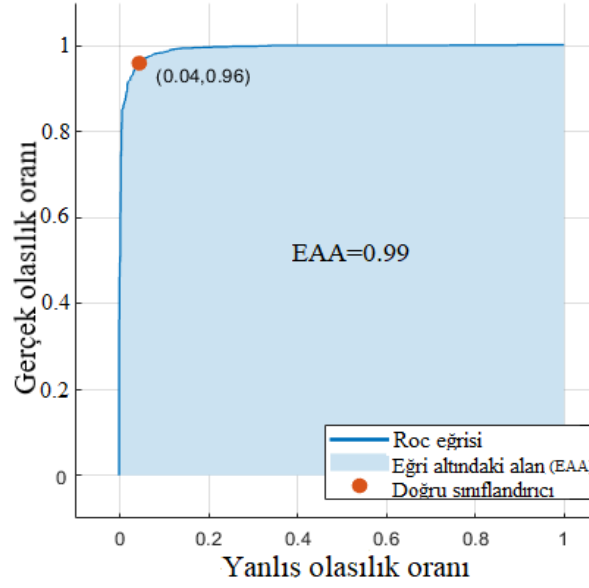
Sınıflandırıcı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgünlük (%)	Hassasiyet (%)	F1 Skor (%)
KA	92,80	91,74	93,91	94,06	92,89
DAA	73,50	96,28	65,72	48,96	64,91
LR	60,71	70,60	57,23	36,70	48,30
DVM	95,83	95,72	95,95	95,96	95,84
eYK	93,59	92,65	94,57	94,69	93,66
SOFTMAX	92,95	88,78	98,12	98,32	93,31

Tablo 3. TBA kullanılarak sınıflandırıcı sonuçları.

Sınıflandırıcı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgünlük (%)	Hassasiyet (%)	F1 Skor (%)
KA	92,61	91,66	93,60	93,75	92,69
DAA	72,80	94,79	65,30	48,26	63,96
LR	60,90	70,81	57,38	37,08	48,67
DVM	95,40	95,68	95,10	95,07	95,37
eYK	92,10	91,27	92,97	93,11	92,18
SOFTMAX	92,95	88,78	98,12	98,32	93,31



Şekil 3. DVM sınıflandırıcıya ait karmaşıklık matrisi.



Şekil 4. DVM sınıflandırıcıya ait ROC eğrisi.

Çalışmada kullanılan veri kümesi yakın zaman içerisinde erişime sunulduğu için, önerilen çalışmanın aynı veri seti kullanan diğer çalışma ile karşılaştırılması Tablo 4'te gösterilmiştir. Kendi çalışmamızda önerilen modelin başarı oranı diğer çalışmaya göre daha iyi sonuç verdiği Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Aynı veri kümesini kullanan çalışmaların sonuçları.

Yazar, Yıl	Sınıflandırıcı	Başarı(%)
Bai Cheng Shi,2018 [30]	CNN + R programlama	92,63
Önerilen Çalışma	CNN+ Quadratik DVM	95,8

4. Tartışma

Enfeksiyon hastalıklarının birinci sırasında yer alan zatürre, dünya genelinde çocuklarda en sık görülen hastalıklar arasında yer almaktadır [31,32]. Bu hastalığa yakalanmış hastalarda erken teşhis yapılmadığı sürece, neticesi ölümle sonuçlanabilmektedir. Hastalığın erken teşhisi, görüntü analiz sonuçlarının hızlı ve doğru sonuçlar vermesiyle eşdeğerdir.

Bu çalışmada, erişime açık görüntü kümelerini kullanarak, zatürre hastalığının tanısı için katkıda bulunuldu. Ayrıca, donanım özellikleri daha iyi bir bilgisayar ile veri kümesi derlenebilseydi, elde edilen sonuçlar daha yüksek sonuçlanabilecekti.

TBA yönteminin ESA modelinin içerisinde kullanılması, elde edilen performans sonuçlarına olumlu katkıda bulunamasa da, veri kümesinin fazla olduğu durumlar da verilerin sınıflandırma işleminin fazla zaman almasını önlediği tespit edildi.

5. Sonuç

Son zamanlarda biyomedikal alanda derin öğrenme modeliyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Derin öğrenmenin etkili sonuçlar verdiği yapılmış çalışmaların analiz sonuçlarında anlaşılmıştır. ESA modeli diğer alanlarda olduğu gibi biyomedikal alanda da etkili olduğu, bu makalede de gözlemlenmiştir. Burada ESA modelinin en önemli özelliği, görüntü işlemlerde daha hızlı, verimli ve en önemlisi otomatik olarak öznelikler çıkarıp ve bunu sonuçla yansıtmasıdır [29]. Bu modelin, göğüs röntgen görüntüleri üzerinde uygulanması; zatürre hastalığının erken teşhisi için önemlidir.

Bu makalede, AlexNet mimarisi kullanılarak bir özellik çıkarım kümesi elde edilmiştir. Elde edilen

özellikler, KA, DAA, LR, DVM, eYK ve softmax sınıflandırıcılar kullanılarak görüntü kümeleri arasında sınıflandırılma işlemi gerçekleştirilmiştir. TBA'nın kullanılmasının sonuçlar üzerindeki etkisi analiz edilmiş olup, zamandan kazanç sağladığı görülmüştür [33]. Kullanılan sınıflandırıcılar içerisinde en başarılı sınıflandırıcı %95,8 başarı oranıyla DVM sınıflandırıcı olmuştur.

Kaynaklar

- [1] P. P. P., "DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES – A SURVEY," vol. 5, no. 11, 2017.
- [2] J. Zhang, Y. Xia, Y. Xie, M. Fulham, and D. Feng, "Classification of Medical Images in the Biomedical Literature by Jointly Using Deep and Handcrafted Visual Features," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 2194, no. 2, pp. 1–10, 2017.
- [3] S. Koitka and C. M. Friedrich, "Traditional feature engineering and deep learning approaches at medical classification task of imageCLEF 2016," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1609, pp. 304–317, 2016.
- [4] D. Ravi, C. Wong, F. Deligianni, M. Berthelot, J. Andreu-Perez, B. Lo, and G. Z. Yang, "Deep Learning for Health Informatics," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 4–21, 2017.
- [5] M. Bakator and D. Radosav, "Deep Learning and Medical Diagnosis: A Review of Literature," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 2, no. 3, p. 47, 2018.
- [6] S. Akter, Shamsuzzaman, and F. Jahan, "Community Acquired Pneumonia," pp. 1–5, 2015.
- [7] McLuckie, A. (editor), *Respiratory disease and its management.*, New York, Springer, p. 51, ISBN 978-1-84882-094-4, 2009.
- [8] Osler, William (1901). *Principles and Practice of Medicine*, 4th Edition. New York: D. Appleton and Company. s. 108.
- [9] Jeffrey C. Pommerville (2010) . *Alcamo's Fundamentals of Microbiology* (9. bas.). Sudbury MA: Jones & Bartlett. s. 323. ISBN 0-7637-6258-X.
- [10] J. M. Qu and H. Summah, "Biomarkers: A definite plus in pneumonia," *Mediators Inflamm.*, vol. 2009, 2009.
- [11] D. Berliner, N. Schneider, T. Welte, and J. Bauersachs, "The differential diagnosis of dyspnoea," *Dtsch. Arztebl. Int.*, vol. 113, no. 49, pp. 834–844, 2016.
- [12] J. D. Howell and A. Arbor, "Early Clinical Use of the X-Ray," *Trans. Am. Clin. Climatol. Assoc.*, vol. 127, pp. 341–349, 2016.
- [13] V. Menger, F. Scheepers, and M. Spruit, "Comparing Deep Learning and Classical Machine Learning Approaches for Predicting Inpatient Violence Incidents from Clinical Text," *Appl. Sci.*, vol. 8, p. 981, 2018.
- [14] "Chest X-Ray Images (Pneumonia) | Kaggle ." [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney-chest-xray-pneumonia/data>. [Accessed: 25-Nov-2018].
- [15] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 1–9, 2012.
- [16] J. Koushik, "Understanding Convolutional Neural Networks," 2016.
- [17] J. Nagi and F. Ducatelle, "Max - pooling convolutional neural networks for vision-based hand gesture recognition," *2011 IEEE Int. Conf. Signal Image Process. Appl.*, pp. 342–347, 2011.
- [18] M. D. Zeiler and R. Fergus, " Visualizing and Understanding Convolutional Networks arXiv:1311.2901v3 [cs.CV] 28 Nov 2013," *Comput. Vision–ECCV 2014*, vol. 8689, pp. 818–833, 2014.
- [19] S. Gu, L. Ding, Y. Yang, and X. Chen, "A New Deep Learning Method Based on AlexNet Model and SSD Model for Tennis Ball Recognition," pp. 159–164, 2017.
- [20] S. Koitka and C. M. Friedrich, "Traditional feature engineering and deep learning approaches at medical classification task of imageCLEF 2016," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1609, pp. 304–317, 2016.
- [21] L. Rokach and O. Maimon, "Decision Trees," no. January, 2005.
- [22] A. Tharwat, T. Gaber, A. Ibrahim, and A. E. Hassanien, "Linear discriminant analysis: A detailed tutorial," no. July, 2017.
- [23] S. E. E. Profile, "Linear Regression Based Feature Selection for Microarray Data Classification," no. November, 2015.
- [24] A. Pradhan, "SUPPORT VECTOR MACHINE-A Survey," no. April, 2015.
- [25] S. Zhang, X. Li, M. Zong, X. Zhu, and R. Wang, "Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 29, no. 5, pp. 1774–1785, 2018.
- [26] R. Memisevic, G. Hinton, C. Zach, and M. Pollefeys, "Gated Softmax Classification," pp. 1–9.
- [27] Z. Cömert, A.F. Kocamaz, Comparison of Machine Learning Techniques for Fetal Heart Rate Classification, *Acta Phys. Pol. A*. 132 (2017) 451–454. doi:10.12693/APhysPolA.131.451.
- [28] D. M. W. Powers and Ailab, "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure To Roc, Informedness, Markedness & Correlation," vol. 2, no. 1, pp. 37–63, 2011.

- [29] Z. Cömert, A.F. Kocamaz, V. Subha, Prognostic model based on image-based time-frequency features and genetic algorithm for fetal hypoxia assessment, *Comput. Biol. Med.* (2018). doi:<https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.06.003>.
- [30] “Pneumonia – Diagnosis - using- XRays” [Online]. Available:<https://github.com/fr407041/Pneumonia-Diagnosis-using-XRays/> . [Accessed: 26-Nov-2018].
- [31] Er, O., Yumusak, N., Temurtas, F., “Diagnosis of chest diseases using artificial immune system”, *Expert Systems with Applications*, 39., 1862–1868, 2012.
- [32] Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Global Initiative For Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) Inc., 2015.
- [33] J. Shlens, “Shlens2006_PCATutorial,” *Measurement*, pp. 1–13, 2005.

Poly-N-Aminorodaninin Elektrokimyasal Sentezi Ve Karakterizasyonu

Ece Altunbaş Şahin^{1*}, Ali Döner², Gülfeza Kardeş³

¹ Mülki Koruma ve Güvenlik Bölümü, Genç MYO, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

² Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Şırnak Üniversitesi, Şırnak, Türkiye

³ Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

¹ealtunbassahin@gmail.com

(Geliş/Received: 11/07/2018;

Kabul/Accepted: 28/02/2019)

Özet: Bu çalışmada, Poly-N-aminorodanin (pNAR) platin elektrot yüzeyine dönüşümlü voltmetri tekniği kullanılarak sentezlenmiştir. pNAR'nin pembe renkli ve homojen yapıda olduğu tespit edilmiştir. pNAR'ın kimyasal yapısı ve oluşum mekanizması ¹³C-NMR, FT-Infrared spektrumları ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile belirlenmiştir. pNAR'ın termal özellikleri termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel termal analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. Polimer filmin termal dayanıklılığını yüksek olduğu bulunmuştur. Polimer filmin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM), ve atomik kuvvet mikroskopu (AFM) ile belirlenmiştir. Polimer KOH ve dimetil sülfoksit çözeltileri içerisinde çözünmektedir.

Anahtar kelimeler: Elektrokimyasal polimerizasyon, N-aminorhodanin, poly-N-aminorhodanin

Electrochemical Synthesis and Characterization of Poly-N-aminorhodanin

Abstract: Poly-N-aminorhodanin (pNAR) was synthesized on Pt electrode using cyclic voltammetry. The prepared pNAR film is purple color and homogeneous. The pNAR chemical structure was investigated by ¹³C-NMR, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The synthesis mechanism of pNAR is based on ¹³C-NMR and FTIR results. Further, thermogravimetric analysis (TGA), differential thermal analysis (DTA) and differential scanning calorimetry (DSC) techniques were used to investigate thermal properties of the film. It is found that thermal stability of pNAR films is relatively high. The surface morphology of the polymer film was examined by scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM). It is soluble in (aq) KOH and dimethyl sulfoxide (DMSO).

Key words: Electrochemical polymerization, N-aminorhodanin, poly-N-aminorhodanin

1. Giriş

Modern yaşamın önemli malzemelerinden biri olan polimerler, ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlıkları iyi maddeler olarak bilinirler. Bu özelliklerinden dolayı elektriksel yalıtkanlığın arandığı kabloların kılıflanması gibi alanlarda önemli kullanım yerleri bulmuşlardır. Kolay işlenmeleri, esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri ve kimyasal açıdan inert olmaları diğer bazı üstün özellikleridir [1-8]. Bu materyallerin kontrollü olarak sentezlenmeleri ve belli bir oksidasyon basamağına getirilmeleri elektrokimyasal tekniklerle kolayca sağlanabilmektedir. Elektrokimyasal olarak aktif ve elektronik iletkenliğe sahip polimerik sistemlerin hazırlanması, karakterizasyonu ve uygulamaları elektrokimyada en çok çalışılan konulardır. Bu yoğun ilgi için en az iki temel nedenden söz edebiliriz. Birincisi, bu sistemlerin davranışları üzerine odaklanan bilim adamlarının, iletken polimerik materyallerin redoks reaksiyonları sırasında meydana gelen yük taşınmasının ve yük transfer mekanizmasını anlamaya yönelik merakları, ikincisi ise, enerji depolama, elektrokataliz, organik elektrokimya, biyoelektrokimya, fotoelektrokimya, elektroanaliz, sensörler, mikro sistem teknolojileri, mikrodalga görüntüleme teknikleri ve korozyon önlenmesi gibi alanlarda çok geniş uygulama potansiyelini fark edilmiş olmasıdır. Elektronik göstergeler, elektrokimyasal depolama sistemleri, biyosensörler, enerji dönüşümleri, ara bağlantı teknolojisi gibi kullanım alanları vardır. Polimerler, tiofen, pirol, anilin, indol gibi birtakım heterosiklik ve aromatik bileşiklerden kimyasal ve elektrokimyasal olarak sentezlenebilirler [9-14]. Polimerin özelliklerinin kontrolü ve daha basit olmasından dolayı elektrokimyasal sentez tercih edilir. Yapılan çalışmalarda elektro polimerizasyon mekanizmasının karmaşık olduğu ve polimerin davranışlarının elektro polimerizasyon sürecinin (potansiyel, akım yoğunluğu ve sıcaklık) ve ayrıca elektrolit bileşiminin durumuna bağlı olduğu belirlenmiştir [15-18]. Rodanin ve türevleri heterosiklik tiazol halkasına sahiptirler [19]. Tiyoazolinlerin, yapılarında bulunan N-C-S-den dolayı yüksek aktiviteye sahip olmaları neden ile farmakolojik açıdan da önemlidirler. Elektron-acceptör rodanin ve türevleri, antikonvulsan [20], antibakteriyel [21], antidiyabetik [22], antiviral [23], antimikrobiyal [24-25], antihistaminik [26] hepatit C virüsünün (HCV)

inhibisyonu [27-28], fosfat-1 (JSP-1) [29] ve anti-korozif ajanı olarak kullanılırlar [30]. Bu nedenle, bu bileşiklerin ve onun polimerinin sentezi, büyük önem arz etmektedir.

Sentezlenen renkli iletken polimer filmler dekoratif amaçlı olarak kullanılabilirler. Bununla birlikte literatürde birçok iletken polimerlerin anti-korozyon etkisinin de çalışıldığı belirlenmiştir. [17 - 18]. Özellikle rhodanın türevi iletken polimerlerin bakır metali ile sıkı ve koruyucu filmler oluşturmaktadırlar [18]. Bu etkileşim onların korozyonun hızını kesmede kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, elektro-kimyasal olarak poli-N-aminorodanini (pNAR) sentezleyerek, karakterize etmek ve sentezlenmiş polimer filmin elektrokimyasal ve termal özelliklerini incelemektir.

2.2. Materyal ve Metod

2.1. Elektrokimyasal sentez

Tüm kimyasallar Merck firmasından temin edilmiştir. Kimyasallara ekstra bir saflaştırma yöntemi uygulanmamıştır. Çözeltiler saf su ile hazırlanmış, tüm deneyler oda sıcaklığında, atmosfere açık koşullarda ve CHI 604 D Elektrokimyasal Interface (RO633) kullanılarak yapılmıştır. Platin levha (2 cm² yüzey alanlı) ve Ag/AgCl elektrotlar sırası ile karşı ve referans elektrot olarak kullanılmıştır. Platin levha elektrot yüzeyinde N-aminorhodaninin (NAR) polimerizasyonu 0,3 – 1,30 V potansiyel aralığında 0,05 V s⁻¹ tarama hızında ve 0,01 M monomer içeren 0,3 M oksalik asit çözeltisinde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Polimer filmin karakterizasyonu

IR spektrumları Pelkin-Elmer RX I FTIR spektrofotometresi (seri no:55148) kullanılarak 500 – 4000 cm⁻¹ frekans aralığında KBr pellet kullanılarak elde edilmiştir. Termal analiz verileri, 20-780 °C sıcaklık aralığında, 10 °C dk⁻¹ ısıtma hızında Pyris Diamond TG / diferansiyel termal analiz (DTA) Perkin Elmer termal analizi ve Pyris 7.0 veri işleme sistemi kullanılarak nitrojen atmosferi altında elde edilmiştir. Polimerin diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) termogramı, azot atmosferi altında, 10 °C dk⁻¹ ısıtma hızında 20-450 °C aralığında incelenmiştir. Dönüşümlü voltametri tekniği ile Pt levha yüzeyinde sentezlenen filmler, yüzeyden sıyrılarak biriktirilmiş ve karakterizasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

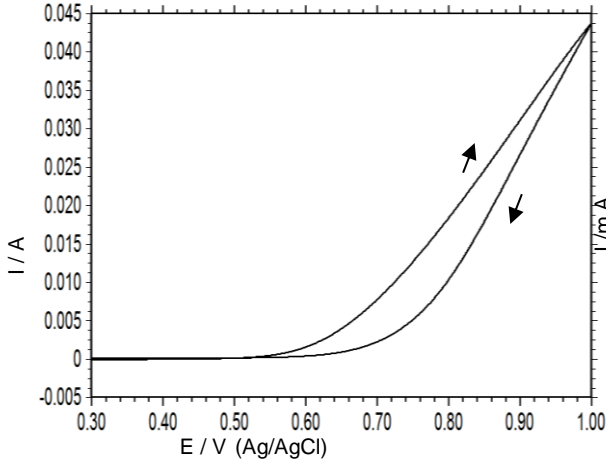
Yüzeylerin element kompozisyonu EDX (Oxford Ling-İsıs) ile analiz edilmiş, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri yüksek vakumda Carl Zeiss Evo 40 SEM cihazı ile alınmış ve 20 kV EHT, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri alınmıştır. Temassız mod kullanılarak Park SYSTEM ile ve C-NMR spektrumu Bruker 400 MHz ile alınmıştır.

pNAR'ın çözünürlüğü, dimetil sülfoksit (DMSO), aseton (Ac), asetonitril (ACN) ve asidik (H₂SO₄) ve bazik (KOH) çözeltilerde test edilmiştir.

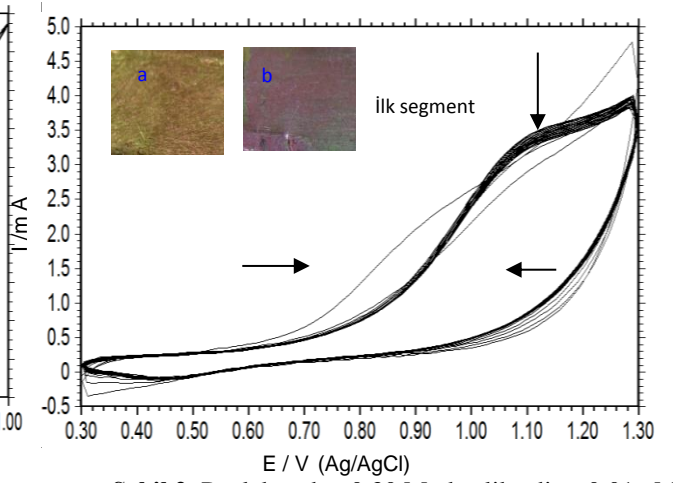
3. Sonuçlar

3.1. Elektrokimyasal sentez

Dönüşümlü voltametri, elektro-polimerizasyon sırasında elektron transferinin geri dönüşümünü ortaya koyan, oksidasyon ve redüksiyona bağlı polimer film elektro-aktivitesini gösteren bir tekniktir. Monomer içermeyen 0,3 M oksalik asit içerisinde platin elektrotun 50 mV s⁻¹ tarama hızında alınan dönüşümlü voltamogramı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi akım 0,3 -0,58 V aralığında sabittir. Oksijen gazı oluşumuna bağlı olarak 0,60 V'tan sonra akımda artış olmuştur. Polimerin elektrokimyasal sentezi 0,01 M monomer içeren 0,3 M oksalik asit çözeltisinde 50 mV s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2). Şekil 2'de açıkça görüldüğü gibi, ileri yönlü taramada ilk döngüde akım 0,30 – 0,55 V aralığında nispeten sabittir. Monomer oksidasyon piki 0,75 V da gözlenmektedir. Ters yönlü taramada



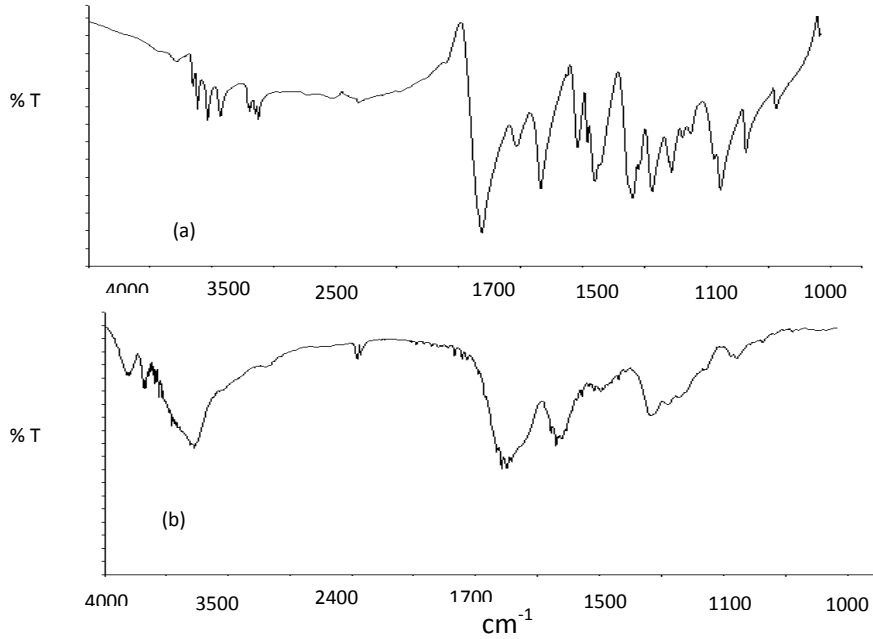
Şekil 1. Pt elektrodun 0,3 M okzalik asit Çözeltilisinde dönüşümlü voltamogram (tarama hızı 50 mV s^{-1}).



Şekil 2. Pt elektrodun 0,30 M okzalik adit + 0,01 M NAR çözeltilisinde dönüşümlü voltamogramları (tarama hızı 50 mV s^{-1}) ve Pt yüzeyindeki polimer filmin farklı sayıda CV ler alınması ile elde edilen fotoğrafları (Şekil 2 nin içerisinde a: 100 döngü, b: 200 döngü).

3.2.FT-Infrared spektrumları

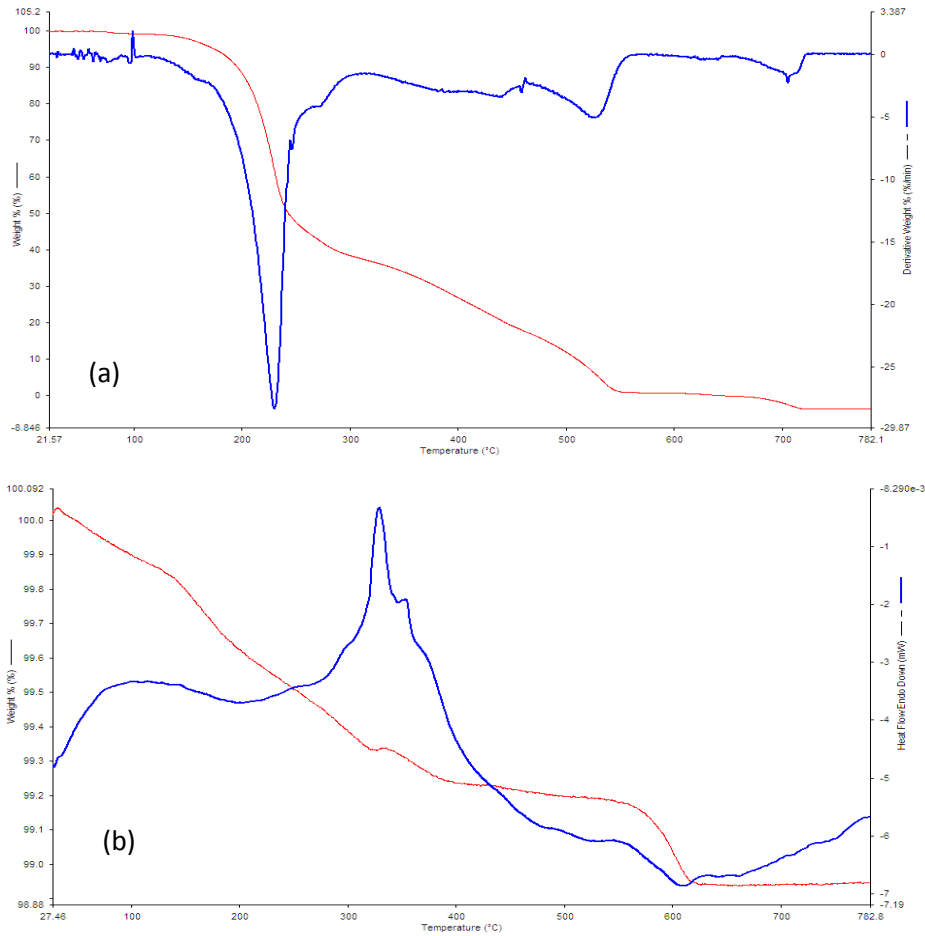
NAR monomeri ve 0,3 M amonyum oksalat + 0,01 M NAR çözeltilisinde, 50 mV s^{-1} tarama hızında 100 döngü ile sentezlenen pNAR'a ait IR spektrumu Şekil 3a ve 3b'de verilmektedir. $3000\text{-}2800 \text{ cm}^{-1}$ deki asimetrik titreşim bandı, monomer halkasındaki $-\text{CH}_2-$ grubunun titreşimlerini gösterir ve bu pikler alifatik C-H gerilimlerinden kaynaklanmaktadır. 1710 ve 1220 cm^{-1} 'deki pikler, C = O ve C = S gerdirme titreşimine bağlıdır, bu da polimerizasyon işlemi sırasında bu grupların değişmediğini göstermektedir. 3410 ve 3290 cm^{-1} 'deki pikler, monomerde alifatik N-H asimetrik ve simetrik $-\text{NH}_2$ grubunun gerilmesi ile ilişkilidir. 3300 cm^{-1} 'de gözlenen geniş bant N-H titreşimine aittir ve bu bant $-\text{NH}_2$ sinyallerini içerir. Bu da polimer oluşurken N-H köprüsünün varlığını göstermektedir.



Şekil 3. NAR (a) ve pNAR (b)'a ait FT-IR spektrumları.

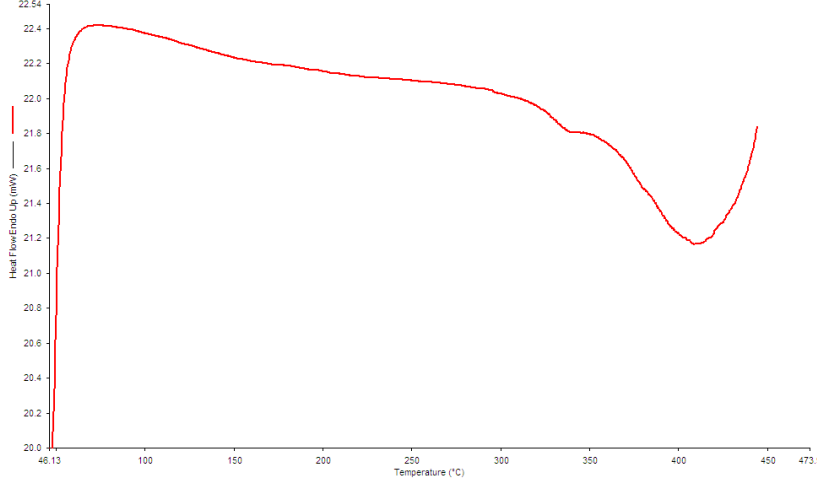
3.3. Termal Analiz

Bir polimerin termal analizi, uygulama sırasındaki performansını tanımlamak için çok önemlidir. İletken polimerler için [31 - 33], özellikle, oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda iletkenliğin bozulması, potansiyel uygulamasını belirleyen önemli bir faktördür. Termal analiz 21, 48 ile 782 ° C arasında azot akışı altında gerçekleştirilmiştir. Polimer, Pt yüzeyinden mekanik olarak uzaklaştırılan termal analiz sonuçları elde edilmiştir (Şekil 4a). Sonuçlarla ilişkilendirilen endotermik ve ekzotermik geçişlere karşılık gelen sıcaklık değerleri Şekil 4b. de görülmektedir. Polimerin varlığını kanıtlamak amacıyla saf NAR'ın TGA/DTA eğrileri de elde edilerek Şekil 4a da verilmiştir. Şekil 4a'dan görüldüğü gibi, monomer 230 °C'de maksimum ayrışma oranıyla bir adım ağırlık kaybı göstermiştir. pNAR'ın kütle kaybı ise iki adımda gerçekleşmiştir (Şekil 4b.). 120-220 ° C arasındaki ilk kütle kaybı, neme, dopantlara ve monomer ya da düşük molekül ağırlıklı polimer / oligomer gibi düşük kütle parçaları ile ilişkilendirilebilir. 37,0-550 ° C arasındaki ikinci kütle kaybı ise polimer zinciri bozunmasına bağlanabilir. Kütle kaybı 782,8 ° C'de yaklaşık % 97'ye ulaşır. Bu sonuçlar, pNAR'ın nispeten yüksek termal kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. NAR (a) and pNAR (b) nin TGA (kırmızı) / DTA (mavi) eğriler.

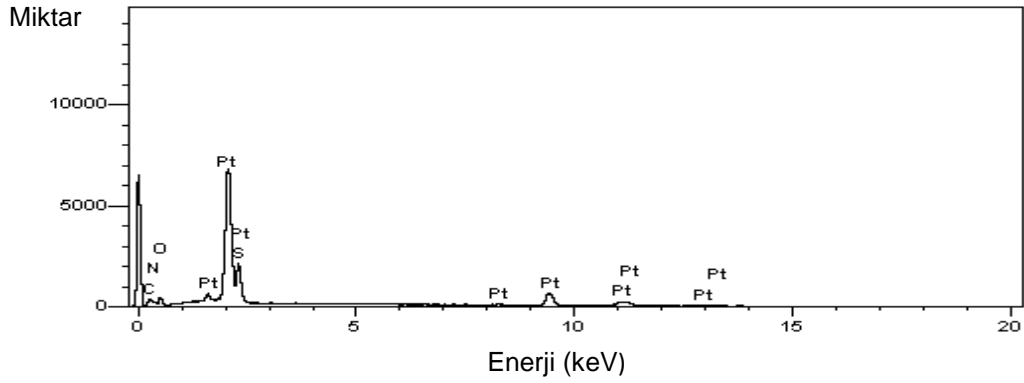
pNAR'ın termal davranışı, 10 ° C dk⁻¹ ısıtma hızında 46-460 ° C sıcaklık aralığında DSC ile incelenmiştir. pNAR'ın DSC termogramları 408 °C'de polimerin erimesine bağlı olarak endotermik pike sahiptir ve pNAR'ın camsı geçiş sıcaklığı 348 ° C olarak bulunmuştur [18] (Şekil 5).



Şekil 5. pNAR'ın DSC eğrisi.

3.4. Enerji dağılımlı X-ray spektroskopisi çalışmaları

Platin yüzeyine sentezlenen polimer film, mekanik olarak yüzeyden alınmış ve numunenin EDX spektrumu Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da verilen spektrum için bileşimler % 28,8 C,% 23,2 N,% 22,82 O,% 11,69 S ve% 13,82 Pt dir. C,N,S ve O nin yüzdesi Pt den daha fazladır. Bu sonuçlar, polimerin Pt yüzeyinde başarılı bir şekilde sentezlendiğini göstermektedir.

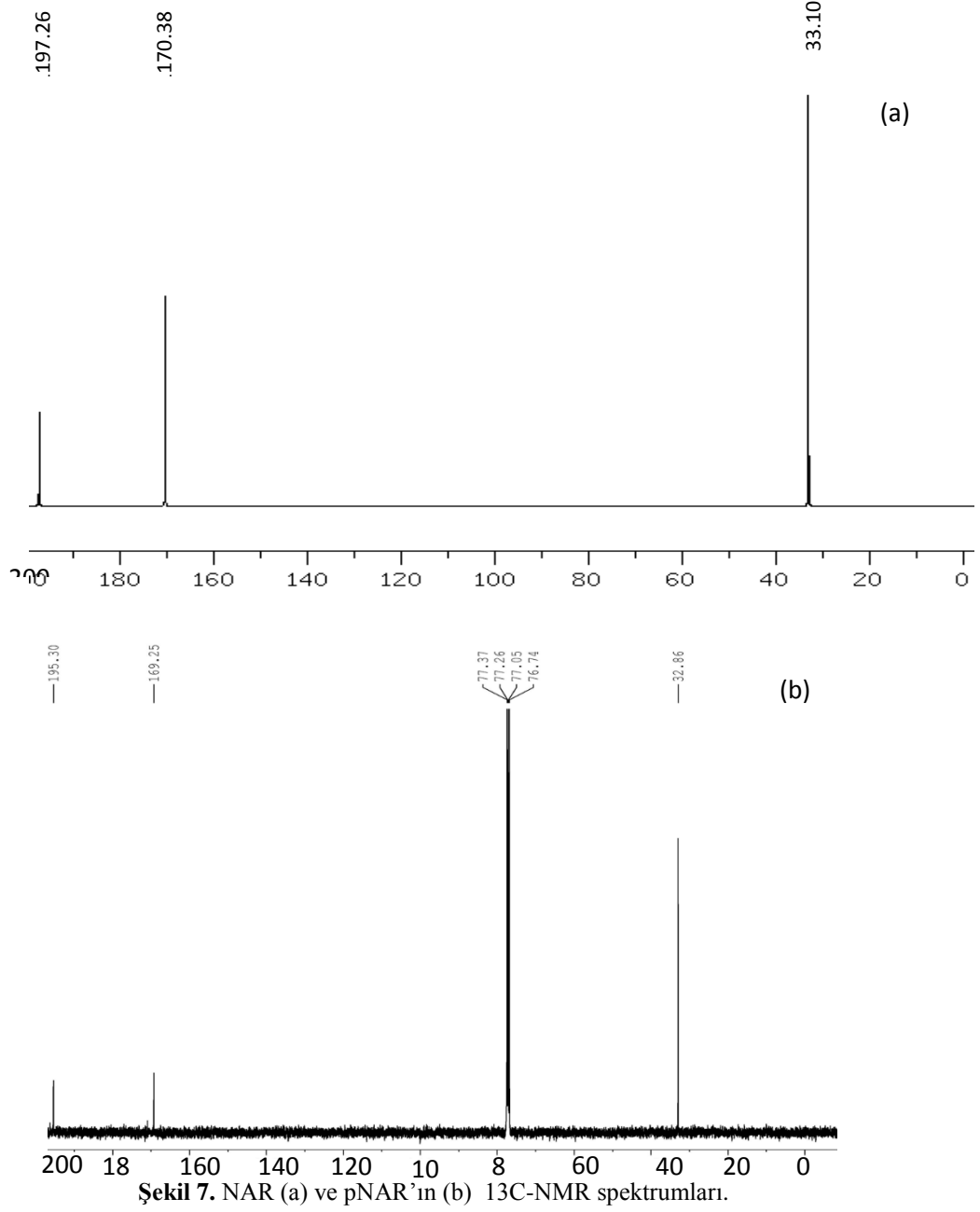


Şekil 6. pNAR'ın EDX sonuçları.

3.5. ¹³C NMR spektrumu

Şekil 7a ve b, sırasıyla NAR ve pNAR'nin ¹³C-NMR spektrumlarını göstermektedir. 32,86 ppm'deki tepe C-S (C1) ile ilişkilendirilebilir. 169,25 ve 195,30 ppm pik değerleri sırasıyla C = O (C2) ve C = S (C3) 'e karşılık gelmektedir [34].

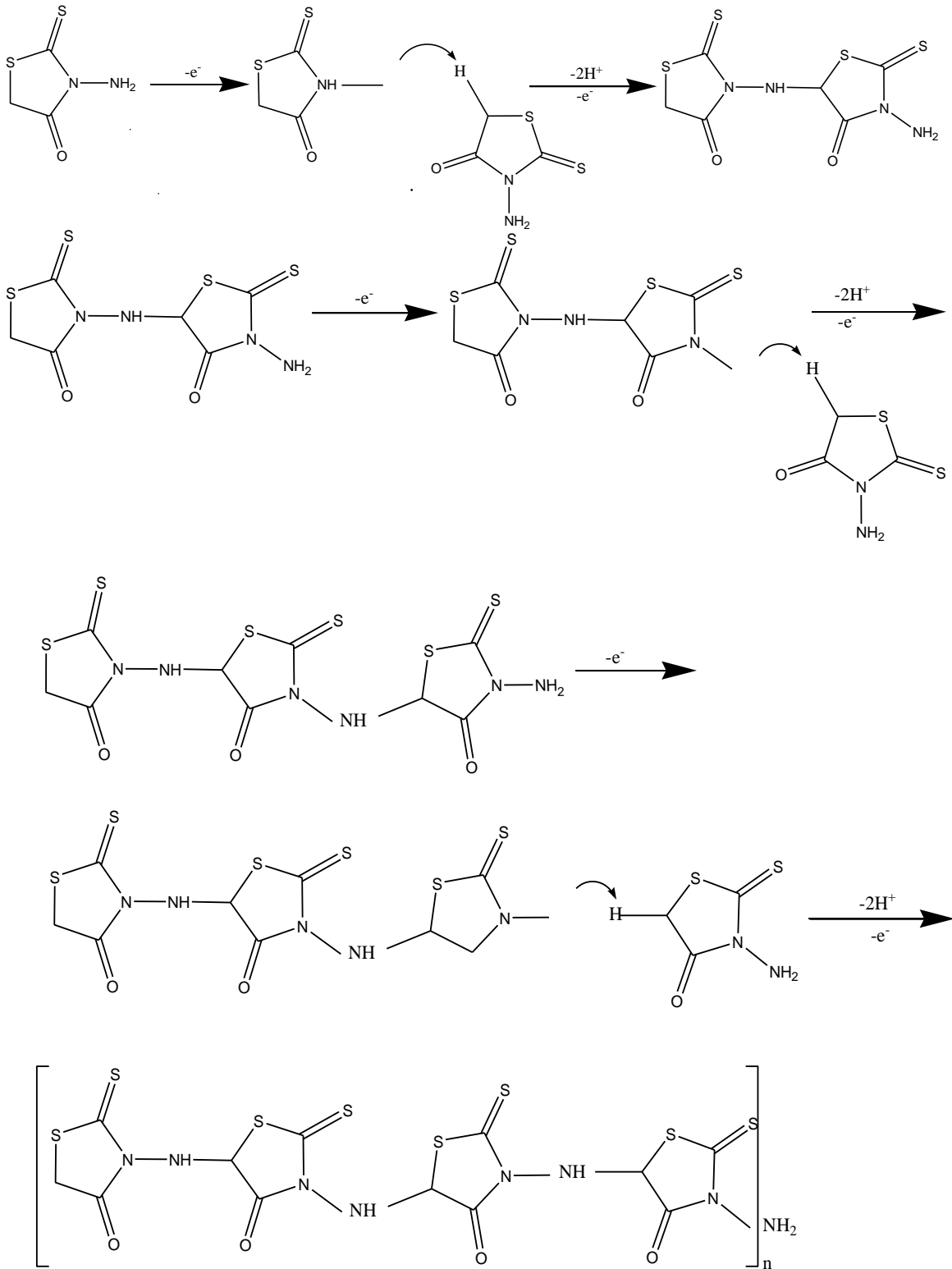
Polimer halkasındaki NH köprüsündeki C atomunun (C5) sinyali 77 ppm'de çoklu pik olarak gözlemlenmiştir. C5 deki değişim, NH köprüsü oluşturmak için C5 ve NH2 nin polimerizasyona katkı sağladığını göstermektedir



Şekil 7. NAR (a) ve pNAR'ın (b) ¹³C-NMR spektrumları.

3.6. Polimerizasyon mekanizması

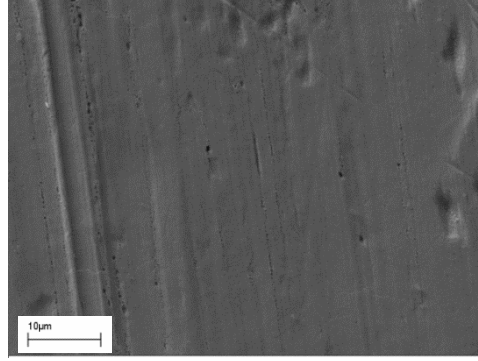
Şema 1 NAR'ın yükseltgenmiş ve indirgenmiş formlarını göstermektedir. Polimerleşme sırasında NAR molekülü dışarıya bir elektron vererek radikal katyonu oluşturur. Oluşan radikal katyonu diğer bir radikal ile birleşerek dimerleşir ve 2H⁺ iyonu oluşur. Oluşan dimer molekülü bir elektronu dışarı vererek tekrar bir radikal katyon oluşturur. Bu radikal katyon başka bir radikal katyon ile birleşir ve tepkime bu şekilde zincirleme olarak devam eder. Benzer polimerleşme mekanizması literatürde polyrhodanin (pRh) de görülmektedir [18].



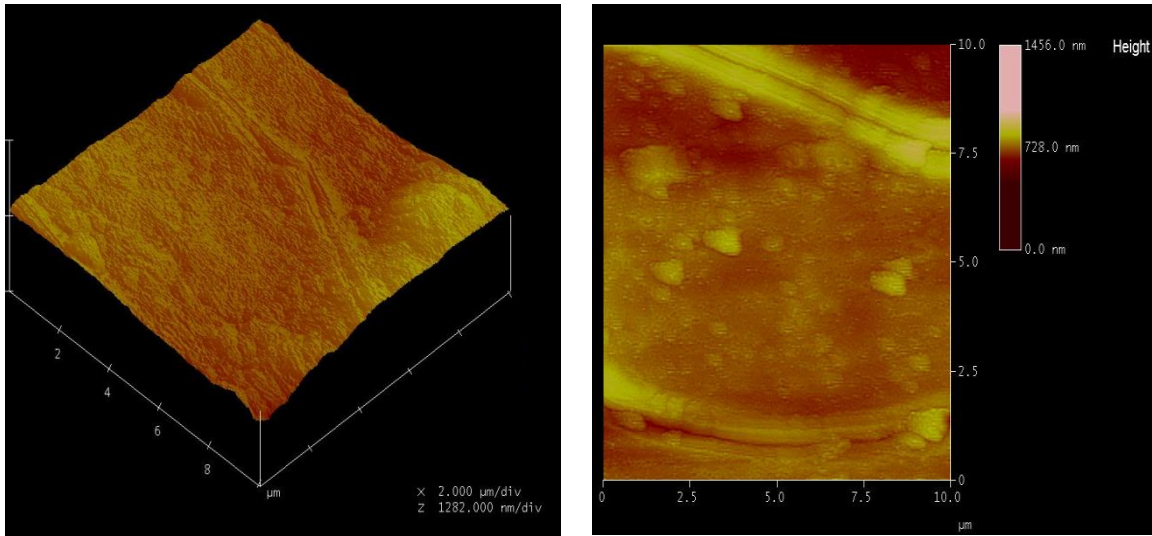
Şema 1 NAR'ın Polimerleşme Mekanizması.

3.7. Yüzey morfolojisi

SEM ve AFM teknikleri, polimer filmleri incelemek için güçlü bir araç oluşturabilir. Genellikle, bu materyallerin morfolojik çalışması, SEM ve AFM gibi olağan teknikler ile elde edildi. Bu amaçla pNAR filmi bir platin yüzeyi üzerinde sentezlendi (Şekil 8 ve 9). Şekil 8'den görüldüğü gibi, metal yüzeyler üzerinde oluşturulan polimer film sıkı ve homojen yapıdadır. Polimer filmin üç boyutlu ve iki boyutlu AFM görüntüleri, Şekil 9a ve b'de gösterildiği gibi küresel parçacıklara sahip homojen ve kompakt bir film yapısında olduğunu göstermiştir.



Şekil 8. Pt yüzeyine sentezlenmiş pNAR'ın SEM görüntüsü.



Şekil 9. Pt yüzeyinde sentezlenmiş pNAR'ın üç boyutlu (a) ve iki boyutlu (b) AFM görüntüleri.

3.8. Çözünürlük testleri

Polimerin çözünürlüğü, farklı çözücüler ve çözelti içinde test edilmiştir. Bu amaçla, bir platin elektrot yüzeyinde ($1 \times 1 \text{ cm}^2$), dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak toplam 200 döngü uygulanarak sentezlenmiştir. ve sulu KOH çözeltisi içinde ve dimetilsülfoksit çözünür olduğu bulunmuştur. Polimerin asetonda ve asetonitrilde kısmen çözündüğü, H_2SO_4 de çözünmediği tespit edilmiştir. Polimerin çözünmesi üzerine sarı renkli bir çözelti elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Pt elektrot yüzeyinde dönüşümlü voltametri tekniğinde yararlanılarak pNAR filmler sentezlenmiştir. Elde edilen polimerin, polimerleşme mekanizması belirlenmiş, kimyasal yapısı ise CV, FTIR,

TGA, DSC ve ¹³C-NMR teknikleriyle açıklanmıştır. Elde edilen polimer pembe renktir. Polimerin yüksek termal dayanıklılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca polimerin yüksek kaliteli ve elektrokimyasal olarak kararlı olduğu da tesbit edilmiştir. Elde edilen polimerin, Polimerleşme mekanizması aydınlatıldığında polimerizasyonun -NH₂ grubu ve -CH arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Termal analiz sonuçları, pNAR'ın nispeten termal dayanıklı olduğunu göstermektedir. Polimerin, aseton ve asetonitrilde kısmen, dimetilsülfoksit ve KOH çözeltilerin de ise tamamen çözündüğü, asidik çözeltilerde ise çözünmediği görülmüştür. Pt yüzeyine sentezlenen polimer filmin yüzey morfolojileri SEM ve AFM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM ve AFM teknikleri ile Pt yüzeyinde homojen bir film oluşturulduğu kanıtlanmıştır.

Teşekkür

Mali destek için Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkür ederiz (Proje No: FEF2011BAP12).

Kaynaklar

- [1] Shirakawa H. The discovery of polyacetylene film: The dawning of an era of conducting. *Polymers Chem. Int. Ed.* 2001; 40:2575-2580.
- [2] Hsiao S, Liou G, Kung Y, Lee Y. Synthesis and characterization of electrochromic poly(amide-imide)s based on the diimide-diacid from 4,4'-diamino-4"-methoxytriphenylamine and trimellitic anhydride. *Eur. Polym J.* 2010; 46:1355-1366.
- [3] Somboonsub B, Srisuwan S, Invernale MA, Praserttham SP, Scola DA, Sotzing GA. Comparison of the thermally stable conducting polymers PEDOT, PANi, and PPy using sulfonated poly(imide) templates. *Polymer* 2010;51:4472-4476.
- [4] David V, Vinas C, Teixidor F. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) doped with a non-extrudable metallacarborane anion electroactive during synthesis. *Polymer* 2006;47:4694-4702.
- [5] Arslan A, Türkaslan Ö, Tanyel C, Akhmedov IM, Toppare L. Electrochromic properties of a soluble conducting polymer: Poly(1-(4-fluorophenyl)-2,5-di(thiophen-2-yl)-1H-pyrrole. *Mater. Chem. Phys.* 2007;104:410-416.
- [6] Alvarez-Romero GA, Garfias-Garcia E, Ramirez-Silva MT, Galan-Vidal C, Romero-Romo M, Palomar-Pardave M. Electrochemical and AFM characterization of the electropolymerization of pyrrole over a graphite-epoxy resin solid composite electrode, in the presence of different anions. *Appl. Surf. Sci.* 2006; 252:5783-5792.
- [7] Jiang Y, Xu J, Yu J. Conducting polymeric nanoparticles synthesized in reverse micelles and their gas sensitivity based on quartz crystal microbalance. *Polymer* 2007;48:4459-4465.
- [8] Solmaz R. Electrochemical synthesis of poly-2-aminothiazole on mild steel and its corrosion inhibition performance. *Prog. Org. Coat.* 2011;70:122-126.
- [9] Diaz AF. Electrochemical preparation and characterization of conducting polymers. *Chem. Scr.*, 1981;17:145-148.
- [10] Tourillon G, Garnier F. New Electrochemically generated organic conducting polymers. *J. Electroanal. Chem.*,1982;135:173-178.
- [11] Pringlea JM, Efthimiadisb J, Howletta PC, MacFarlanea DR, Chaplinc AB, Halle SB, Officerc L, Wallaced GG, Forsyth M. Electrochemical synthesis of polypyrrole in ionic liquids. *Polymer* 2004;45:1447-1453.
- [12] Tüken T, Özyılmaz AT, Yazıcı B, Erbil M. Electrochemical synthesis of polyaniline on mild steel in acetonitrile-LiClO₄ and corrosion performance. *Appl. Surf. Sci.* 2004;236:292-305.
- [13] Lakard B, Herlem G, Fahys B. Electrochemical polymerization of 1,2-ethanedithiol as a new way to synthesize polyethylenedisulfide. *Polymer* 2008;49:1743-1747.
- [14] Inzelt G. *Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry*, Springer, Berlin, 1987 (Chapter4).
- [15] Malinauskas A. Electrocatalysis at conducting polymers. *Synth. Met* 1999;107:75-83.
- [16] Inzelt G, Pineri M, Schultze JW, Vorotyntsev MA. Electron and proton conducting polymers: recent developments and prospects. *Electrochim. Acta* 2000;45:2403-2421.
- [17] Solmaz R, Kardaş G. Electrochemical synthesis and characterization of poly-2-aminothiazole. *Prog. Org. Coat.* 2009;64:81-88.
- [18] Kardaş G, Solmaz R. Electrochemical synthesis and characterization of a new conducting polymer: Polyrhodanine. *Appl. Surf. Sci.* 2007;253:3402-3407.
- [19] Cutshall NS, Oday C, Prezhdo M. Rhodanine derivatives as inhibitors of JSP-1 Bioorg. *Med. Chem. Lett.* 2005;15:3374-3379.
- [20] Mishra S, Srivastava SK, Srivastava SD. Synthesis of 5-arylidene-2-aryl-3-(phenothiazino/benzotriazolacetamidyl)-1,3-thiazolidine-4-ones as antiinflammatory, anticonvulsant, analgesic and antimicrobial agents. *Indian J. Chem. Sect. B* 1997;36:826-830.
- [21] Foye WO, Tovivich P. N-Glucopyranosyl-5-aralkylidenerhodanines: Synthesis and antibacterial and antiviral activities. *J. Pharm. Sci.* 1977;66:1607-1611.
- [22] Momose Y, Meguro K, Ikeda H, Hatanaka C, Oi S, Sohda T. Studies On Antidiabetic Agents .10. Synthesis And Biological-Activities Of Pioglitazone And Related-Compounds. *Chem. Pharm. Bull.* 1991; 39:1440-1445.

- [23] Sudo K, Matsumoto Y, Matsushima M, Fujiwara M, Konno K, Shimotohno K, Shigeta S, Yokota T. Novel Hepatitis C Virus Protease Inhibitors: Thiazolidine Derivatives. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1997;238:643-647.
- [24] Habib NS, Rida SM, Badawey EAM, Fahmy HTY, Ghozlan HA. Synthesis and antimicrobial activity of rhodanine derivatives. *Eur. J. Med. Chem.* 1997;32:759-762.
- [25] Chandrakant GB, Gaikwad NJ. Synthesis and preliminary evaluation of some pyrazine containing thiazolines and thiazolidinones as antimicrobial agents. *Bioorgan. Med. Chem.* 2004;12:2151-2161.
- [26] Vittoria DM, Mazzoni O, Piscopo E, Caligmano A, Bolognese A. Synthesis and antihistaminic activity of some thiazolidin-4-ones. *J. Med. Chem.* 1992;35:2910-2912.
- [27] Sing W, Lee T, Yeo SL, Lim S, Sim P. Arylalkylidene rhodanine with bulky and hydrophobic functional group as selective HCV NS3 protease inhibitor. *Bioorgan. Med. Chem. Lett.* 2001;11:91-93.
- [28] Cutshall NS, O'Day C. Rhodanine derivatives as inhibitors of JSP-1. *M. Bioorgan Med. Chem. Lett.* 2005;15:3374-3379.
- [29] Altunbas E, Solmaz R, Kardas G. Corrosion behaviour of polyrhodanine coated copper electrode in 0.1 M H₂SO₄ solution. *Mater. Chem. Phys.* 2010;121:354-358.
- [30] Jabeen S, Rex A, Palmer BS, Potter M, Trevor JD, Babur ZC. Low Temperature Crystal Structures of Two Rhodanine Derivatives, 3-Amino Rhodanine and 3-Methyl Rhodanine: Geometry of the Rhodanine Ring. *J Chem Crystallogr* 2009;39:151-156.
- [31] Wessling B, Skotheim TA, Elsenbaumer RL, Reynolds JR. Editors, *Handbook of conducting polymers*, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1998;p. 467.
- [32] Menon R, Yoon CO, Moses D, Heeger AJ. In: Skotheim TA, Elsenbaumer RL, Reynolds JR, editors. *Handbook of conducting polymers*, 2nd ed.. New York: Marcel Dekker, 1998;p. 27.
- [33] Yuehong P, He X, Xiaoyu L, Hongliu D, Yuxiao C, Guoyue S. Electrochemical synthesis, characterization, and electrochromic properties of poly(3-chlorothiophene) and its copolymer with 3-methylthiophene in a room temperature ionic liquid. *Electrochem. Commun.* 2006;8:1757-1763.
- [34] Casas J, Castellano E, Macias A, Playa N, Sanchez A, Sordo J, Varela J, Lopez E. Methyl- and phenylmercury(II) complexes of 5-(4'-dimethylaminobenzylidene)rhodanine (HDABRd) and 5-(2'-thiophenemethylene)rhodanine (HTRd). The crystal and molecular structure of [HgPh(DABRd)] and [HgMe(TRd)]. *Polyhedron* 2001;20:1845-1850

Susam Zarı Soyma Makinesinin Tasarımı

Zülküf DEMİR^{1*}

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye
*¹ zulkuff75@gmail.com, zulkuf.demir@batman.edu.tr

(Geliş/Received: 28/10/2018;

Kabul/Accepted: 28/02/2019)

Özet: Susam bünyesinde yağ, karbonhidrat, protein, Ca, Fe, Mn, Zn, Mg, Cu ve Se gibi mineralleri bulunduran, besleyici özelliği yüksek olan, ancak oksalik asit, fitik asidi ve selüloz gibi insan sağlığına zararlı etken maddelerini de içeren yağlı bir tohumdur. Susam danesi, yağının çıkarılması ve tahin yapımı gibi amaçlarla deformasyona uğratıldığı durumda, içerdiği mineraller zarının bünyesindeki asit ve selüloz ile kimyasal reaksiyona girerek birçok hastalığın oluşumuna neden yapılarak oluşturmaktadır. Susam kabuğundaki asitler ve selülozun bu zararlarından dolayı tüketilmeden önce soyulması bir zorunluluktur. Uygulanmakta olan susam zarı soyma yöntemlerinde susam danelerini nemlendirme karıştırıcı ile nemlenerek şişmiş zarları parçalamak, tuzlu suda bekletme, yıkama ve en son aşamada ise fırında kavularak tüketime hazır hale gelmektedir. Mevcut durumda bir ton susamın zarını soymak için 20 ton su ve 3 ton tuz kullanılmaktadır. Ayrıca işlem 24 saatte 9 çalışan ile yapılabilmektedir. Tasarlanan ve SANTEZ projesi kapsamında imalatı gerçekleştirilen makine de ise tuz kullanımı tamamen elimine edilmiş, susam miktarının yaklaşık olarak 2 katı kadar su tüketilmiş ve işlem sadece 3 saatte sadece bir çalışan ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Susam, Susam zarı, Susam zarını soyma, Susam zarını soyma makinesi, Susam kabuğunu soyma makinesi

Designing and Manufacturing of Sesame Peeling Machine

Abstract: Sesame is an oily seed that contains carbohydrates, proteins, minerals, such as Ca, Fe, Mn, Zn, Mg, Cu, and Se, having high nutritional features, but which also contains the harmful effective materials on human health such as oxalic acid, phytic acid and cellulose. When the sesame seeds expose to deformation processes in order to subtract its oil and making tahini, containing minerals make chemical reactions with acids and cellulose, thus chemical structures, cause to consist of many diseases, come into existence. Due to acids and cellulose in sesame shell, before consuming the peeling of the sesame seeds are obligatory. In the presence sesame membrane peeling methods that are applied, after moistening the sesame grains, it is moistened and then mixer to shatter the swollen membranes, keep waiting in salty water, washing and in the last stage, it is ready for consumption after roasting in the oven. In the current situation, 20 tons of water and 3 tons of salt are used to strip a ton of sesame. Furthermore, the processes can realize with 9 employees in 24 hours. With the designed and manufactured machine under favour of the SANTEZ project, the using of the salt was completely eliminating, consuming of the water was approximately 2 times the amount of sesame and only one employee carried out the process n only 3 hours.

Key words: Sesame, Sesame membrane, Sesame membrane peeling, Sesame membrane peeling machine, Sesame shell peeling machine

1. Giriş

Susam, yağ ve su çözeltisi biçiminde içerdiği yüksek orandaki antioksidanlar yardımıyla vücudun direncini artırır ve oksitlenme zararlarını karşı koruma sağlayan, besleyici özelliği yüksek olan yağlı bir tohumdur [1]. Ayrıca, bünyesindeki protein susamın besleyici özelliğini önemli oranda artırmaktadır [2]. Susam daneleri besin gıdası olarak değişik biçimlerde gıda endüstrisinin değişik alanlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle zarları soyulmuş susam daneleri hamur ve şekerleme gıdalarının üretim alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [3]. Susam, bünyesinde, besleyici özelliği yüksek olan, yağ, karbonhidrat, protein içermesine rağmen zarında bulunan oksalik asit, fitik asidi ve selüloz, susamın içerdiği Ca, Fe, Mn, Zn, Mg, Cu ve Se gibi mineraller ile kimyasal reaksiyona girerek insan sağlığına zararlı yapılar oluşturur [4-6]. İnsan sağlığını olumsuz etkileyen bu kimyasal etkilerden dolayı gıda imalat sektörlerinde susam tüketilmeden önce soyulması bir zorunluluktur. Soyma işlemi NaClO ve H₂O₂ çözeltilerine tabi tutularak mekanik karıştırıcılar yardımıyla yapıldığında soyulmuş danelerin oranı kriterine göre işlemin verimliliği artırılabilir [7].

* Sorumlu yazar: fenbilimleri@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: 10000-0002-0685-3712

Susam danelerinin zarları soyulmadan önce 6-10 saat suda bekletildikten sonra soyma işlemine tabi tutulurlar [8]. Susamın nemlendirme süresini azaltmak amacıyla 60oC sıcaklıkta NaOH ve Na₂CO₃ tuzlu su çözeltilerinin içerisinde bekletilerek sıcaklığa ve tuzların içeriğine bağlı olarak 40 dakikaya kadar azaltılabilir [9].

Susam danesinin üzerindeki zar miktarı yaklaşık olarak danenin %15-29'unu oluşturur [9]. Nemlendirilmiş susam daneleri silindirik bir kabın içerisinde kürek şeklindeki kanatlar ile karıştırılarak yaklaşık olarak 200kg/h susamın zarı soyulmuştur. Karıştırıcı kürek ile karıştırma işlemi 80 dev/dak dönme hızı ile gerçekleştirerek, susam daneleri ile karıştırıcı kürek çubuklar arasında meydana gelen sürtünme etkisiyle, zarlar daneden ayrıştırılabilir [10, 11]. Susam zarının soyulmasında kullanılan başka bir yöntemde daneler 812 saat suda bekletildikten sonra nemlenerek şişmiş susam zarlarının dane ile bağlantıları tuzlu su çözeltisinde bekletilerek yapılmıştır [12, 13]. Tuzlu su çözeltisinde zarları şişmiş, gevşemiş ve daneden ayrılmış yağlı daneler yoğunluğu daha yüksek olan çözeltinin içerisine aktarılmıştır. Çözeltinin içerisindeki tuzu emerek yoğunluğu artmış zarlar suyun dibine çökerken yoğunluğu daha az olan daneler ise suyun üzerinde kalmıştır. Suyun üzerinde kalan ve zarları soyulmuş daneler yıkama işlemine tabi tutulmuş ve tuzdan arındırılmıştır. Yıkama işleminden sonra daneler yaklaşık olarak 120oC sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutulmuştur [14]. Başka bir yöntemde ise motorun tahriki ile kendi eksenini etrafında dönebilen bir karıştırıcı ile susam daneleri elekli bir kazanın içerisinde eş zamanlı olarak nemlendirme ve karıştırma işlemlerine tabi tutularak zarları soyulmuştur. Suyun içerisinde bekletilen danelerin zarları şişmiş ve dane ile olan bağı gevşemiştir. Yumuşamış ve dane ile olan bağı gevşemiş zarlar dönme hareketinin etkisiyle daneden kısmen ayrılmıştır. Kazanın alt kısmında açılmış eğimli bir boşaltma ağzından daneler boşaltılarak yoğunluğu daha yüksek olan tuzlu su çözeltisine aktarılmıştır. Bu çözeltinin içerisindeki tuzu emerek ağırlığı artan zarlar suyun dibine çökerken, zarlarda arınmış danelerin yoğunluğu daha az olduğundan suyun üzerinde kalmıştır. Suyun üzerindeki daneler alınarak başka bir ortamda yıkanmış ve ardından da kavurma fırınlarında kurutulmuştur [15]. Susam zarını soyma işleminde kullanılan farklı bir yöntemde ise susam daneleri %14-18 tuzlu su çözeltisinde 2 saat bekletildikten sonra makinede karıştırılarak zarları daneden ayrılmıştır. Susam zarları polifenol bileşiklerini içermektedir. Susam zarının soyulması ve ardından danelerin kavrulması ile sağlığa zararlı olan bu bileşikler susam danesinden büyük oranda uzaklaştırılmış olur [16].

Susamın soyulmuş zarları hayvan yemi olarak besicilik sektörlerinde de kullanılabilir hale getirilebilir. Bu amaçla susamda besi değeri olan yapılar 60oC-650C sıcaklıklarda iyonların ve asit kompozisyonlarının oksitleme yöntemiyle susam zarından ayrıştırılmasıyla yapılabilir [17].

Bu çalışmamızın amacı, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının desteklediği 0905. STZ.2015 numaralı “Teknolojik Susam Zarını Soyma Makinesi Tasarımı (SUSOYMAK)” başlıklı Santez projesi kapsamında tasarlanan ve imalatı yapılan makinemiz ile susam zarının soyulmasında tuz gereksinimi tamamen elimine etmektir. Tüketilen su miktarı ise yaklaşık olarak zarı soyulacak susam miktarının iki katı olmuştur. Böylece tüketilen su miktarı çok önemli bir miktarda (yaklaşık olarak %1000 oranında, geleneksel işlemde bir ton susam için 20 ton su tüketilirken bu makine ile yapılan işlemde ise sadece iki ton su yeterli olmuştur) azaltılacaktır. Ayrıca, mevcut olan soyma işlemlerinde bir ton susam için yaklaşık olarak 3 ton tuz kullanımı tamamen ortadan kaldırılmış ve tuzun çevreye vereceği kirlilik ve toprağın çoraklaşmasına olan etkisi de önlenmiş olacaktır. Çalışma süresi ve çalışan sayısı büyük oranda azaltılmış olacaktır.

2. Materyal ve Metot

Şekil 1 a' da görüldüğü gibi tasarlandıktan sonra imal edilen makineye, 3 saat suda nemlendirme işlemine tabi tutulduktan sonra, konulan susam daneleri 50 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi ile eşzamanlı olarak vakumlama sistemi de çalıştırılarak, susam danesinden ayrılmış kabuklar elek delikli kazandan dışarıya vakumlanmıştır. Susam danelerinin içine konulduğu ve elek delikli kazan ve susam danelerinin karıştırma işlemi yapan karıştırıcı çubuklar Şekil 1 b'de gösterilmiştir. Makinenin vakumlama sistemi, Elektrik Panosu ve Otomasyon sistemi ise Şekil 1 c'de gösterilmiştir.

Makinede elek delikli kazan bir adet zincir dişli yardımıyla bağımsız bir motor tarafından tahrik edilmektedir. Bu kazan isteğe bağlı olarak hem saat ibresi yönünde hem de saat ibresinin tersi doğrultusunda dönebilecek şekilde tasarlandı ve imalatı yapıldı. Karıştırıcı çubuklar, elek delikli kazanın ortasından geçen, üzerinde karıştırıcı çubuklar bulunan, makinenin ana mili ise bağımsız başka bir motor tarafından tahrik edilecek şekilde tasarlandı ve imal edildi. Karıştırma işlemi sırasında, susam danesi ile karıştırıcı çubuklar arasındaki sürtünme ve çarpma etkisini artırmak amacıyla karıştırıcı çubukları taşıyan ana mil de elek delikli kazanda olduğu gibi hem saat ibresi hem de tersi doğrultularda dönebilecek şekilde tasarlandı ve imal edildi. Böylece,

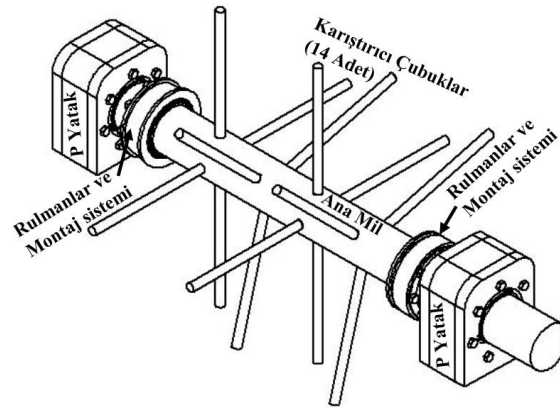
içerisine nemlendirilmiş susam daneleri konulan elek delikli kazan ve karıştırıcı çubukları taşıyan ana mil hem eş yönlü hem de zıt yönde dönebilecek şekilde tasarlandı ve imal edildi.



Şekil 1. Susam zarı soyma makinesi a) Makinenin kapalı-çalışır konumu, b) Makinenin karıştırıcı çubukları ve elek delikli iç kazanı, c) Makinenin dış kapağı açılmış konumu ve elektrik panosu ve otomasyon sistemi.

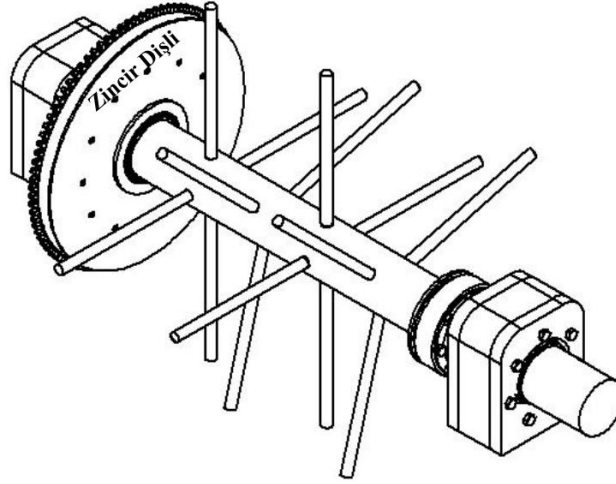
3. Makine Tasarımı

Makinenin ana mili Şekil 2’de görüldüğü gibi iki P yatağı arasında sabitlenmiş ve bağımsız bir motor tarafından, hem saat ibresi hem de saat ibresinin tersi yönlere, tahrik edilebilmektedir. Karıştırıcı çubuklar (14 adet) sökülebilir bir şekilde milin üzerine sabitlenmiştir. Milin üzerine monte edilmiş rulmanlar ve rulman sistemleri, ana milin üzerine, Şekil 3 ve 4’te görüldüğü zincir dişli ve elek delikli iç kazanın kapaklarının montajı yapılmıştır.



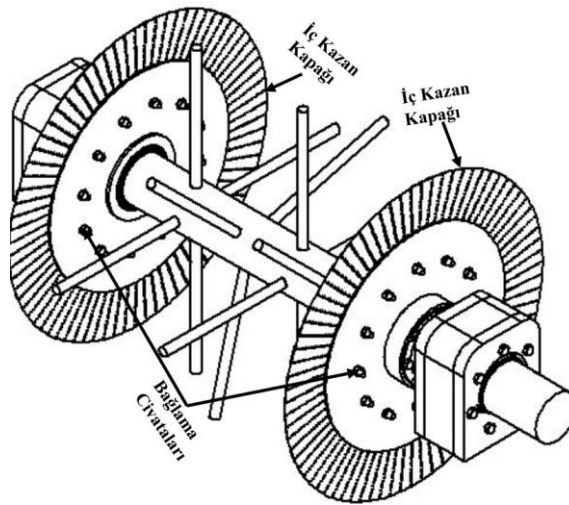
Şekil 2. Ana mil, karıştırıcı çubuklar, ana mil, P yataklar ve rulman sistemi.

Ana mil ve ana milin üzerine milin üzerine monte edilmiş karıştırıcı çubuklar (14 adet) ile elek delikli kazanın hem saat ibresi hem de saat ibresinin tersi yönlerde dönebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla, elek delikli iç kazanın ana milden bağımsız bir şekilde dairesel hareketi Şekil 3'te görüldüğü gibi bir zincir dişli ve milin her iki tarafına monte edilmiş rulman sistemleri yardımıyla sağlanmıştır. Zincir dişliye bağlı olan elek delikli iç kazan iki farklı rulman sisteminin yardımıyla, ana mile bağlı olmayan, bağımsız bir motor tarafından tahrik edilmiştir. Böylece ana milin üzerine sökülebilir bir şekilde sabitlenmiş karıştırıcı çubuklar ile karıştırma işlemi, isteğe bağlı olarak, elek delikli kazan ile eş yönlü ve zıt yönlerde dönebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ana mil, elek delikli iç kazan ile zıt yönlerde döndürüldüğü durumda karıştırma işleminin etkisi artırılmıştır. Böylece susam danelerinin çubuklara ve elek delikli iç kazanın çeperlerine, dönme hareketinin etkisiyle, çarpmasının ve temas alanlarındaki sürtünme etkileri artırılmıştır. Danelerin artan çarpma ve danelerin hem çubuklara hem de elek delikli iç kazanın çeperlerine temas bölgelerindeki sürtünme etkileriyle zarların parçalanması ve daneden ayrılması kolaylaşmıştır.



Şekil 3. Zincir dişlinin ana mil üzerine montajı.

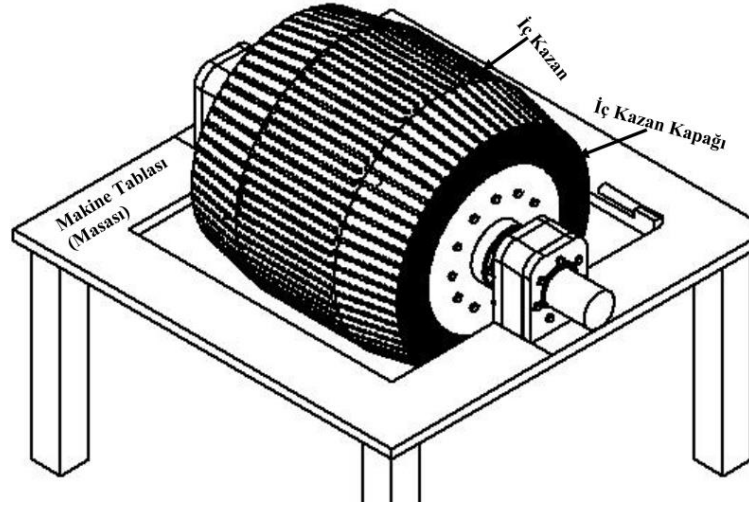
Elek delikli kazan, ana milin üzerine kazan kapakları yardımıyla, ana milden bağımsız dönebilecek şekilde sökülebilir bir şekilde monte edilmiştir. Şekil 4'te gösterildiği gibi ana mili tahrik eden motor tarafındaki kapaklar sadece rulmanlarının üzerine sökülebilir bir şekilde monte edilirken milin diğer ucundaki kapak ise rulmanların üzerine zincir dişli ile de eş zamanlı olarak sabitlenmiştir.



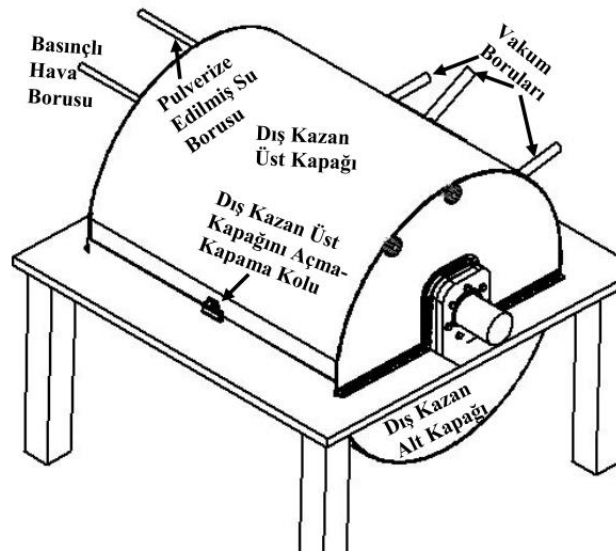
Şekil 4. Ana mil, karıştırıcı çubuklar, ana mil, P yatakları, rulman sistemi, zincir dişli ve elek delikli iç kazanın kapakları

Elek delikli iç kazan kapaklar üzerine, yük ana milin üzerine bindirilecek şekilde, çubuk lamalar yardımıyla sökülebilir bir şekilde bağlanmıştır. Susam çok nazık yağlı bir tohum olduğundan karıştırma işlemi sırasında deformasyona uğraması, çarpma ve sürtünme etkisiyle parçalanması istenmez. Çünkü susam danesi herhangi bir etki ile deformasyona uğrayarak parçalandığı zaman bünyesindeki yağ, karbonhidrat, protein ve değişik minerallerin de soyulan zarlar ile birlikte akıp kaybolmasına neden olabilir. Mevcut susam zarı soyma işlemlerinde bu durum önemli bir sorun oluşturmaktadır. Ancak, tasarladığımız ve imalatını gerçekleştirdiğimiz makinede, hem elek delikli iç kazan hem de karıştırıcı çubuklar döndüklerinden susam daneleri dönen kazanın içerisinde, dönme hareketinin etkisiyle sürekli kaçacak yer bulduklarından karıştırıcı çubuklar tarafından deformasyona uğratılmamış ve parçalanmamışlardır. Bu sonuç, tasarladığımız ve imalatını gerçekleştirdiğimiz makinenin mevcut olan makinelere göre daha iyi sonuçlar sağladığını göstermiştir.

Elek delikli iç kazan makinenin tablasının (masasının) üzerine, P yatakların yardımıyla, Şekil 5'te gösterildiği bindirilmiştir. Elek delikli iç kazanın üzerine susam daneleri doldurma ve boşaltma ağızı açılmıştır. Bu ağız, menteşeler yardımıyla açılıp-kapanır bir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, susamı kazana doldurma sırasında kazanın üst kısmında duracak, boşaltma sırasında ise dış kazanın boşaltma ağızı hizasında, alt kısmında duracak şekilde tasarlanmıştır. P yataklar makinenin masasına sökülebilir şekilde montajı yapılmıştır.



Şekil 5. Elek delikli iç kazan ve makine tablası

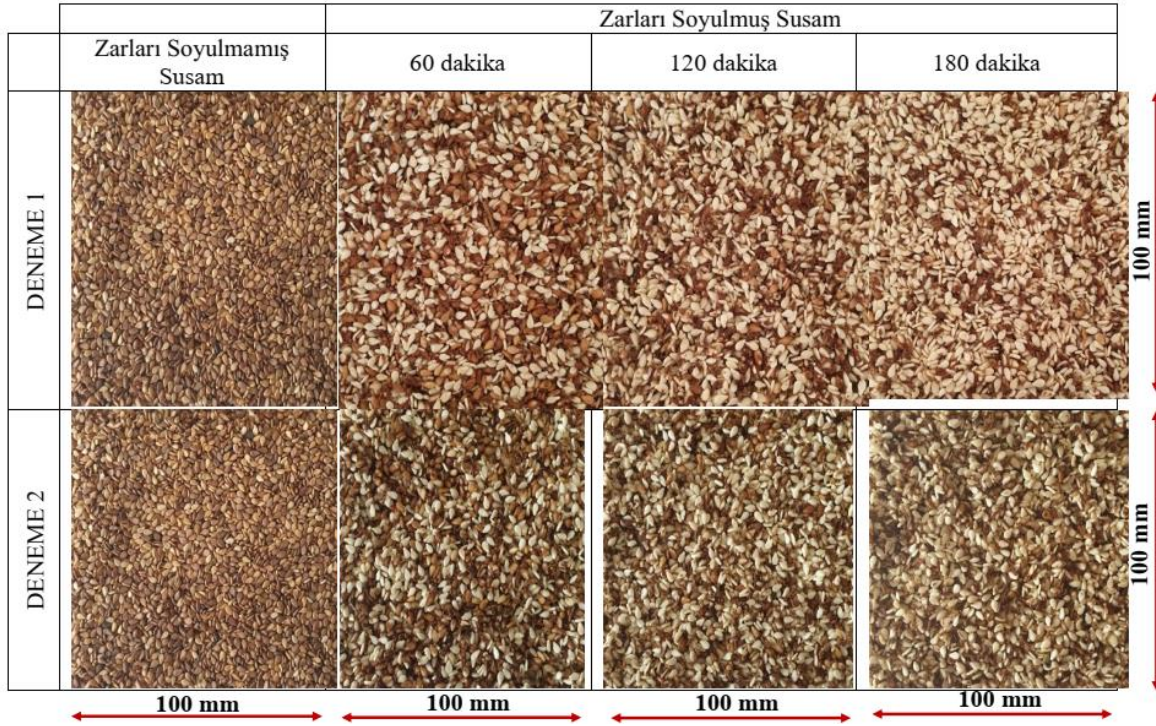


Şekil 6. Makinenin dış kazanı, pulverize edilmiş su ve basınçlı hava boruları

Makinenin dış kazanı iç kazanı, Şekil 6'da gösterildiği gibi elek delikli iç kazanı ve karıştırıcı çubukları ana mil ile birlikte dış çevreden koruyan kapalı bir ortam sağlayan muhafaza görevini yapmaktadır. Ayrıca dış kazanın üzerine vakum boruları ve vakumlama sistemi, susam danelerine pulverize edilmiş su püskürtme ve basınçlı hava boruları monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Pulverize edilmiş su boruları, elek delikli iç kazan içine konulmuş susam danelerini nemlendirmek amacıyla suyu pulverize ederek, sis bulutu şeklinde püskürtmeyi sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Ancak nemlendirme işlemi, susam daneleri kazana konulmadan önce dışarıda suda bekletilerek yapıldığından ve daneler yeterli miktarda nemlendiklerinden, pulverize edilmiş suya gereksinim kalmadı. Hava boruları ise iç kazanın elek deliklerinin içine sıkışmış susam zarlarını ve danelerini püskürtmek amacıyla basınçlı hava sağlamıştır. Vakumlama sistemi, elek delikli kazanı uzunluğu boyunca her noktada homojen vakum yapacak şekilde üç farklı çıkış şeklinde tasarlanmıştır. Ayrıca vakumlama sistemi de ana mil ve elek delikli iç kazan motorlarından bağımsız başka bir motor tarafından çalıştırılmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Tasarımı yapıldıktan sonra imalatı gerçekleştirilen makinenin, Ar-Ge çalışmaları kapsamında yapılan denemelerde zarları soyulan susamlar Şekil 7'de gösterilmiştir. Zarları soyulmamış ham, herhangi bir işleme tabi tutulmamış ve kuru susam daneleri deneme 1'de, 28°C sıcaklıktaki musluk suyunda, 4 saat, deneme 2'de ise 70°C sıcaklığa ısıtılmış suda 1,5 saat bekletilerek nemlendirildikten sonra elek delikli iç kazanın içerisine konuldu. Her iki deneme de toplam 180 dakika (3 saat) süre ile yapıldı. Ayrıca her denemede makine 50 dakika çalıştırıldıktan sonra vakumlama sistemi de 10 dakika makine ile eşzamanlı olarak çalıştırıldı. Birer saat aralıklar ile makine tamamen durduruldu ve numuneler alındıktan sonra tekrar çalıştırıldı. Birer saat aralıklar ile makineden alınmış numuneler Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ham, soyulmamış, kuru ve Makinede soyulmuş susam daneleri.

Ayrıca soyulmuş susam zarları Şekil 8 a'da ve 3 saat işlemten sonra en iyi soyulmuş susam daneleri ise Şekil 8 b'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 8 b'de susam daneleri içerisinde mevcut olan kahverengi zarlar parçalanmış, dane ile olan bağı kopmuştur. Ancak, vakumlama sisteminin yetersiz olmasından dolayı daneler arasında kalmıştır. Bu zarlar kavurma ve eleme işleminden sonra Şekil 8 c'de gösterildiği gibi yaklaşık olarak %99 oranında verimlilikle temizlenmiştir.



Şekil 8. a) Susam danesinden ayrılmış zarlar, b) 4 saat nemlendirme işleminden sonra makinede 3 saat soyma işlemine tabi tutulmuş susam daneleri c) kavrulmuş ve elenmiş susam daneleri.

5. Sonuçlar

Tasarımı ve imalatı yapılan makine ile susam zarı soyma işleminde tuz kullanımı tamamen ortadan kaldırılmış ve su tüketimi bir ton susam için 20 tondan yaklaşık olarak 2 tona düşürülmüştür. Bir ton susamı soymak için gerekli olan işlem süresi 24 saatten sadece 3 saate indirilmiş ve çalışan sayısı 9'dan 1'e düşürülmüştür. Hem elek delikli iç kazanın hem de karıştırıcı çubukları taşıyan ana mil eş zamanlı olarak, isteğe bağlı bir şekilde, eş yönlü ve/veya zıt yönlü dönebilme hareketlerinden dolayı susam danelerinin karıştırma işlemi sırasında deformasyona uğraması ve parçalanması önlenmiştir. Makine ile yapılan soyma işleminde verimlilik % 80'nin üzerinde olmuştur. Ancak, vakumlama sisteminin geliştirilmesi ile daneler arasında kalan zarlar da daneden ayrılabilceği öngörülmektedir. Ayrıca, yapılan kavurma ve ardından eleme işlemine tabi tutularak daneler arasında kalmış zarlar yaklaşık olarak % 99 oranında verimlilikle temizlenmiş ve daneden uzaklaştırılmıştır.

Teşekkür

Bu makinenin imalat aşamasında bizleri, "0905.STZ.2015 numaralı, **Teknolojik Susam Zarını Soyma Makinesi Tasarımı (SUSOYMAK)**" başlıklı SANTEZ projesi kapsamında destekleyen, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına teşekkürlerimizi sunarız. Z.D. Proje Yürütücüsü ve Fikir sahibi. Makaleyi yazdı.

Kaynaklar

- [1] Rechtenbach K, Nitz S. Extraction of gamma-tochopherol and lignan compounds of *Sesamum indicum* L. With accelerated solvent extraction (ASE). Sci Publ No:3. Technische Universitat München, Germany, 1999. <http://www.rechtenbach.de> 24.02.2017.
- [2] Katsuzaki H, Kawakishi S, Osawa T. Sesaminol glucosides in sesame seeds. *Phytochem* 1994; 35:773-776.
- [3] Johnson AH, Peterson MS. *Encyclopaedia of Food Technology*, 1974; pp. 793-795. The Avi Publishing Company, Inc. Westport Connecticut.
- [4] Ashri A. *Sesame*. 1989; 375-387.
- [5] Röbbelen G, Downey RK, Ashri A. *Oil Crops of the World-their Breeding & Utilization*. Mc Graw-Hill Publishing Company, 1989.
- [6] Tunde-Akitunde TY, Oke MO, Akitunde BO. *Sesame seed*. 2011; ISBN:978-953-510665-4, Intech available from <http://www.intechopen.com/books/oilseeds/sesameseed/> 24.02.2019
- [7] Carbonell-Barrachina AA, Lluch Pe´rez-Munera MA, Hernando II, Castillo S. Effects of Chemical Dehulling of Sesame on Color and Microstructure. *Food Chem* 2009; 15(3):229-234
- [8] Bulayci Brothers Industry Trade Co. Ltd., 2003. <http://www.bulayhan.com> 24.02.2019
- [9] Yehia GM, Hussein OA, Yaldes IA. Wet decortication of sesame seeds by new methods, 2002. <http://www.unu.edu/unupress/food/8F121e/8F121E09> 24.02.2019
- [10] Gürmaksan. Tahin, helva, lokum gıda makinaları, 2003. <http://www.telerehber.com/gurmaksan/urun4.htm> 14.03.2018
- [11] Gümüs Food Machinery Manufacturing. Sesame processing unit, 2003. <http://www.gumusmak.com/susamtr.htm> 25.05.2017
- [12] Girgis MF. (1968) Method for Peeling and Processing Grain. 3419056 USA patent.
- [13] Dopp S. (1968) Device for the Wet Treating of Seed Material. 4628807 numaralı patent.
- [14] Latreyte S. (1988) Produce peeling machine particularly for shelling nuts 4785729 numaralı patent.
- [15] Beeler ML. (1997) Peeler with inclined grooves inside wall. 5617783 numaralı patent.
- [16] Elleuch M, Besbes S, Roiseux O, Blecker C, Attia H. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chem* 2006; 103: 641–650.
- [17] Al-Ismael K, Alawamleh N, Al-Dabbas M. Effect of roasting and dehulling on antioxidant activity, oil quality and protein functionality of sesame seeds used in tahina and halawa. *Madridge J Food Technol* 2018; (1): 109-114