

BAKAD
2012
BATI KARADENİZ
AKADEMİSYENLER
DERNEĞİ

UMÜFED

ULUSLARARASI
BATI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

INTERNATIONAL WEST BLACK SEA
ENGINEERING AND SCIENCE
JOURNAL

EDİTÖR KURULU

SAHİBİ

Batı Karadeniz Akademisyenler Derneği Adına

Prof. Dr. Mahmut BOZAN

EDİTÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

ALAN EDİTÖRLERİ

Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SOLMAZ

YAYIN KURULU

Prof. Dr. Davut KARAASLAN

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Prof. Dr. Giray TOPAL

Prof. Dr. Deniz AYDEMİR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ

Doç. Dr. Medeni AYKUT

Doç. Dr. Dahaman ISHAK

Doç. Dr. Şahin PALTA

Doç. Dr. Salih PAŞA

Doç. Dr. Suhaidi SHAFIE

Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Dr. Öğr. Üyesi Ersin ALAYBEYOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Kamil ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Azizul AZİZAN

Dr. Haslina JAAFAR

Dr. Mohd Nazim MOHTAR

Dr. Mohd Amrallah MUSTAFA

Dr. Fakhrul HAZMAN YUSOFF

Öğr. Gör. M. Semih SARAÖĞLU

Öğr. Gör. Taylan TUĞRUL

İLETİŞİM

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü

Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Oda:307

MERKEZ/BARTIN

E-posta: (eyupburak@gmail.com)

TEKNİK DESTEK

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

E-posta: eyupburak@gmail.com

DİZİNLER VE PLATFORMLAR

[DERGİPARK](#)

[ResearchBib](#)

[DRJI](#)

[Index Copernicus](#)

[ASOS Index](#)

E-ISSN: 2687-2927

Yeni dizinlere başvurular yapılmış olup gelecek sayılarda eklenmiş olması planlanmaktadır.

İÇİNDEKİLER

İSTENMEYEN ARAMA, SMS/MMS VEYA OTOMATİK ARAMA ENGELLEME UYGULAMASI

Araştırma Makalesi

Sayfa: 1-12 / Yazarlar: Yuşa Çağatay GÜNAYDIN, Ramazan SOLMAZ

GÜL HASTALIĞI TEŞHİSİ İÇİN KARAR AĞACI ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 13-35 / Yazarlar: Burcu DURMUŞ, Öznur İŞÇİ GÜNERİ, Nevin GÜLER DİNCER

POLİPROPİLEN/ÜRE FORMALDEHİT POLİMER KARIŞIMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 36-48 / Yazarlar: Münir TAŞDEMİR, Elif ULUTAŞ

BAZI BİTKİSEL ATIK YAĞLAR UYGULANMIŞ YALANCI AKASYA (ROBINIA PSEUDOACACIA L.) AHŞABINDA RENK, BEYAZLIK İNDEKSİ VE PARLAKLIK DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 49-64 / Yazarlar: Osman ÇAMLİBEL, Ümit AYATA

UV YAŞLANDIRMA UYGULANAN POLİPROPİLEN/ÇİNKO BORAT (ZnHBO₃) POLİMER KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 65-78 / Yazarlar: Elif ULUTAŞ, Münir TAŞDEMİR

NÖTRON ENERJİ SPEKTRUMLARININ HESAPLANMASI

Araştırma Makalesi

Sayfa: 79-94 / Yazarlar: Zaur GADIRZADE, Özlem ONAY

MANYETİK AŞINDIRICI TOZLAR YARDIMIYLA METAL YÜZEYLERİN PARLAKLIĞINI OPTİMİZE ETMEDE İŞLEM PARAMETRELERİN ETKİSİ

Derleme Makale

Sayfa: 95-126 / Yazarlar: Tuba Demirel

STRONSIYUM ALÜMİNAT KATKILI KOMPOZİT PİGMENT BİLEŞİMİNİN ÇİMENTO ESASLI FOTOLÜMİNESAN HARCIN PERFORMANSINA ETKİSİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 127-153 / Yazarlar: Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN

UMÜFED

ULUSLARARASI
BAŒI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

Değerli Okurlarımız,

Uluslararası BaŒı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin beşinci cilt ikinci sayısını yayınlamanın mutluluğunu yaşıyoruz.

Gönderilen makaleler arasından sekiz makale bu sayımızdaki hakemler tarafından yayınlanmaya değer bulunmuştur.

Yuşa Çağatay GÜNAYDIN ve Ramazan SOLMAZ tarafından hazırlanan ilk makalede, cep telefonu kullanıcılarına yapılan izinsiz ve istenmeyen aramaları önlemek/engellemek için Android tabanlı bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, cep telefonunun arayüz kısmını etkilemeden arka planda çalışır; belirli koşullar altında işletim sisteminde çalışan ilgili çağrı hizmetine müdahale eder. Sistem, veri tabanında kayıtlı telefon numaralarına göre gelen çağrıyı engelleme üzerine kuruludur. Geliştirici veya kullanıcılar bu veri tabanını sürekli olarak güncel tutmaktadırlar. Android işletim sistemleri üzerinde yapılan testler, uygulamanın belirtilen sürümlerde başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Ayrıca uygulama ile kullanıcılar arka planda istenmeyen aramaları bağımsız olarak engelleyebilir. Bu uygulamanın insan yaşam kalitesini artırabileceği düşünölmektedir.

Burcu DURMUŞ, Öznur İŞÇİ GÜNERİ ve Nevin GÜLER DİNCER tarafından hazırlanan ikinci makalede, farklı karar ağacı algoritmaları ile gül hastalığı teşhisi için (hasta-hasta değer) sınıflandırma analizi yapılmıştır. Çalışmada amaç; gözlemin hasta-hasta değer şeklinde sınıflandırılmasından ziyade, bu ayırım yapılırken kullanılan değerkenlerin neler olduğunun belirlemesi ve literatür ile kıyaslanmasıdır. Eğitim ve test aşamasında veriler, çapraz doğrulama ile karşılaştırılmıştır. En başarılı yöntem tespit edilirken doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC, ROC Area, PRC Area ve Kappa değerleri göz önüne alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda en yüksek sınıflandırma başarısı, REP Tree algoritması ile %91.5 olarak elde edilmiştir. REP Tree algoritmasının sonucuna göre gül hastalığı için; kök düğümde yer alan güneş değerkeni güneş kremi kullanımının ve güneşten kaçınmanın önemini, iç düğümde yer alan stres değerkeni ise stresten uzak kalmanın önemini vurgulamaktadır.

Münir TAŞDEMİR ve Elif ULUTAŞ tarafından hazırlanan üçüncü makalede, polipropilen içerisinde değişik oranlarda atık üre formaldehit tozları katılarak polimer karışımları üretilmiş ve bu üre formaldehitin polipropilene eklenmesi ile bazı fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Üre formaldehit tozları polipropilen içerisinde % 5, 10, 20 ve 30 oranlarında katılarak çift vidalı ekstruderde karıştırılmış ve granül halinde üretilmiştir. Daha sonra bu granüller kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun şekilde test numuneleri basılmıştır. Elde edilen polimer karışımlarının sertlik, ısı çarpılma sıcaklığı (HDT), vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme oranı, aşınma oranı, statik sürtünme katsayısı ve morfolojik yapısı incelenmiştir.

Osman ÇAMLIBEL ve Ümit AYATA tarafından hazırlanan dördüncü makalede, bazı bitkisel atık yağlar (ceviz, zeytin ve mısır) uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda renk parametreleri (h_o , L^* , C^* , a^* ve b^*), beyazlık indeksi (WI^*) değerleri ve 20o, 60o' ve 85o'lerdeki parlaklık değerleri belirlenmiştir. Atık bitkisel yağlar, ağaç malzeme yüzeylerine sürme tekniği ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çok değişkenli varyans analizi sonuçları bütün testler için anlamlı olarak tespit edilmiştir. 3 atık bitkisel yağ türünde a^* , b^* ve C^* değerlerinde artış belirlenirken, L^* ve h_o , liflere dik ve paralel yönlerde WI^* değerleri ve 20o, 60o' ve 85o'lerde liflere dik ve paralel yönlerde parlaklık değerlerinde azalış görülmüştür. Atık bitkisel yağların uygulanması ile ağaç malzemenin sahip olduğu yüzey özellikleri (renk, parlaklık ve beyazlık indeksi) değişmiştir.

Elif ULUTAŞ ve Münir TAŞDEMİR tarafından hazırlanan beşinci makalede, farklı konsantrasyonlara sahip (%5, 10, 15, 20) çinko borat ($ZnHBO_3$) ve polipropilen (PP) ile üretilen polimer kompozitlere 70°C sıcaklıkta 15 ve 30 gün boyunca UV uygulanarak kompozitlerin özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin mekanik davranışını incelemek için çekme, sertlik, darbe, yoğunluk testi yapılmıştır. Ayrıca polimer kompozitlerin mikroyapı incelemesi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılmıştır. Sonuçlar; maksimum katkı ilavesiyle saf PP'ye ait 746 MPa elastiklik modülünün %30 oranında arttığını göstermektedir. Aynı zamanda polimere kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olması sebebiyle %20 $ZnHBO_3$ ilavesi saf PP'nin yoğunluğunu yaklaşık %3 oranında artırmıştır. UV yaşlandırma; polimer kompozitlerin % uzama ve darbe mukavemeti değerini azaltırken, sertlik, elastiklik modülü, akma ve kopma mukavemetinde artışa sebep olmuştur.

Zaur GADIRZADE ve Özlem ONAY tarafından hazırlanan altıncı makalede, füzyon nötron ölçümlerinden elde edilen verileri analiz etmek için farklı yöntemleri açıklamaktadır. Çalışmada, İngiltere'deki tokamak füzyon reaktöründe TOFOR uçuş süresi spektrometresi ve manyetik proton geri tepme (MPR) spektrometresi de dahil olmak üzere JET'te toplanan nötron spektrometresi ölçüm verileri kullanılmıştır. Sunulan çalışma, verilen yakıt iyonu dağılımlarından nötron enerji spektrumunun hesaplanmasına dayanmaktadır. Uygun tasarlanmış bir modelin, birçok farklı parametre seti için nötron spektrumunun hesaplanması ve deneysel verilerin en iyi sonuçlanan değerlerin bulunması tahmin edilebilen bir dizi fiziksel parametreye bağlıdır. Bu çalışma, bu tür nötron spektrum hesaplamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

Tuba Demirel tarafından hazırlanan yedinci makale, özellikle elik gibi metalik malzemelerin malzeme karakterizasyona başlamadan önce ön işlemler, metal yüzeyini parlatma, taşlama ve MAI ile işleme üzerine yazılmıştır. Metal yüzeylerin pürüzlülüğünün en aza indirgenmesinde, aşındırıcı tozlar ile kullanılan işlem parametrelerinin yüzeyde daha az deforme yapması için gerekli koşullar ve aşındırıcı toz ile yüzey aşındırma teknikleri incelenmiştir. Literatürdeki yüzey işlem uygulamaları da incelenerek, aşındırıcı tozlar ile yüzey işleme konusunda çeşitli öneriler getirilmiştir.

Ltfullah GÜNDÜZ ve şevket Onur KALKAN tarafından hazırlanan son makalede ise, fotolüminesan pigment içeren bir dizi imento harcı ve pigment içermeyen bir kontrol harcı üretilerek, fotolüminesan pigment içeren ve içermeyen harçların ve değişen pigment miktarının harçların fiziko-mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle kompozit fotolüminesan pigment (KFP), stronsiyum alüminat ($SrAl_2O_4$), titanyum dioksit (TiO_2) ve stiren akrilik kopolimer emülsiyonun (SAKE) belli oranlarda karıştırılması ile elde edilmiştir. Daha sonra KFP imento harcına eklenerek kompozit fotolüminesan harçlar üretilmiştir. Çalışma bulgularına göre, $SrAl_2O_4$ oranının artışı harçların basınç dayanımının azalmasına sebebiyet vermektedir. KFP katkılı harçlar yaklaşık 13 saat gün işığına (06:00-19:30 arası) maruz bırakıldıktan sonra, karanlık bir ortamda işıma süreleri 576 dakika ile 696 dakika (yaklaşık 9,5-11,5 saat) aralığında tespit edilmiştir. Harçların işık yayma performansları özellikle KFP içerisinde bulunan $SrAl_2O_4$ pigmenti oranı artışına bağlı olarak artmıştır. Bununla birlikte, işık yayan pigment kompozisyonundaki TiO_2 oranı arttıka, pigment komponentinin işık yaymadaki etkisinin daha da iyileştiği görülmüştür. Bu alışma ile, $SrAl_2O_4$ ve TiO_2 'in birlikte kullanımı ile karanlıkta işık yayabilen imento harçlarının üretilbildiği tespit edilmiştir.

Dergimize çalışmalarını gönderen değerli yazarlarımıza, hazırlanmasında emeği geçen alan editörlerine ve kıymetli vakitlerini ayırarak makaleleri değerlendiren hakemlerimize teşekkür ediyoruz. Sonraki sayılarda siz değerli okurlarımızın önerileriyle ve gönderecekleri makalelerle desteklerini esirgemeyeceklerinden eminiz. Bu vesileyle gelecek sayımızın Haziran 2024 tarihinde yayınlanması planlandığını hatırlatıyor, gelecek sayıya da çalışmalarınızı bekliyoruz. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin bu sayısının da ilim dünyasına hayırlı olmasını diliyorum, saygılarımı sunuyorum.
31.12.2023

EDİTÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

İSTENMEYEN ARAMA, SMS/MMS VEYA OTOMATİK ARAMA ENGELLEME UYGULAMASI

Yuşa Çağatay GÜNAYDIN^{1,a,*}, Ramazan SOLMAZ^{1,b}

¹Bartın Üniversitesi MMTF Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
^aassetgroup.yusacagatay@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-4788-454X
^brsolmaz@bartin.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8933-2922

ÖZET

Dijitalleşen dünya, sunduğu imkânlar eşliğinde birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlardan bazıları mobil cihazlara gönderilen izinsiz SMS/MMS, istenmeyen aramalar, otomatik aramalar veya bunların ticari bileşenleridir. Bu çalışmada, cep telefonu kullanıcılarına yapılan izinsiz ve istenmeyen aramaları önlemek/engellemek için Android tabanlı bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, cep telefonunun arayüz kısmını etkilemeden arka planda çalışır; belirli koşullar altında işletim sisteminde çalışan ilgili çağrı hizmetine müdahale eder. Sistem, veri tabanında kayıtlı telefon numaralarına göre gelen çağrıyı engelleme üzerine kuruludur. Geliştirici veya kullanıcılar bu veri tabanını sürekli olarak güncel tutmaktadırlar. Android işletim sistemleri üzerinde yapılan testler, uygulamanın belirtilen sürümlerde başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Ayrıca uygulama ile kullanıcılar arka planda istenmeyen aramaları bağımsız olarak engelleyebilir. Bu uygulamanın insan yaşam kalitesini artırabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çağrı engelleme, Android mobil uygulama, Reklam engelleme.

SPAM CALL, SMS/MMS, OR AUTOMATIC CALL-BLOCKING APPLICATION

ABSTRACT

The digitalizing world brings problems along with the opportunities it offers. Some of these are unauthorized SMS/MMS, spam calls, robocalls, or their commercial components sent to mobile devices. In this study, an Android-based mobile application was developed to prevent/block unauthorized and unwanted calls to mobile phone users. The application runs in the background without affecting the interface part of the mobile phone. Under certain

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Geliş (Received): 25.10.2023

Atıf (Citation): Solmaz, R., Günaydın, Y.Ç., "İstenmeyen Arama, SMS/MMS veya Otomatik Arama Engelleme Uygulaması", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 1-12, 2023.

Kabul (Accepted):15.12.2023

Yayın (Published): 31.12.2023

conditions, it interferes with the relevant paging service running on the operating system. The system is based on blocking incoming calls based on phone numbers registered in the database. Developers or users constantly keep this database updated. Tests conducted on Android operating systems have shown that the application works successfully on the specified versions. Additionally, the application allows users to block unwanted calls in the background independently. It is thought that this application can improve the quality of human life.

Keywords: Call blocking, Android mobile application, Ad blocking.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamını kolaylaştıran dijital dünya beraberinde önemli problemleri de getirmektedir. Ticari düşünen veya kötü amaçlı kişiler, mobil cihaz kullanıcılarına kolay ulaşma imkânı ile izinleri olmadan çağrı, sms, mms veya e-posta gönderebilmektedirler. İzinsiz gönderilen iletiler sürekli olarak artmakta ve ortaya çıkan problemde giderek büyümektedir. Bu problemi farklı açılardan ele alıp analiz eden akademik çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalarda mobil cihaz kullanıcılarına iletilen ticari reklamlara karşı kullanıcıların davranışları analiz edilmiştir. Sonuçlar anlık mobil reklamların satın alma isteği üzerine etkisi olduğunu göstermektedir [1-9]. Diğer taraftan dokunmatik ekranlı cihazlarda verilen bilinçsiz onaylar da kötü niyetli kişilerin amaçlarına ulaşmalarını kolaylaştırmaktadır. İstemsiz/ bilinçsiz onaylar genellikle cepte bulunan cihazın vücut ile teması veya mobil cihaz kullanıcılarının özel durumlarında (dalgınlık, yaşlılık, okur yazar olmama vb.) meydana gelmektedir. Bu istenmeyen durumları önlemek için gerçekleştirilen çeşitli çağrı ve reklam engelleyici uygulamalar bulunmaktadır. Call Blacklist & Call Blocker uygulaması [10]; Spam, arama engelleyici, SMS engelleyici olarak Android işletim sistemlerinde kullanılmaktadır. Uygulama telefon rehberinde bulunmayan numaralar ve gizli numaraları engellemektedir. Ancak, Türkiye ve çevresindeki spam numaraları engelleyememektedir. Ayrıca uygulama içi reklam ve modüler özellikler için mikro ödemeler söz konusudur. Mr. Number-Caller ID & Spam Protection [11]; Android işletim sistemde çalışan reklamsız ve ücretsiz bir mobil uygulamadır. Spam aramaları ve telefon rehberinde bulunan numaralar dışındaki numaraları gelen aramalarda engellemektedir. Bununla birlikte uygulama bünyesinde bulunan kara listeye eklenen numaralar da gelen aramalarda engellenebilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen birçok uygulamanın genel çalışma prensibi, kullanıcılar tarafından belirlenen numaralar listeye eklenerek numaraların engelleme şeklidir. Dahası bu özellik birçok mobil telefon sistemlerinde dâhili özellik

olarak bulunmaktadır. Bu ve benzeri uygulamalar incelendiğinde Türkiye spam numaralarını tanımlamada ve ayırtmada yetersiz veya tanımsız olmaktadır. Dolayısıyla etkili çözüm üretmemektedirler. Sürekli değişen problemin üstesinden gelebilmek için hızla gelişen ve değişen mobil iletişim teknolojilerine dinamik uyum sağlayabilen, etkili tedbir ve yöntemlere sahip uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulamanın diğer uygulamalardan farklı olarak, mobil pazarlama, reklamcılık ve servis sağlayıcıları (goller cepte, astroloji servisi, haber vb.) gibi istenmeyen çağrı ve iletişim sistemlerini engelleme özelliklerini barındırmaktadır. Uygulamanın bazı özellikleri şunlardır.

- Sosyal girişim amaçlı olan uygulamamız kamu refahını gözetmektedir. Bu kapsamda uygulama, Android işletim sistemli telefonlarda Google PlayStore platformu üzerinden ücretsiz indirilebilir ve kullanılabilir.
- Gizlilik ve güvenliğin sağlanması,
 - a. Uygulama kendini güncelleyebilmesi için uzak sunucu ile iletişim halindedir. İletişim için belirli güvenlik ve protokol standartlarını sağlayan yapılandırmalar gerçekleştirilerek belgelendirilmektedir.
 - b. Uygulama kullanım sözleşmesi KVKK ve resmi standartlar gözetilerek hazırlanmıştır. Bu sayede tüketici-üretici ikili ilişkisi korunmakta üçüncü bir ilişkiye izin verilmemektedir.
 - c. Hem uygulama hem de veri tabanı sistemi bağlantıları güvenlik açıkları dikkate alınarak doğru erişim belirteçleri, kapsülleme ve şifreleme teknikleri kullanılarak veri sızıntısı veya veri değişikliğine karşı önlemler alınmaktadır.
- Geleneksel pazarlama yöntemlerinde değişime gidilmesi,
 - a. Ticari faaliyet sergileyen ve illegal (veya etik-dışı) yöntemlerle mobil pazarlama yapan şirketleri hedef alan uygulamanın kullanımının yaygınlaşmasıyla, şirketlerin yapıcı değişimlere gitmeleri amaçlanmıştır.
- Telefon dostu uygulama ve kullanıcı dostu arayüz,
 - a. Uygulama, veri güncellemelerini belirli zaman aralıklarında uzak sunucudan talep etmekte ve uygulama algoritması telefona gelen çağrılar esnasında tetiklenerek çalışmaktadır. Böylelikle hem veri kullanımı hem de batarya ömrü yönünden optimizasyon sağlayan telefon dostu bir uygulama hedeflenmiştir.

- b. Kullanıcıların temel bilgi düzeyleri gözetilerek ortalama içerikli ergonomik arayüz tasarımı gerçekleştirilmektedir. Yazı tipi, renkler, açık ve öz yönlendirici bilgilendirmeler sunularak kullanım kolaylığı sağlanmaktadır.
 - c. Arayüz kapalıyken çalışır durumda olan uygulama, telefonun arama görüntüleme servisi ile ilişkilendirilmiş ve arka-planda çalışmaktadır. Diğer taraftan uygulamanın aktif-pasif durumu için kullanıcının arayüzden izin verme veya reddetme seçeneklerinden birini tercih etmesi yeterli olmaktadır.
- Tüketici geri-bildirim odaklı gelişim
- a. Uygulama kendi bünyesinde bulundurduğu algoritma ve veri tabanı ilişkisi dışında kullanıcıların uygulamanın gelişimine fayda sağlamak üzere ergonomik ve hızlı erişim sağlayabilecekleri geri bildirim bölümü geliştirilmiştir.
 - I. Uygulamanın veri tabanında bulunan yasaklı telefon numaraları dışında yeni oluşan veya daha tespit edilmemiş telefon numaraları kullanıcılar tarafından geliştiriciye yönlendirebilmektedir. Böylece kötü niyetli kişiler, kullanıcı ağı tarafından erken tespit edilerek muhtemel zararların engellenmesi hedeflenmiştir.
 - II. Dinamik bir yapı için kullanıcılar, uygulamanın mevcut veri tabanında bulunan yasaklı telefon numaralarından hatalı olduğunu düşündükleri numaraları listeden çıkarılmasını talep edebilmektedirler.

Yukarıda belirtilen ilkeler çerçevesinde çevik yazılım metodu kullanılarak uygulamanın sürekli ve kesintisiz bir şekilde kullanıcılara hızlı hizmet sunabilmesi amaçlanmıştır. Uygulamamız Android işletim sistemi tabanlı olup mobil cihazlarda yaygın bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir.

2. YÖNTEM

Günümüzde mobil kullanıcıların açık rızası gözetilmeden, herhangi bir yol ile telefon numaralarını elde eden ve bu numaraları mobil pazarlama, reklamcılık veya servis sağlayıcılarında kullanan şirket/kurumlar giderek artmaktadır. Bu durum rahatsızlık verici olmakla beraber gelişen teknoloji ile çok hızlı yayılmakta ve her geçen gün kullanılan yöntemler değiştirilmektedir. Bu durum zaman ve maddi kayıplara yol açmaktadır. Böyle bir problem ile hızlı ve etkili tedbirler alınarak başa çıkılabilir. Bu çalışmayı gerçekleştirmek ve uygulamanın yaşam döngüsü süresince yeni olgular karşısında hızlı adaptasyonunu sağlamak için çevik yazılım metodu kullanılmıştır. Bu metot ile işlem ve prosedür süreçleri azaltılarak tasarımcı ve mobil kullanıcıların kısa sürede sonuç almaları hedeflenmiştir. Etkili ve hızlı bir sonuç tüm paydaşların (tasarımcı ve kullanıcıların) güven ve motivasyonu yüksek tutacaktır. Uygulama tasarımında yürütülecek çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak sözde-kod formatında 3 ana grupta verilmiştir.

Algoritma: Android işletim sistemlerinden çağrı/arama görüntüleme servisi, aktif işleme girmesiyle tetiklenmekte olan algoritma, veri tabanını kullanarak gelen çağrıları süzgeçten geçirir. Veri tabanındaki telefon numaraları ile eşleşen telefon numaraları algoritmanın süzgecine takılır ve ilgili sistem seviyesine müdahale ederek gelen çağrı için reddetme sinyali gönderir. Burada belirtilen süreçlerin tamamı arka-planda çalışmakta olup çalışma süreci, kullanıcı refahı için ön planda gösterilmemiştir. Uygulama tasarımında Java programlama dili ve telefonun arama servisi CallScreeningService API kullanılmaktadır. Aramada “getCallerNumberVerificationStatus()” metodu ile arama servisine müdahale edilmektedir. Algoritma temelinde ilgili metot kullanılarak süzgeç aşamasında belirlenen telefon numaralarına arka planda müdahale edilmektedir.

Veri tabanı: Telefon numaraları veri tabanında saklanmaktadır. Bu numaralar çoğunlukla tüketicilerin şikâyetlerini sunabilecekleri platformların web sayfalarından temin edilmektedir. Ayrıca arayüzde yer alan “geri bildirim” bölümü aracılığıyla hâlihazırda veri bankasında bulunmayan, henüz tespit edilememiş veya yeni oluşturulmuş telefon numaraları geliştiriciye gönderilebilmektedir. Geliştirici, kullanıcılardan gelen talepleri hızlı bir şekilde analiz etmek suretiyle veri tabanını sürekli güncel tutulmaktadır.

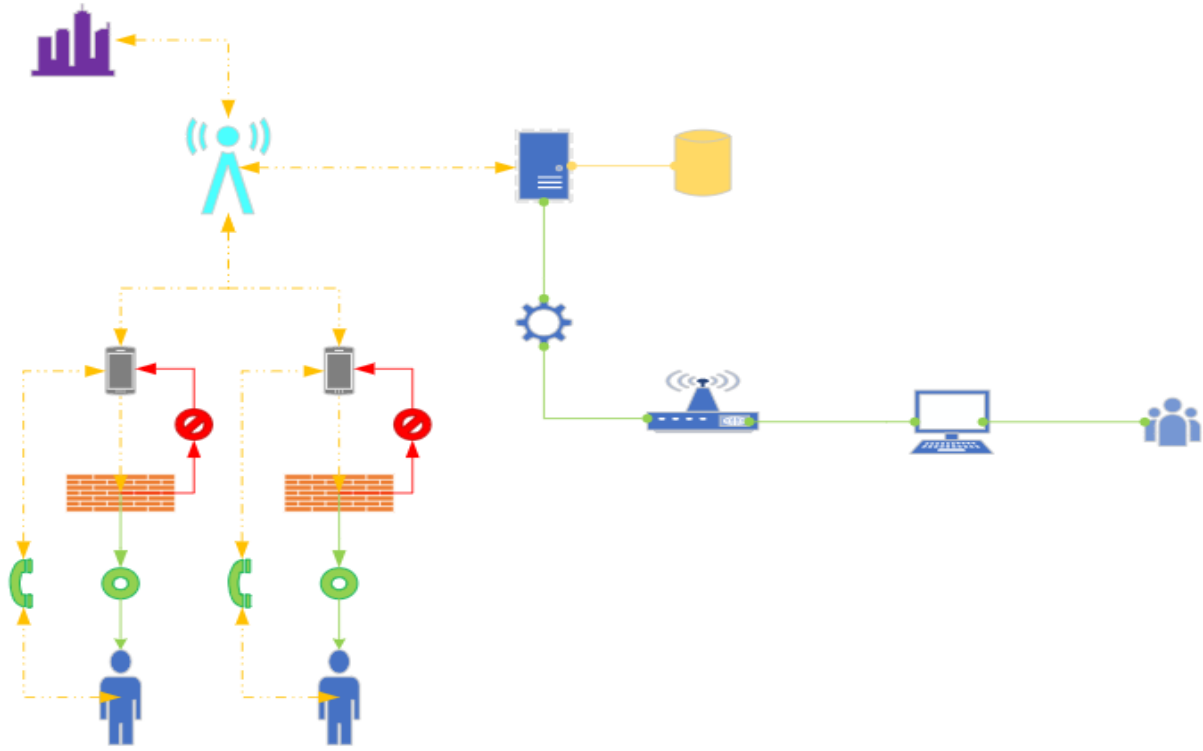
Arayüz: Kullanıcı ile algoritmamız arasında erişimi sağlayan ergonomik işlevsel paneldir. Üç ana bölümden/sekmeden oluşur;

I. İzin: Algoritmanın sistem servislerinde çalışması ve düzeltici işlemler yapabilmesi için uygulama kullanıcılardan izin alma talebinde bulunur. Sistem servislerinin kullanılması için kullanıcı taraflı yetkilendirildikten sonra uygulamanın birinci sayfası görüntülenir. Bu sayfada, KVKK – Gizlilik Sözleşmesi ile Uygulama Kullanım Hakları şartnamesinin onaylanması beklenir. Bu aşama ile uygulamanın tanımı, amacı, çalışma sürecinde uygulamanın mobil telefonda etkilediği kısımlar belirtilir, izin verilen yetkilendirmeler vurgulanır tüketici ile üretici arasındaki ilişki ve güvenin korunması amaçlanmıştır.

II. Kontrol: Uygulamada kontrolü sağlamak için yapılandırmalar bölümü hazırlanmıştır. Kontrol bölümünde algoritmanın veri bankasında bulunan telefon numaralarına manuel olarak izin verme özelliği, uygulamayı belirli zaman dilimlerinde otomatik olarak çalışma durumunu aktif/pasif yapma özelliği, kullanıcıya özel uygulama tarafından oluşturulan manuel listeye telefon rehberinden numara eklemek ve bu numaraların reddedilmesi için aktif/pasif yapma özelliği, güncelleme kontrolü ve bilgilendirme gibi içeriklere yer verilmiştir.

III. Geri-Bildirim: Geliştiriciye bildirim gönderme işlevinin gerçekleştirildiği bölümdür. Kullanıcılar algoritmanın kullandığı veri bankasını geliştirmek üzere yeni fark edilen ve sisteme takılmayan numaraları geri-bildirim bölümünden geliştiricinin rapor (ticket/report) kanalına bildirim göndererek listeye eklenmesini talep eder. Geliştiriciye gelen telefon numaraları, insan kaynağı yardımıyla uygulama amaçlarına uyan telefon numarası olma durumu analiz edilir. Uyması durumunda ilgili telefon numarası veri tabanına eklenerek uygulamayı kullanan her Android tabanlı cihaz için engellenmiş olunur. Kullanıcı odaklı gelişim buradan gelmektedir.

Uygulamanın çalışma sürecinin daha net anlaşılabilmesi için Şekil-1’de verilen akış diyagramı hazırlanmıştır. Şemanın sağ kısmı uygulamanın denetimi ve bakımını gösterirken sol tarafı ise şirketlerin telefon kullanıcılarına ulaşmada izledikleri süreci ve uygulamanın bu süreçte engelleme işlevini göstermektedir.



Şekil 1. Uygulama çalışma prensibi şematik gösterimi ve kapsam diyagramı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama, fiziksel olarak Samsung Note 4 model Android 6.1 işletim sistemi sürümünde gerçekleştirilmiş ve aşağıda belirtilen izinlerden ACCESS_NOTIFICATION_POLICY hariç olmakla üzere, yüklenmiş platformlarda numaralar başarılı bir şekilde engellenmiştir.

Uygulama testleri, simülasyon ortamında Android 6, 7, 7.1 ve 8 sürümlerinde başarıyla tamamlanmış Android 8.1, 9, 10 ve 11 sürümlerinde testler devam etmektedir. Henüz kesin bir sonuca ulaşamamıştır. Uygulamada kullanılan izinler Tablo 1’de verilmiştir.

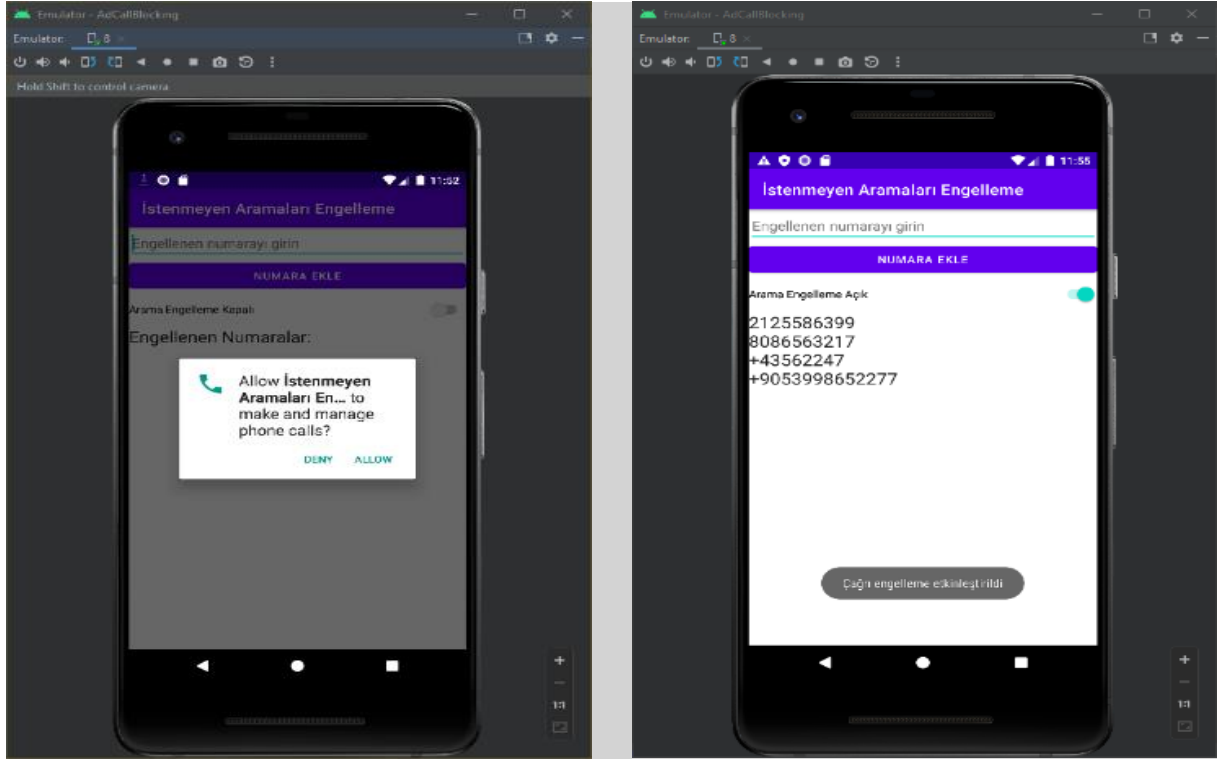
Tablo 1. Uygulamada kullanılan izinler ve açıklamaları

İzin	Açıklama
CALL_PHONE	Telefon Arama Görüntüleme Servisi (Incoming Services) sistem servisi üzerinde kontrol sağlamakta
ANSWER_PHONE_CALLS	Incoming Services eylem panelleri üzerinde kontrol (aramayı reddetme, onaylama, bekletme) sağlamakta

READ_PHONE_STATE	Telefon durumunu dinleme (listen)/izleme gerçekleştirmekte
ACCESS_NOTIFICATION_POLICY	Mobil telefonlarda Rahatsız Etmeyin (Do Not Disturb) modu ile etkileşimi sağlamaktadır.

Android 8.1 ve üstü sürümlerde geliştirici arayüzü üzerinden işletim sistemine erişmek ve kontrol sağlayabilmek için resmi olarak geliştiricilere API sunulmamaktadır. Bunun nedeni Google güvenlik zafiyetleri politikasında açıkça belirtmektedir. Kötü niyetle kullanımın önüne geçmek üzere Android 8.1, 9 ve üstü sürümlerde bu izinlerin kullanımı telefon üreticilerine verilmekte olup bağımsız geliştiriciler bu izinleri kullanamamaktadır. Bu sebeple, direkt telefonlarda gelen aramaları reddetme, onaylama eylemleri gösterilememektedir. Bu yüzden soruna doğrudan çözüm sağlanamamaktadır. Doğrudan erişim izni olmadığı durumlarda (çözüm ve API yoksa) dolaylı çözüm için geliştirmeler yapılarak Android 8.1, 9 ve üstü sürümlerde sonuca ulaşma hedeflenmektedir [12, 13]. Dolaylı engelleme için iki teorik çözüm öngörülmüş ve test edilmektedir. Bunlar,

- I.** Mobil aygıtlarda bulunan Rahatsız Etmeyin (Do Not Disturb) modu ile etkileşime geçmek.
- II.** Gelen aramalardaki telefonları yönlendirme yöntemiyle kullanılmayan bir telefon numarasına aktarmak.



Şekil 2. Uygulama Arayüz Görüntüsü

4. SONUÇLAR

İstenmeyen Aramaları Engelleme Uygulaması, Android sürümlerine göre cihazların gösterdiği çalışma davranışı ve sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Android 6.0+, 7.0, 7.1+ ve 8.0 Sürümlerde;
 - Kullanıcıdan izin talebinde bulunması ve izin onayı sonucunda sistemde çalışır duruma gelmesi: Başarılı.
 - Kullanıcılara ayrılmış özel kara listeye farklı formatta (+, +4, +90 0530, 530, +90530, 90530) telefon numaralarının eklenebilmesi: Başarılı.
 - Uygulama açık veya açık olmadan arka planda servis olarak çalışma durumunu aktif ve pasif yapabilme seçeneğinin çalışması: Başarılı.
 - Cihaz, uyku durumunda iken engellenmiş telefon numarasından bildirim gelmemesi ve uyku durumunu korumaya devam etmesi: Başarılı.

- Cihaz aktif kullanımda veya boшта iken engellenmiş telefon numaraları ile gelen aramalara müdahale edilmesi ve görüntüleme ekranında bildirim göstermemesi: Başarılı.
 - Cihaz aktif kullanımda veya boшта iken engellenmiş telefon numaraları ile gelen aramalara müdahale edilmesi ve popup mesajı bildirimini göstermemesi: Kısmen başarılı.
 - Problem, cihaz performansına bağlı olarak dâhili sistem servisleri arasında uygulamanın arka planda çalışan servisi anlık gecikmeye girmektedir. Dolayısıyla popup mesaj bildirimlerine nadiren 20 milisaniye sonra müdahale etmektedir.
 - Cihaz, uyku, aktif kullanım veya boş durumda iken engellenmiş telefon numarası ile gelen aramalarda zil sesi ve titreşim bildirimine müdahale etmesi: Başarılı.
- Android 8.1, 9.0, 10.0, 11.0 ve 12.0 Sürümlerde;
- Kullanıcıdan izin talebinde bulunması ve izin onayı sonucunda sistemde çalışır duruma gelmesi: Başarısız, çalışmalar devam etmektedir.
 - Android cihazlarda özel izin gereksinimi talebi kullanıcı tarafından geribildirim alınmadığı için doğrudan telefonun API'lerine erişim sağlanamamaktadır.

Sonuç olarak, Android 6.0+, 7.0, 7.1+ ve 8.0 sürümlerde uygulama başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Android 8.1 ve üzeri sürümlerde ise istikrarsız olduğu görülmüştür. Problem kaynağı Google Güvenlik Politikaları olduğu tespit edilmiştir. Burada Android 9.0 ve üzeri sürümlerde Android geliştiricilerin özel izin gereksinimi talebinde bulunma opsiyonlarını sınırlandıran yapılandırmalardan kaynaklanmaktadır. Google Güvenlik Zafiyetlerini Engelleme Politikasına uygun davranış gösteren yöntemler araştırılmaktadır ve uygulama sürekli geliştirilmektedir [12, 13].

Veri tabanı entegrasyonu, uygulama Google PlayStore platformunda yayınlanmaya başladığı zaman aktifleştirilerek ülkemiz için derlenmiş spam numaralar otomatik olarak uygulamanın sanal hafızasına yüklenecek ve engelleme işlemleri listeye göre gerçekleştirilecektir.

Google PlayStore Hizmetine başvurularak belirlenmiş Android sürümleri için uygulama yayınlanması kararlaştırılmıştır. Başarılı bir ürün durumunda uygulamanın IOS versiyonun tasarımı da diğer bir hedefimizdir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma “2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projelerini Destekleme Programı” kapsamında desteklenmiştir. Bilimin ve bilim insanlarının destekçisi olan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] S. B. Alagoz and E. Ceylan , "Tüketicilerin mobil reklamlara karşı tutumlarının anlık satın alma davranışına etkisi" PressAcademia Procedia, vol. 7, no. 1, ss. 101-108, 2018.
- [2] S. Barutçu and M. Ö. Göl , "Mobil reklamlar ve mobil reklam araçlarına yönelik tutumlar" Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Social and Economic Research, vol. 2009, no. 2, ss. 24-41, 2009.
- [3] Y. Bozkurt “Reklamlara karşı reklam engelleme programları: tüketiciler nasıl tepkiler veriyor?” Galatasaray University Journal of Communication. Istanbul, vol. 30, ss. 117-145, 2019.
- [4] F. Çakır, M. Çakır & T. E. Çiftçi, "Tüketicilerin sms reklam mesajlarına yönelik tutum ve davranışları", Journal of Organization and Management Sciences, vol. 1, no. 2, ss. 27-35, 2010.
- [5] R. R. Durucasu ve N. F. Aksoy , "Sms reklamları ve mobil bilgi servislerine yönelik tüketici tutumunu belirleyen bir araştırma", Journal of Aksaray University Faculty of Economics and Administrative Sciences, vol. 2, no. 8, ss. 1-13, 2016.
- [6] B. A. Eriş & H. Kımiloğlu, “Tüketicilerin çeşitli mobil pazarlama faaliyetlerine yaklaşımı” Journal of Marketing and Marketing Research, Istanbul, vol. 5, no. 10, ss. 41-58, 2012.
- [7] B. Karagöz & B. Çağlar, “Perakende sektöründe mobil pazarlama uygulamalarına karşı tüketici davranışlarının incelenmesi” AJIT-e: Online Journal of Information Technologies, Istanbul, vol. 4, no. 2, ss. 1-17, 2011.

- [8] B. Külter Demirgüneş & M. Y. Avcılar, "Tüketicilerin mobil reklamları kabullenmeleri üzerinde reklam içeriği, reklamda algılanan değer ve akış deneyiminin etkisi: üniversite öğrencileri üzerine bir uygulama" Ankara University Journal of SBF, vol. 4, no. 72, ss. 1219-1248, 2017.
- [9] B. B. Solak & Z. Akyol, "Mobil pazarlamanın ilk uygulaması olan sms reklamlarına yönelik eğilimlerin saptanması: üniversite öğrencileri üzerine bir inceleme" MANAS Journal of Social Studies, vol. 2, no. 9, ss. 886-898, 2020.
- [10] Calls blacklist, URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vladlee.easyblacklist&hl=tr&gl=US> (Erişim Tarihi; 01, 27, 2023).
- [11] Mr. Number - Caller ID & Spam, URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mrnumber.blocker&hl=tr&gl=US> (Erişim Tarihi; 01, 27, 2023).
- [12] Google play developer distribution agreement, URL: https://play.google.com/intl/ALL_tr/about/developer-distribution-agreement.html (Erişim Tarihi; 01, 27, 2023).
- [13] Permissions and apis accessing sensitive information, URL: <https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/9888170?rd=1> (Erişim Tarihi; 01, 27, 2023).

GÜL HASTALIĞI TEŞHİSİ İÇİN KARAR AĞACI ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZİ**

** Bu çalışmanın özeti 13-14 Mayıs 2022 tarihlerinde gerçekleştirilen Uluslararası Marmara Bilim Kongresi'nde sunulmuştur.

Burcu DURMUŞ^{1,a,*}, Öznur İŞÇİ GÜNERİ^{1,b}, Nevin GÜLER DİNCER^{1,c}

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Muğla

^a burcudurmus@mu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0298-0802

^b oznur.isci@mu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3677-7121

^c nguler@mu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0361-1803

ÖZET

Veri madenciliği konuları arasında sıklıkla kullanılan sınıflandırma yöntemi, pek çok algoritmaya kıyasla pratik ve hızlı çözümler sunan alternatif bir yöntemdir. Sınıflandırma yönteminde veriler içerisindeki bilgiler, bağıntılar, desenler ve benzerliklerden yola çıkılarak çeşitli algoritmalar yardımıyla model oluşturulur. Bu model üzerinden yeni gözlemler için sınıf tahmini yapılır. Bu çalışmada, farklı karar ağacı algoritmaları ile gül hastalığı teşhisi için (hasta-hasta değil) sınıflandırma analizi yapılmıştır. Çalışmada amaç; gözlemin hasta-hasta değil şeklinde sınıflandırılmasından ziyade, bu ayırım yapılırken kullanılan değişkenlerin neler olduğunun belirlenmesi ve literatür ile kıyaslanmasıdır. Eğitim ve test aşamasında veriler, çapraz doğrulama ile karşılaştırılmıştır. En başarılı yöntem tespit edilirken doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC, ROC Area, PRC Area ve Kappa değerleri göz önüne alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda en yüksek sınıflandırma başarısı, REP Tree algoritması ile %91.5 olarak elde edilmiştir. REP Tree algoritmasının sonucuna göre gül hastalığı için; kök düğümde yer alan güneş değişkeni güneş kremi kullanımının ve güneşten kaçınmanın önemini, iç düğümde yer alan stres değişkeni ise stresten uzak kalmanın önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar ağaçları, sınıflandırma, makine öğrenmesi, gül hastalığı.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atrif (Citation): Durmuş, B., Güneri, Ö. İ., Dincer, N. G., "Hastalık Teşhisi için Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırmalı Bir Analizi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 13-35, 2023.

Geliş (Received): 11/10/2023

Kabul (Accepted): 28/12/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

A COMPARATIVE ANALYSIS OF DECISION TREE ALGORITHMS FOR ROSE DISEASE DIAGNOSIS

ABSTRACT

The classification method, which is frequently used among data mining topics, is an alternative method that offers practical and fast solutions compared to many algorithms. In the classification method, a model is created with the help of various algorithms based on the information, correlations, patterns and similarities in the data. Class prediction is made for new observations using this model. In this study, classification analysis was performed for rosacea diagnosis (patient-non-patient) with different decision tree algorithms. The main purpose of the study is; rather than classifying the observation as patient or non-patient, the aim is to determine the variables used in making this distinction and compare them with the literature. During the training and testing phase, the data were compared with cross-validation. While determining the most successful method, accuracy, precision, sensitivity, F-measure, MCC, ROC Area, PRC Area and Kappa values were taken into consideration. As a result of the analysis, the highest classification success was achieved as 91.5% with the REP Tree algorithm. According to the results of the REP Tree algorithm, for rosacea; The sun variable located in the root node emphasizes the importance of using sunscreen and avoiding the sun, and the stress variable located in the internal node emphasizes the importance of staying away from stress.

Keywords: Decision trees, classification, machine learning, rosacea.

1. GİRİŞ

Veri madenciliği, veri yığınları içerisinde yer alan ortaya çıkarılmamış gizli ve faydalı bilgilerin belirli kurallar çerçevesinde ortaya çıkarılarak analiz edilmesi sürecidir (Ata ve Erbudak, 2022). Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve veriye erişimin kolaylaşmasıyla birlikte veri madenciliği yöntemlerinin uygulamalarında önemli bir artış gözlemlenmiştir.

Sağlık alanında veri madenciliği çalışmalarına ise ilk kez 1970'lerde temelleri atılan ve daha sonraki yıllarda geliştirilen uzman sistemler ile başlanmıştır. Ancak sağlık alanındaki verilerin hızla değişmesinden dolayı uzmanlar arasında görüş farklılıkları meydana gelmiş ve sağlık alanında veri madenciliği çalışmaları kesintiye uğramıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde sağlık durumu ve tedavi maliyet tahminleri için sinir ağları kullanılmış ve bu yıllardan sonra

sağlık alanında veri madenciliği yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Yıldırım vd., 2008). Veri madenciliği yöntemleri sağlık ile ilgili olarak test sonuçlarının tahmini, hastalık tanı ve teşhisi, hastalık düzeyinin belirlenmesi, ölüm ve hastalık varlığının tahmin edilmesi, klinik dokümanların analiz edilmesi, hastane, ilaç ve tedavi maliyet hesaplanması gibi pek çok konuda kullanılmaktadır.

Rozase (gül hastalığı), erişkinlerde sıkça rastlanan kronik dermatolojik hastalıklardan biridir (Webster, 2003). Halk arasında gül hastalığı olarak bilinmektedir. Gül hastalığına ait semptomlar her yaşta görülebilir; ancak 30-60 yaşları arasındaki bireylerde hastalık varlığı ile daha sık karşılaşılır (Zuber, 2000). Alevlenme ve iyilik halleri gibi durumlar görülen bu hastalık kadınlarda daha çok görülmesine rağmen, erkeklerde daha ciddi seyretmektedir. Gül hastalığı ırk ayrımı yapmamaktadır (Litt, 1997). İsveç'te yapılan bir çalışmada hastalığın toplumda görülme sıklığı %10 olarak raporlanmıştır (Berg ve Liden, 1989). Hastaların %57'si bu hastalığın sosyal yaşamlarını olumsuz etkilediğini ifade etmiştir (Zuber, 2000).

Son yıllarda gül hastalığı üzerine yapılan araştırmalarda hastalığın altta yatan sebeplerinin araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Birçok gözlemsel çalışmada gül hastalığının bazı sistemik hastalıklarla ilişkisi olduğu ortaya konmuştur. Hastalığın oluşumunun ve gelişiminin nedenleri tam olarak bilinmemektedir; ancak sigara ve alkol tüketimi, *Helicobacter pylori* enfeksiyonu, depresyon, hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar, anksiyete bozukluğu, dislipidemi, diyabet, migren, romatoid artrit, ülseratif kolit ve demans gibi birçok sistemik hastalığın gül hastalığına daha sık eşlik ettiği düşünülmektedir (Aldrich vd., 2015; Chosidow ve Cribier, 2011; Haber ve El Gemaye; 2018; Spöndlin vd., 2012; Yorulmaz ve Kulcu, 2015). Bu durum, gül hastalığının deriye sınırlı lokalize bir hastalık mı yoksa bazı sistemik bulgu ve sonuçları olabilecek bir hastalık mı olduğu sorusunu gündeme getirmektedir (Holmes vd., 2018).

Gül hastalığının kesin bir tedavisi yoktur. Hastalara uygulanan tedavinin amacı ciltteki belirtileri hafifletmek, hastalığın kötüye gitmesini önlemek ve şikayetlerin azalmasını sağlamaktır. Bunun için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Aybey, 2022; Bingöl, 2021; Anadolu Sağlık, 2021). Oral akne ilacı; kistli akneyi veya diğer hafif ilaçlara karşı inatçı olan akneyi tedavi etmek için kullanılan ilaçlardır. Oral antibiyotikler ise; iltihaplanmanın çoğalmasını engelleyerek hastalığın gerilemesine yardımcı olur. Ayrıca akne sayısının azalmasında da etkilidir. Oral antibiyotikler şiddetli aknesi olan ya da kremlerden fayda

göremeyen hastalarda tercih edilmektedir. Ağrı kesiciler; hastalığın ilerleyen aşamalarında hissedilen sancılar için etkili olmaktadır. Kızarıklık giderici kremler; cilt üzerindeki kırmızı görüntüyü azaltmaya yardımcı olmaktadır. Lazer ve diğer ışık bazlı cihazlar; ciltteki kırmızı görüntünün giderilmesi için kullanılan alternatif bir yöntemdir. Düzenli uygulanan cilt bakım rutinleri; hastalığın alevlenme sıklığı, kırmızı görünümü ve hastalığa bağlı oluşan diğer belirtilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Cilt bakım rutini esnasında yüze çok dokunulmamalı, yüz bölgesi keselenmemelidir. Temizlik için uygun dermatolojik ürünler tercih edilmeli ve cilt düzenli olarak nemlendirilmelidir. Tetikleyicilerin tespiti; hastalığın şiddetine doğrudan etki eden tetikleyici durumların, yiyeceklerin, içeceklerin belirlenmesi alınacak önlemler için gereklidir. Antioksidan özelliği olan ve yüksek miktarda B vitamini içeren yiyecekler (avokado, zencefil, lahana vb.) tüketilmelidir. Düzenli olarak güneş kremi kullanmak hastalığın belirtilerini azaltmaya yardımcı olan bir başka yöntem olarak değerlendirilebilir. Yaygın olmamakla birlikte cerrahi yöntemler hastalığın son aşamasında kullanılabilir. Ancak 13-cis-retinoic acid adı verilen bu tedavi, oldukça fazla yan etkiye sahiptir ve pek fazla önerilmemektedir.

Gül hastalığının teşhisi, hastalığın seyri ve uygulanacak tedavinin doğru ve etkili bir şekilde uygulanması açısından önem teşkil eder. Gül hastalığı, genel olarak klinik muayene ile tespit edilebilen bir hastalıktır. Ancak hastanın birden fazla cilt problemine aynı anda sahip olduğu bazı durumlarda hastalığın ayırt edilmesi zorlaşabilir. Bu gibi durumlarda, son yıllarda oldukça popüler olan ve üzerine sıklıkla çalışılan bir konu olan sınıflandırma yönteminden yararlanılabilir.

Heo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2021) veri madenciliği yöntemi aracılığıyla akne, gül hastalığı, büllöz deri hastalığı ve piyodermagangrenozum gibi birçok cilt hastalığı için önerilen doksisisiklin adındaki antibiyotiğin olumsuz etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada otuz yedi sinyal arasından gül hastalığı dahil on dokuzunun altı ülkenin hiçbir ilaç etiketinde yer almadığı ortaya konmuştur.

Cho ve arkadaşları (2020) klasik bir tıp metnini veri madenciliği yoluyla cilt bakımı için aday şifalı bitkilerin kapsamlı bir listesini hazırlamışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre inulae flos, gül hastalığı ile ilişkilendirilen tek bitki olmuştur.

Rajalingam ve arkadaşları 2023 yılındaki çalışmalarında 200.000'den fazla gönderiden oluşan denetimsiz bir makine öğrenimi analizi ile gül hastalığına sahip hastaların birincil

endişelerinin yanı sıra çevrimiçi hastalık arama kalıplarını daha iyi anlamayı araştırmışlardır. Gül hastalığı için büyük bir çevrimiçi forumda yapılan tüm gönderilerin analiz edilmesi, önemli endişe konularına ve tedavide belirtilen tercihlere ışık tutmuş ve buna ek olarak, olumlu veya olumsuz duyguların açığa vurulması ve destek mesajları da dahil olmak üzere daha önce keşfedilmemiş anlatılar keşfedilmiştir.

Kim ve Kim (2023) beş bitkiden oluşan bitkisel bir ilaç olan gyejibokryeong-hwan (GBH)'ın gül hastalığı üzerindeki potansiyel farmasötik mekanizmasını araştırmışlar ve ağ analizine dayalı gül hastalığı için 4 kılavuzda önerilen kimyasal ilaçlarla karşılaştırmalı analiz yoluyla GBH'ye özel terapötik noktaları araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma GBH'nin gül hastalığı üzerindeki potansiyel altta yatan mekanizmasını aydınlatmıştır. GBH'nin, potansiyel olarak "IL-17 yolu" ve "nöroinflamatuvar yanıt" yoluyla kapsamlı bir farmakolojik şekilde gül hastalığı üzerinde etkili olabileceği ve gül hastalığı tedavisine yönelik mevcut kimyasal ilaçların hedef almadığı "damar yarası iyileşmesinde" rol oynayabileceği ortaya konmuştur.

Literatür incelendiğinde, gül hastalığının tespiti için karar ağaçlarına yönelik bir çalışmanın mevcut olmadığı görülmektedir. Oysa uygun karar algoritmaları ile veriler kolayca modellenebilir ve hastalık teşhisi yapılabilir. Bu çalışmada, gül hastalığının sınıflandırma yöntemlerinden karar ağaçları yapılarıyla modellenmesi üzerinde durulmuştur. İki sınıflı olan (hasta, hasta değil) gül hastalığı verileri için, farklı karar ağacı algoritmaları ile karar yapıları oluşturulmuş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Sınıflandırma sonuçları farklı performans kriterleri ile tartışılmıştır. Başarımı yüksek karar yapısına sahip algoritmalar tedavi sürecine yardımcı olmak amacıyla uzmanlara önerilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Belli vd. (2016) tarafından Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Dermatoloji Polikliniği'nde toplanan gül hastalığı verileri kullanılmıştır. Verilerin farklı karar ağacı algoritmaları yardımıyla sınıflandırması yapılmış ve algoritmaların performans analizleri karşılaştırılmıştır.

2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti Belli vd. (2016) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiştir. Veri setinde yer alan kontrol grubu, polikliniğe gül hastalığı dışında çeşitli dermatolojik şikayetlerle başvuran hastalardan ardışık olarak seçilmiştir. 94 örnek içeren veri

seti teşhis sonucu olarak hasta ve hasta değil olarak işaretlenmiştir. Veri setinde sınıf kategorisi hariç 28 öznitelik bulunmaktadır. Tablo 1’de veri seti içerisinde bulunan 29 özniteliğin tanımları, değer aralıkları, ortalamaları ve standart sapma değerleri verilmiştir.

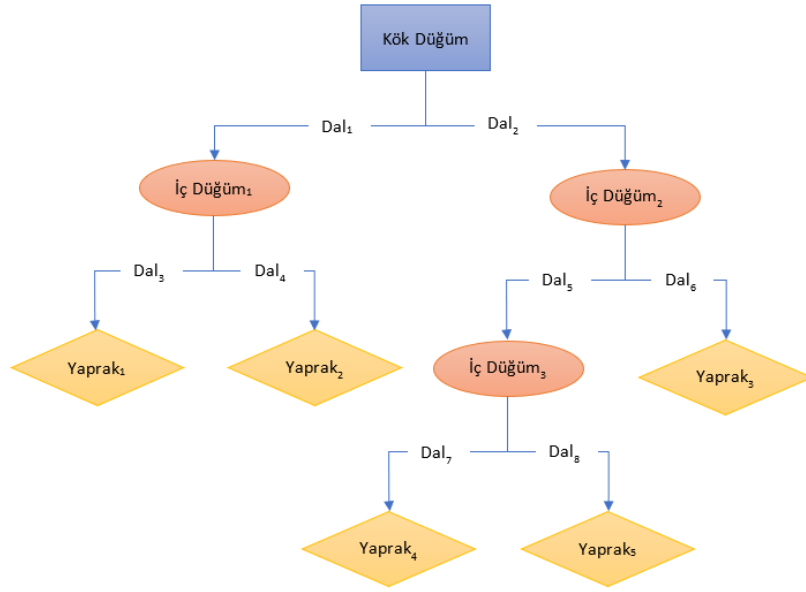
Tablo 1. Verilere ilişkin öznitelik açıklamaları ve değerleri

Numara	Öznitelik Tanımlaması	Değer Aralığı	Ortalama	Standart Sapma
1	cinsiyet	1-2	-	-
2	yaş	35-78	50.404	9.065
3	güneş	0-1	-	-
4	baharat	0-1	-	-
5	stres	0-1	-	-
6	sıcak	0-1	-	-
7	soğuk	0-1	-	-
8	sigara tüketimi	0-1	-	-
9	alkol tüketimi	0-1	-	-
10	egzersiz yapma	0-1	-	-
11	kilo	50-97	71.479	10.192
12	boy	150-182	162.521	7.028
13	bel çevresi	62-120	87.745	11.102
14	ldl	57-210	126.045	30.109
15	trigliserid	36-324	116.979	62.568
16	kolesterol	132-300	208.851	36.315
17	açlık kan şekeri	69-135	94.404	10.663
18	insülin	3.24-26.37	9.463	4.876
19	crp	0.06-89.51	3.693	9.755
20	hdl	31-104	58.138	15.122
21	sistolik kan basıncı	90-170	122.766	17.049
22	diyastolik kan basıncı	60-100	78.191	9.27
23	ailede hastalık öyküsü	0-1	-	-
24	bmi	20.9-36.5	27.074	3.779
25	insülin direnci	0.68-6.38	2.234	1.263
26	metabolik sendrom	0-1	-	-
27	hgba1c	0.06-6.96	4.655	2.202
28	antiht	0-1	-	-
29	sınıf	1-2	-	-

2.2. Karar Ağaçları

Sınıflandırma analizinde en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelen karar ağaçları, istatistiksel olarak birbirleriyle anlamlı olan grupları tespit ederek sonuçları kolay okunabilir ağaç diyagramlarına dönüştüren kurallar bütünüdür.

Karar ağacının genel yapısı dal, düğüm (kök düğüm ve iç düğüm) ve yapraklardan oluşmaktadır (Şekil 1). Karar ağacının yapısındaki düğümler nitelikleri temsil eder. Dalları ve yapraklar ise ağacın birer elemanıdır. Kök düğüm, ağaç yapısının en üst seviyesinde yer alır ve bir ağaç yapısında yalnızca bir kök düğüm vardır. Ağacın en altındaki elemanlar yapraklardır. Kök düğüm ve yapraklar arasında kalan elemanlar ise dal olarak isimlendirilir (Alpaydın, 2000).



Şekil 1. Karar ağacı yapısı

Karar ağaçlarında her bir dalın gerçekleşme olasılığı vardır. Dolayısıyla düğümlerden dallara veya dallardan düğümlere ulaşma olasılığı hesaplanabilir. Karar ağaçlarında kurallar (IF-THEN rules) kökten yaprağa doğru ilerleyerek oluşturulur.

Karar ağacı yönteminde sınıflandırma işlemi için veri seti, eğitim ve test olarak ikiye ayrılır. Eğitim verileri öğrenme işlemi için kullanılır. Bu aşamada kurallar oluşturulur. Test verileri bu kurallar çerçevesinde sınıflandırılır ve kuralların başarısı test edilir. Başarılı sonuçlar elde edilmesi durumunda kurallar, yeni verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılabilir (Sarmanova ve Albayrak, 2013).

Karar ağaçları ile yapılan sınıflandırmada eğitim verileri tek sınıf içeren alt kümelere bölünür. Bu işlemin sonucunda karmaşık ve büyük bir ağaç yapısı elde edilir. Bu durumda ağaç yapısının gereksiz karmaşıklığını azaltmak için 'budama' yapılır. Budama, oluşturulan

ağaç yapısındaki alt kümelere yaprak atanması ile ağaç yapısının daha küçük bir yapıya indirgenmesidir (Cheng vd., 1988; Friedl ve Brodley, 1997).

Sınıflandırma analizi için geliştirilmiş pek çok karar ağacı algoritması bulunmaktadır. Bölümün devamında çalışma boyunca kullanılan karar ağacı algoritmaları açıklanmıştır.

2.2.1. ID3, C4.5, J48 Algoritmaları

Karar ağaçları için geliştirilen ve yaygın bir şekilde kullanılan algoritmaların başında ID3, C4.5, J48 algoritmaları gelmektedir.

ID3 algoritması, eğitim verilerindeki gözlem ve nitelik sayısının fazla olması durumunda yoğun hesaplama yapmaya ihtiyaç duymadan bir karar yapısı oluşturur. Kategorik veriler için işlem yapan algoritma, Quinlan tarafından sayısal verilerin de kullanılmasını sağlayacak şekilde güncellenmiştir (Quinlan, 1993; Şatır, 2016).

C4.5 algoritması ise, ID3 algoritmasına dayanarak ID3 algoritmasındaki bazı eksikliklerin giderilmesi ile geliştirilmiştir (Bahety, 2014). Bu algoritmada bilgi kazancı oranı, öznitelik seçim ölçütü olarak kullanılır. Böylece en yüksek bilgi kazancı oranına sahip öznitelik seçilir (Bulut, 2016; Şatır vd., 2016).

J48 algoritması, ID3 ve C4.5 algoritmalarının bir türevi ve bu algoritmaların Weka'ya uyarlanmış halidir. J48 algoritmasında, en yüksek bilgi kazancına sahip nitelikler kullanılarak oluşturulan ağaçtan sonuç kararına ulaşılır (Quinlan, 1993). Bu algoritmada amaç, karar ağacını optimize etmektir (Coşkun ve Baykal, 2011).

ID3, C4.5 ve J48 algoritmaları entropi ve bilgi kavramlarına dayanmaktadır. Entropide amaç, veri setini sınıflara ayırmak için gerekli bilgi miktarını hesaplamaktır (Çetinkaya, 1986). Entropi, Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$Entropi(S) = \sum_{i=1}^n -p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

Burada p_1, p_2, \dots, p_n hedef değişkenin sınıflarına ait olasılıkları; S ise niteliğin sahip olabileceği farklı değerler miktarını göstermektedir.

Karar ağaçları yöntemlerinde baskın değişkenin tespiti için her bir niteliğe ait bilgi kazancı değeri hesaplanır. M özelliğinin S örneği için bilgi kazancı Eşitlik 2 ile hesaplanır (Bahety, 2014). Bilgi kazancı en yüksek olan özellik, kök düğüm olarak ağaç yapısında yerini alır.

$$Bilgi Kazancı(M, S) = Entropi(S) - \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} Entropi(S_j) \quad (2)$$

ID3, C4.5, J48 algoritmaları bazı avantajlara sahiptir (Akbal vd., 2017):

- Hem kategorik hem de sayısal veriler için kullanılabilir.
- Eğitim verilerinde eksik değer bulunması durumunda da uygulanabilir.
- Eğitim verilerinin istenmeyen değerlerini eleyebilir (Kaynar vd.; 2016Ture vd., 2009).
- Aşırı uygunluk problemini ortadan kaldırılır.

2.2.2. LMT Algoritması

LMT algoritması, lojistik regresyon ve karar ağacını birleştiren bir sınıflandırma modelidir. Sıradan karar ağaçları, yaprakları parçalı bir sabit model oluşturur. LMT algoritmasında ise ağacın yaprakları parçalı doğrusal regresyon modeline sahip bir karar ağacıdır (Landwehr vd., 2003; Landwehr vd., 2005). Bu algorithmada LogitBoost algoritması, ağacın her düğümünde lojistik regresyon modeli oluşturur. Ardından düğüm C4.5 algoritması kullanılarak ayrıştırılır. Her LogitBoost işleminde kendi sonuçlarından üst düğüm üzerinden yeniden başlatılır. Son adımda ağaç budanır (Sumner vd., 2005).

2.2.3. Random Tree Algoritması

Random Tree algoritması, her düğümde belirli sayıda rastgele seçilmiş özellikleri alır ve ağacı oluşturur (Breiman, 2001). Bu algorithmada budama işlemi yapılmaz. Random Tree algoritmasının veri setine dayalı sınıf olasılıklarının tahmin edilmesine izin veren bir opsiyonu vardır.

2.2.4. Random Forest Algoritması

Random Forest algoritmasında birden fazla karar ağacı oluşturulur. Elde edilen ağaçlar birleştirilerek karar ormanları elde edilir. Random Forest algoritmasında karar ağacı, her bir düğümde rastgele alınan niteliklerin en iyisi seçilerek ve tüm düğümler dallara ayrılarak oluşturulur. Ağaç yapısındaki her bir veri seti, gerçek veri setinden yer değiştirmeli olarak türetilir. Böylece Random Forest algoritması, diğer algoritmalara göre daha hızlı sonuçlar vermektedir. Rastgele özellik seçimi ile ağaçlar geliştirilir. Bu yöntemde budama işlemi uygulanmaz (Breiman, 2001).

2.2.5. LAD Tree Algoritması

LAD Tree algoritması, veri setindeki pozitif ve negatif örnekleri ayırt edebilen mantıksal bir ifadeye dayanır (Holmes vd., 2002). Model oluşturmak için ilk adım, büyük grup desenleri oluşturmaktır. Ardından büyük desen içerisinde modeldeki yaygınlık ve homojenlik açısından belirli gereksinimleri sağlayan gruplar belirlenir. Son aşamada bu gruplardan alt gruplar seçilir (Wisaeng, 2013).

2.2.6. REP Tree Algoritması

REP Tree algoritması, bölme kriteri olarak bilgi kazan ölçütünü kullanır ve azaltılmış hata yöntemine dayalı olarak budama yapar. Son adımda da karar ya da regresyon ağacını oluşturur (Witten vd., 2011). Bu yöntem ile sadece nümerik verilerin modellenmesi yapılır. Kayıp veriler için ise C4.5 algoritması kullanır (Zhao ve Zhang, 2008).

2.2.7. Decision Stump Algoritması

Decision Stump algoritması, tek seviyeli karar ağacı oluşturan bir yöntemdir. Bu yöntemde karar ağacının kök düğümü, direk olarak yaprak düğümlere bağlanır. Decision Stump, sınıflandırma işlemini direk olarak tek bir öznelik değerine bağlı gerçekleştirir. Algoritma genelde tek başına sınıflandırma yapmak için değil, boosting yöntemleri ile hibrit yöntemler oluşturmak için kullanılır (Witten ve Frank, 2005).

2.2.8. Hoeffding Tree Algoritması

Hoeffding Tree algoritması, her gözlemi en fazla bir kez okur ve işler. Büyük veri setlerinde etkin bir şekilde çalışır. Ayrıca Hoeffding Tree algoritması, C4.5 gibi temel (basic) karar ağacı algoritmalarının depolama sorununu çözer. Hoeffding Tree algoritması, oldukça karmaşık karar yapılarında bile kabul edilebilir bir hesaplama maliyeti ile çalışır. Algoritma, karar ağacının her bir düğümünün nasıl parçalanacağına Hoeffding sınırı adı verilen istatistiksel bir değer ile karar verir. Hoeffding Tree algoritmasının önemli bir özelliği, karar ağacının her bir düğümünün test edilmesinin tüm verileri kullanan sınıflandırıcılar ile hemen hemen aynı olmasıdır (Domingos ve Hulten, 2000).

2.2.9. Optimized Forest Algoritması

Optimized Forest algoritması, Random Forest veya Bagging algoritmaları ile optimal bir alt orman belirleyerek karar yapısı oluşturma temellerine dayanan bir yöntemdir (Adnan ve İslam, 2016).

2.2.10. AD Tree Algoritması

AD algoritması, karar ve tahmin düğümlerinden oluşur. Karar düğümleri bir eylemin sonucunu gösterir. Tahmin düğümleri tek bir sayı içerir. AD ağaçları daima hem karar hem de tahmin düğümlerine sahiptir. Test verisi (ya da herhangi bir gözlem) için sınıflandırma, her tahmin düğümünün ve bütün karar düğümlerinin doğru olduğu yollar takip edilerek yapılır (Freund ve Mason, 1999).

2.2.11. BF Tree Algoritması

BF algoritması, böl ve yönet mantığına dayanır. İlk adım olarak, bir nitelik kök olarak atanır. Bu nitelik üzerinden kriterlere göre gruplar ayrılır. Ardından eğitim verileri, kök düğüm esas alınarak alt gruplara bölünür. Her döngüde, genişlemeye en uygun olan alt grup seçilir (Shi, 2007). Bu süreç, belirli bir genişleme katsayısına göre tüm düğümler netleşinceye kadar sürdürülür.

2.2.12. Sys For Algoritması

Sys For algoritması hem ikili hem de çok sınıflı veri kümeleri için çok sayıda karar ağacı ile oluşturulmuş bir yöntemdir (Islam ve Giggins, 2011). Bir Sys For algoritması için aşağıdaki adımlar izlenir:

- Bölünme noktaları bulunur.
- Ağaç sayısı oluşturulur.
- Oluşturulan ağacın 1. seviye düğümü alınır ve rastgele bir nitelik seçilir.
- Önceki adımlarda oluşturulan tüm ağaçlar, Sys For olarak döndürülür.

Bu yöntemde model, karar ağaçlarına ve karar ormanlarına benzer şekilde çalışır (Al-Saggaf ve Nielsen, 2014).

2.3. Performans Göstergeleri

Performans göstergeleri, iki sınıflı bir problem için Tablo 2 ile verilen karmaşıklık (hata) matrisi üzerinden incelenebilir.

Tablo 2. Karmaşıklık matrisi

		gözlemlenen sınıf	
		sınıf=1	sınıf=2
gerçek sınıf	sınıf=1	TP	FN
	sınıf=2	FP	TN

TP: True Positive, FP: False Positive, TN: True Negative, FN: False Negative

2.3.1. Doğruluk (Accuracy, ACC):

Model performansının ölçülmesinde en yaygın kullanılan yöntem doğruluk oranıdır. Bu değer Eşitlik 3'deki gibi hesaplanır.

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \quad (3)$$

Hata oranı, doğruluk değerini 1'e tamlayan değerdir. Hesabı için gerekli denklem Eşitlik 4 ile verilmiştir.

$$ER = \frac{FP+FN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

2.3.2. Kesinlik (Precision, PRE):

Kesinlik kavramı, sınıfı 1 olarak bulunan pozitif örnek sayısının sınıfı 1 olan örnek sayısına oranı olarak tanımlanabilir. Eşitlik 5'deki gibi hesaplanır.

$$PRE = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

2.3.3. Duyarlılık (Recall, REC):

Doğru sınıflandırılmış pozitif gözlem sayısının toplam pozitif gözlem sayısına oranıdır. Eşitlik 6 ile verilen değer duyarlılık oranını hesaplar.

$$REC = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

2.3.4. F-Ölçütü (F-Measure):

Kesinlik ve duyarlılık ölçütleri tek başına anlamlı bir karşılaştırma sonucu çıkarmakta her zaman yeterli olmayabilir. Bu nedenle F-ölçütü (F) tanımlanmıştır. F-ölçütü, kesinlik (PRE) ve duyarlılığın (REC) harmonik ortalamasıdır (Eşitlik 7).

$$F = \frac{2*PRE*REC}{PRE+REC} \quad (7)$$

2.3.5. Kappa İstatistiği (Kappa Statistic, K):

Kappa katsayısı (K), -1 ile +1 arasında değişen ve uyumu ölçen bir değerdir. Eşitlik 8 ile hesaplanır (Bilgin, 2017).

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad (8)$$

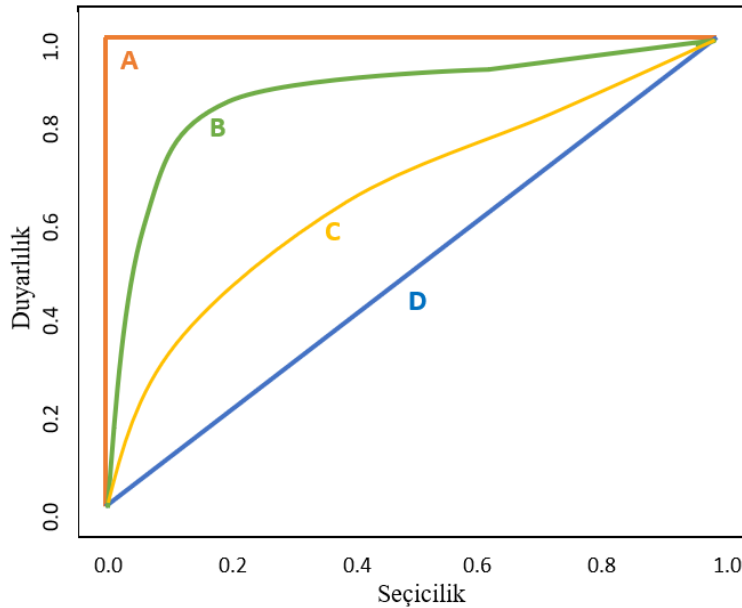
2.3.6. Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC):

Sınıflandırma problemlerinde, modelin ya da fonksiyonun performans derecesini değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür (Cohen, 1960). Eşitlik 9, MCC kriterinin nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

$$MCC = \frac{TP * TN - FP - FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \quad (9)$$

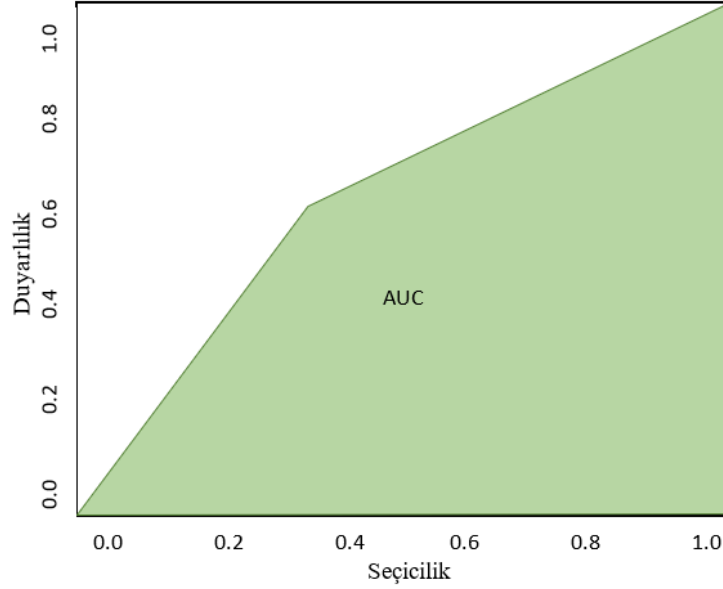
2.3.7. ROC Eğrisi ve ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (AUC):

ROC eğrisi; x-ekseninde yanlış pozitif oran değeri (seçicilik) ve y-ekseninde doğru pozitif oran değeri (duyarlılık) alınarak çizilen eğridir. Şekil 2, farklı eşik değerlerini içeren bir ROC eğrisini göstermektedir. Grafiğe göre; A eğrisinde seçicilik değeri 0 olduğundan testin seçiciliği %100'dür. Duyarlılık değeri 1'dir. Yani testin duyarlılığı %100'dür. D eğrisi ise, en başarısız testtir. Çünkü burada seçicilik değeri 1'dir. B ve C eğrileri ise, orta derecede sonuçlar veren testlere ait eğrilerdir.



Şekil 2. ROC eğrisi

Testlerin performansını değerlendirmede kullanılan ölçütlerden bir diğeri, ROC eğrisi altında kalan alan AUC'dur. AUC değeri, ROC eğrisi altında kalan alanın bir ifadesidir (Şekil 3). AUC değerinin alabileceği en küçük değer 0.50 ve en büyük değer 1'dir.



Şekil 3. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, karar ağaçları yardımıyla gül hastalığına sebep olabilecek değişkenleri belirleyerek hastalığın belirtilerini azaltmaya yönelik uygulanacak yöntemlerin seçilmesinde uzmanlara yardımcı olmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, gül hastalığı üzerine bir veri seti ele alınmıştır. Veri setindeki bağımlı değişken, hasta ve hasta olmayan şeklinde sınıflandırılmıştır. Veriler, Weka 3.8.5 programı üzerinde farklı karar ağaçları yardımıyla modellenmiştir. Sınıflandırma analizi için J48, LMT, LAD Tree, REP Tree, AD Tree, BF Tree, Hoeffding Tree, Decision Stump, Random Tree, Random Forest, Optimized Forest, Sys For algoritmaları kullanılmıştır. Sonuçları değerlendirmek amacıyla doğruluk başta olmak üzere; duyarlılık, kesinlik, F-ölçütü, Kappa istatistik değeri, MCC sayısı, ROC eğrisi ve ROC eğrisi altında kalan alan değeri (AUC) ölçütleri göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda en yüksek sınıflandırma başarısı, REP Tree algoritması (0.915) ile elde edilmiştir. Diğer algoritmalara ilişkin sonuçlar sırasıyla LMT 0.915; Sys For ve BF Tree 0.894; J48, LAD Tree, Random Forest ve Optimized Forest 0.883; AD Tree

0.862; Decision Stump 0.798; Hoeffding Tree 0.787; Random Tree 0.713 şeklinde bulunmuştur. Tablo 3'te karar ağaçları ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 4'te algoritmalarından elde edilen doğru ve yanlış sınıflandırılmış gözlem sayıları verilmiştir. Tablo 3 ve 4'ten görüleceği üzere, diğer performans değerlendirme kriterleri, doğruluk oranı ile paralel sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Sonuç olarak en iyi sonucu REP Tree algoritması vermiş olmasına rağmen, diğer algoritmaların sonuçları da önemsenmeyecek kadar kötü değildir.

Tablo 3. Karar ağacı algoritmaları için sınıflandırma sonuçları

Algoritma	Doğruluk	Duyarlılık	Kesinlik	F-Ölçütü	MCC	ROC Eğrisi	PRC Bölgesi	Kappa İstatistiği
J48	0.883	0.884	0.883	0.766	0.892	0.863	0.863	0.764
LMT	0.915	0.927	0.915	0.914	0.84	0.958	0.958	0.827
LADTree	0.883	0.884	0.883	0.883	0.766	0.895	0.882	0.764
REPTree	0.926	0.935	0.926	0.925	0.859	0.874	0.863	0.849
ADTree	0.862	0.844	0.862	0.862	0.723	0.875	0.859	0.723
BFTree	0.894	0.896	0.894	0.893	0.788	0.894	0.883	0.785
HoeffdingTree	0.787	0.787	0.787	0.787	0.572	0.862	0.84	0.572
DecisionStump	0.798	0.854	0.798	0.786	0.642	0.712	0.714	0.583
RandomTree	0.713	0.724	0.713	0.712	0.438	0.718	0.658	0.43
RandomForest	0.883	0.884	0.883	0.883	0.766	0.932	0.928	0.764
OptimizedForest	0.893	0.896	0.894	0.893	0.788	0.93	0.928	0.785
SysFor	0.894	0.911	0.894	0.892	0.802	0.897	0.876	0.783

Tablo 4. Sınıflandırma algoritmaları ile elde edilmiş doğru ve yanlış sınıflandırılmış gözlem sayısı

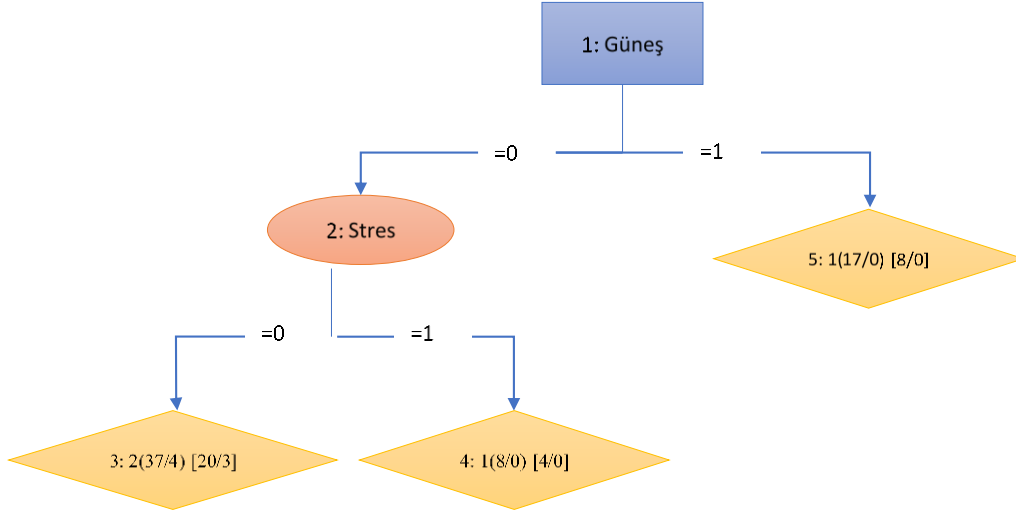
Algoritma	Doğru sınıf. gözlem say.	Yanlış sınıf. gözlem say.
J48	83	11
LMT	86	8
LADTree	83	11
REPTree	87	7
ADTree	81	13
BFTree	84	10
HoeffdingTree	74	20
DecisionStump	75	19
RandomTree	67	27
RandomForest	83	11
OptimizedForest	84	10
SysFor	84	10

Karar ağaçlarından elde edilen modeller, kök düğüm ve iç düğümlerden, sonuç çıktısı olarak da yapraklardan oluşmaktadır. Kök düğüm, modeldeki en yüksek bilgi kazancı değerine sahip değişkendir. İç düğümler ise, modeli kurmada etkili olan diğer değişkenleri içermektedir. Tablo 5, gül hastalığı verileri ile sınıflandırma analizi yapıldıktan sonra elde edilen modellere ilişkin kök ve iç düğüm değişkenlerini göstermektedir. İç düğüm değişkenleri, modeldeki bilgi kazancı değeri sırasına göre verilmiştir. Bu sonuçlar, hastalar için uygun tedavinin ne olabileceği ya da hastaya verilebilecek tavsiyelerin neler olabileceği yönünde fikirler vermektedir.

J48 algoritması ile elde edilen karar ağacında kök düğümü güneş değişkeni ve iç düğümü stres ve baharat değişkenleri oluşturmaktadır. Bu sonuçlar; güneş kreminin önemini, güneşten kaçınmayı ve stresten ve baharatlı yiyeceklerden uzak kalmanın hastalık için önemini göstermektedir.

LAD Tree algoritmasında kök düğümde yer alan güneş değişkeni, güneş kreminin önemini ve güneşten kaçınmayı göstermektedir. İç düğümlerde yer alan stres ve baharat değişkenleri stresten ve baharatlı yiyeceklerden uzak durmayı vurgulamaktadır. Hastanın kilosu, sistolik kan basıncı, metabolik sendrom varlığı ve egzersiz yapma durumları birbirleriyle yakından ilişkilidir. Bu değişkenler birlikte değerlendirildiğinde, hastalarda yağlı ve sağlıksız beslenmenin hastalık için tetikleyici olabileceği düşünülebilir. Ailede hastalık öyküsü değişkeni ise, hastalığın genetik yatkınlıktan kaynaklanabileceğini ortaya koymaktadır.

En iyi doğruluk değerini vermiş olan REP Tree algoritmasının sonucuna göre; kök düğümde yer alan güneş değişkeni güneş kremi kullanımının ve güneşten kaçınmanın önemini, iç düğümde yer alan stres değişkeni ise stresten uzak kalmanın önemini vurgulamaktadır. Şekil 4.'te REP Tree algoritmasına ilişkin karar ağacı verilmiştir.



Şekil 4. REP Tree algoritması karar ağacı

AD Tree algoritmasında karar için üç model oluşturulmuştur. Birinci modelde güneş kök düğümü oluşturmakta ve güneş kremi kullanımının ve güneşten kaçınmanın önemli olduğunu göstermektedir. İç düğümlerde yer alan crp değişkeni vücutta enfeksiyon başladığının bir habercisi olabileceken, sistolik kan basıncı, metabolik sendrom ve hdl değişkenleri kalp ile ilgili bir hastalığın habercisi olabilir. İnsülin değişkeni ise direkt olarak vücuttaki glikoz ile ilgilidir ve sağlıksız bir beslenme düzenine işaret etmektedir. Bu değişkenler başka ciddi bir hastalığı olmayan hastalarının tedavisi için ele alındığında, hastalara sağlıklı beslenme tavsiye edilmektedir. İkinci model için kök düğüm strestir ve stresten kaçınmanın önemini göstermektedir. İç düğüm güneş ve baharattır. Güneş kremi kullanımının ve güneşten ve baharatlı yiyeceklerden kaçınmanın önemini göstermektedir. Üçüncü model sadece açlık kan şekeri kök düğümünden oluşmaktadır. Açlık kan şekeri, insülin ile doğrudan ilişkili olduğundan benzer şekilde değerlendirilebilir.

Random Tree algoritması, kanda bulunan bir lipid (yağ) türü olan trigliserid kök düğümünden oluşmaktadır. Bu değişken kilo, egzersiz, glikoz gibi değişkenlerde olduğu gibi sağlıksız beslenme şeklinde yorumlanabilir. İç düğümlerde yer alan egzersiz, açlık kan şekeri, hdl, bmi, kilo, kolesterol, crp değişkenleri de yine aynı şekilde beslenme ile yorumlanabilir. Stres değişkeni, stresten uzak kalma; güneş değişkeni, güneş kremi kullanımı ve güneşten kaçınma; baharat değişkeni, baharatlı yiyeceklerden kaçınma olarak değerlendirilebilir. Yaş ve boy değişkenleri, boyun yaşa bağlı olarak değişmesinden dolayı birlikte değerlendirilebilir.

Gül hastalığına ilerleyen yaş gruplarında daha sık rastlandığı düşünüldüğünde, modelde yerini alması beklenen bir durum olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde kadınlarda erkeklere göre daha sık görülmesi de model için beklenen bir durumdur. Sigara tüketimi değişkeninin modelde yer alması, hastanın sigaradan da kaçınması gerektiğini göstermektedir.

BF Tree, Decision Stump, Optimized Forest ve Sys For algoritmalarından elde edilen modellerde; yukarıda bahsedilen değişkenler yer almaktadır ve benzer şekilde yorumlanabilirler. Random Forest ve Hoeffding Tree algoritmaları ile yüksek başarımlar elde edilmesine rağmen, modelde yer alan değişkenlerin neler olduğu saptanamamıştır.

Tablo 5. Karar ağacı ile elde edilmiş modellere ait kök düğüm ve iç düğüm değişkenleri

Algoritma	Kök Düğüm	İç Düğümler
J48	güneş	stres, baharat
LAD Tree	güneş	stres, baharat, sistolik kan basıncı, egzersiz, metabolik sendrom, kilo, ailede hastalık öyküsü
REP Tree	güneş	stres
AD Tree	1.güneş, 2.stres, 3.açlık kan şekeri	1.crp, sistolik kan basıncı, hdl, metabolik sendrom, insülin 2.güneş, baharat -
BF Tree	güneş	stres, baharat, sistolik kan basıncı
Hoeffding Tree	-	-
Decision Stump	güneş	-
RandomTree	trigliserid	egzersiz, açlık kan şekeri, hdl, yaş, stres, crp, güneş, cinsiyet, baharat, bmi, kilo, boy, sigara tüketimi, kolesterol
Random Forest	-	-
	1.egzersiz	1.diyostalik kan basıncı, stres, güneş, hdl, kolesterol, boy, insülin
	2.stres	2.crp, güneş, cinsiyet, trigliserid, egzersiz, kolesterol, hdl
Optimized Forest	.	.
	.	.
	.	.
	85.trigliserid	85.boy, kolesterol, insülin direnci, güneş, yaş, stres, açlık kan şekeri, hdl
	1.güneş	1.stres
	2.stres	2.güneş
Sys For	.	.
	.	.
	.	.
	13.açlık kan şekeri	13.stres

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gül hastalığı, deri üzerinde kırmızı kaşıntılı döküntüler ile seyreden bir rahatsızlıktır. Gül hastalığı, görüntüsünün kötü olması ve günlük yaşamı olumsuz etkilemesinden dolayı hastaları hem fiziksel hem de psikolojik olarak etkilemektedir. Hastalığının kesin bir tedavisi yoktur, ancak bazı yöntemler ile hastalığın belirtileri ve etkileri azaltılabilmektedir. Tedavi için belirli bir yöntem olmadığından dolayı uzmanlar, tedavi seçiminde hastalığın fizyolojik özellikleri, bulunduğu yer, yayılım miktarı gibi belirtileri dikkate almaktadırlar.

Bu çalışmanın temel amacı, pek çok sınıflandırma analizine dayalı çalışmada olduğu gibi kişinin gül hastası olup olmadığını belirlemekten ziyade; hangi değişkenlerin hasta üzerinde etki bıraktığını tahmin etmektir. Bu amaçla, farklı karar ağacı algoritmaları ile çalışılmıştır. Öncelikle verilerin farklı algoritmalar ile nasıl performans sergilediği araştırılmıştır. İnceleme sonucunda, tüm karar ağaçlarının %70'in üzerinde başarılı performans sergilediği görülmüştür. İkinci adımda, karar ağaçları ile elde edilmiş modellerdeki kök ve iç düğümlerde yer alan değişkenler incelenmiş ve sonuç olarak hastalığı etkileyen ya da etkileyebilecek olan sebepler belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, gül hastalığının tedavisinde izlenilecek yol hakkında ipuçları vermektedir.

Farklı algoritmalar ile elde edilen ve Tablo 5 ile sunulan sonuçlar, literatürde gül hastalığı ile ilgili yapılan dermatolojik araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Bu yönüyle çalışmadan elde edilen sonuçlar hem yapılan önceki çalışmalarını desteklemekte hem de yeni yapılacak çalışmalar için bir yol gösterici olmaktadır. Ancak literatür incelendiğinde, gül hastalığının tespiti için makine öğrenimine ilişkin bir çalışmanın mevcut olmadığı görülmektedir. Bu çalışma, uygun karar algoritmaları ile verilerin kolayca modellendiğini ve hastalık teşhisi yapılabildiğini ortaya koymaktadır. Böylece başarıyı yüksek karar yapısına sahip algoritmalar tedavi sürecine yardımcı olmak amacıyla uzmanlara önerilmektedir. İlerleyen çalışmalarda, farklı makine öğrenimi yöntemleri ile gül hastalığı verileri yeniden modellenebilir ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Adnan, N. ve Islam, Z. (2016), Optimizing the number of trees in a decision forest to discover a subforest with high ensemble accuracy using a genetic algorithm, Knowledge-Based Systems, 110, 86-97.

- [2] Aldrich, N., Gerstenblith, M., Fu, P., Tuttle, M. S., Varma, P., Gotow, E., Cooper, K. D., Mann, M. ve Popkin, D. L. (2015), Genetic vs environmental factors that correlate with rozasea: a cohort-based survey of twins, *Jama Dermatol*, 151, 1213-1219.
- [3] Alpaydın, E. (2000), Zeki veri madenciliği: ham veriden altın bilgiye ulaşma yöntemleri, *Bilişim 2000 Veri Madenciliği Eğitim Semineri*.
- [4] Al-Saggaf, Y., ve Nielsen, S. (2014), Self-disclosure on Facebook among female users and its relationship to feelings of loneliness, *Computers in Human Behavior*, 36, 460-468.
- [5] Anadolu Sağlık (2021), Rozase Hastalığı: Nedir, Nedenleri, Belirtileri ve Tedavisi, *Anadolu Sağlık Merkezi, Deri Hastalıkları Bölümü*.
- [6] Ata, O. ve Erbudak, A. E. (2022), Veri madenciliği ve makine öğrenimi ile döviz kuru tahmini uygulaması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 553-563.
- [7] Freund, Y. ve Mason, L. (1999), The alternating decision tree learning algorithm, *Paper Presented at the Proceedings of the Sixteenth International Conference on Machine Learning*.
- [7] Aybey, B. (2022), Gül Hastalığı (Rozasea) Nedir? Belirtileri ve Tedavisi, *Florence Nightingale Hastaneleri, İstanbul*.
- [8] Bahety, A. (2014), Extension and evaluation of ID3-Decision Tree Algorithm, *Entropy*, 2(1), 1-8.
- [9] Belli, A. A., Gök, S. Ö., Akbaba, G., Etgu, F. ve Doğan, G. (2016), The relationship between rosacea and insulin resistance and metabolic syndrome, *European Journal of Dermatology*, 26, 260-264.
- [10] Berg, M. ve Liden, S. (1989), An epidemiological study of rosacea, *Acta Dermato Venereologica*, 69, 419-423.
- [11] Bilgin, M. (2017), Gerçek veri setlerinde klasik makine öğrenmesi yöntemlerinin performans analizi, *Breast*, 2(9), 683-688.
- [12] Bingöl, M. (2021), Rozasea'da Hastalık Şiddetiyle Sosyal Fobi, Anksiyete, Benlik Saygısı, Uyku Kalitesi ve Dermatolojik Yaşam Kalite İndeksi Arasındaki İlişki, *Uzmanlık Tezi, Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Erzurum*.
- [13] Breiman, L. (2001), Random Forests, *Machine Learning*, 45(1), 5-32.

- [14] Bulut, F. (2016), Çok katmanlı algılayıcılar ile doğru meslek tercihi, Anadolu University Journal of Science and Technology-An Applied Sciences and Engineering, 17(1), 97-109.
- [15] Cem Sönmez, Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akımının Modellenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [16] Cheng, J., Fayyad, U. M., Irani, K. B. ve Qian, Z. (1988), Improved decision trees: a generalized version of ID3, Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning, 100-106.
- [17] Cho, G., Park, H. M., Jung, W. M., Cha, W. S., Lee, D. ve Chae, Y. (2020) Identification of candidate medicinal herbs for skincare via data mining of the classic Donguibogam text on Korean medicine, Integrative Medicine Research, 9(4), 1-9.
- [18] Chosidow, O., Cribier, B. (2011), Epidemiology of rozasea: updated data, Annales de Dermatologie et de Venereologie, 138, 179-183.
- [19] Cohen, J. (1960), A coefficient of agreement for nominal scales, Educational and Psychological Measurement, 20(1), 37-46.
- [20] Coşkun, C. ve Baykal, A. (2011), Veri madenciliğinde sınıflandırma algoritmalarının bir örnek üzerinde karşılaştırılması, XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 51-58.
- [21] Çetinkaya, O. (2011), Belirsizliğin ölçülmesi ve entropi, İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası, 44, 1-4.
- [22] Domingos, P. ve Hulten, P. G. (2000) Mining high-speed data streams, Proceedings of the Sixth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 71-80.
- [23] Friedl, M. A. ve Brodley, C. E. (1997), Decision tree classification of land cover from remotely sensed data, Remote Sensing Of Environment, 61(3), 399-409.
- [24] Haber, R. ve El-Gemayel, M. (2018) Comorbidities in rozasea: A systematic review and update, Journal of American Academy of Dermatology, 78, 786-792.
- [25] Heo, J. Y., Cho, M. K. ve Kim, S. (2022), Data mining for detecting signals of adverse drug reaction of doxycycline using the Korea adverse event reporting system database, Journal of Dermatological Treatment, 33(4), 2192-2197.
- [26] Holmes, A.D., Spoenclin, J., Chien, A.L., Baldwin, H. ve Chang, A. L. S. (2018) Evidence-based update on rosacea comorbidities and their common physiologic pathways, Journal of American Academy of Dermatology, 78(1), 156-166.

- [27] Holmes, G., Pfahringer, B., Kirkby, R., Frank, E. ve Hall, M. (2002), Multiclass Alternating Decision Trees, Paper Presented at the Proceedings of the 13th European Conference on Machine Learning.
- [28] Islam, Z. ve Giggins, H. (2011), Knowledge discovery through SysFor: A systematically developed forest of multiple decision trees, In Proceedings of the Ninth Australasian Data Mining Conference, 121, 195-204.
- [29] Kaynar, O., Görmez, Y., Yıldız, M. ve Albayrak, A. (2016), Makine öğrenmesi yöntemleri ile duygu analizi, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, 234-241.
- [30] Kim, J. ve Kim, K. (2023), Elucidating the potential pharmaceutical mechanism of Gyejibokryeong-hwan on rosacea using network analysis, *Medicine (Baltimore)*, 102(9), 1-11.
- [31] Landwehr, N., Hall, M. ve Frank, E. (2003), *Logistic model trees*, Springer, Berlin.
- [32] Landwehr, N., Hall, M. ve Frank, E. (2005). *Logistic model trees*. *Machine Learning*, 59, 161-205.
- [33] Litt, J. Z. (1997), Rosacea: how to recognize and treat an age-related skin disease, *Geriatrics*, 52, 39-47.
- [34] Quinlan, J. R. (1993), *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers Inc, Massachusetts.
- [35] Rajalingam, K., Levin, N., Marques, O., Grichnik, J., Lin, A. ve Chen, W. S. (2023), Treatment options and emotional well-being in patients with rosacea: An unsupervised machine learning analysis of over 200,000 posts, *Journal of The American Academy of Dermatology*, 13, 172-178,
- [36] Sarmanova, A. ve Albayrak, S. (2013), Alleviating class imbalance problem in data mining, In *Signal Processing and Communications Applications Conference*, 1-4.
- [37] Shi, H. (2007). *Best-First Decision Tree Learning*, The University of Waikato, Hamilton, NewZealand.
- [38] Spöndlin, J., Voegel, J. J., Jick, S. S., Meier, C. R. (2012), A study on the epidemiology of rozasea in the U.K., *British Journal of Dermatology*, 167, 598-605.
- [39] Sumner, M., Frank, E. ve Hall, M. (2005), *Speeding Up Logistic Model Tree Induction*, Springer, Berlin.

- [40] Şatır, E., Azboy, F., Aydın, A., Arslan, H. ve Hacıfendioğlu, Ş. (2016). Veri indirgeme ve sınıflandırma teknikleri ile glokom hastalığı teşhisi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(3), 485-497.
- [41] Ture, M., Tokatli, F. ve Kurt, I. (2009), Using Kaplan–Meier analysis together with decision tree methods (C&RT, CHAID, QUEST, C4. 5 and ID3) in determining recurrence-free survival of breast cancer patients, *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2017-2026.
- [42] Webster, G. F. (2003), *Rosacea and Related Disorders*, Mosby, USA.
- [43] Wisaeng, K. (2013), A Comparison of different classification techniques for bank direct marketing, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3(4), 116-119.
- [44] Witten, I. H. ve Frankk, E. (2005), *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, San Elsevier, Francisco.
- [45] Witten, I. H., Frank, E. ve Hall, M. A. (2011), *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Elsevier Science.
- [46] Yıldırım, P., Uludağ, M. ve Görür A. (2008), Hastane bilgi sistemlerinde veri madenciliği, *Akademik Bilişim, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale*, 429-434.
- [47] Yorulmaz, A., Kulcu, S. C. (2015), *Helicobacter pylori and inflammatory skin diseases*, *World Journal of Dermatology*, 4, 120-128.
- [48] Zhao, Y., ve Zhang, Y. (2008), Comparison of decision tree methods for finding active objects, *Advances in Space Research*, 41(12), 1955-1959.
- [49] Zuber, T. J. (2000), *Rosacea*, *Dermatology*, 27, 309-318.

POLİPROPİLEN/ÜRE FORMALDEHİT POLİMER KARIŞIMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Münir TAŞDEMİR^{1,a,*}, Elif ULUTAŞ^{1,b}

¹Marmara Üniversitesi TF Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Maltepe İSTANBUL

^amunir@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8635-7251

^belif.ulutas@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7753-8878

ÖZET

Endüstride polimerler mukavemetleri ve düşük yoğunlukları nedeniyle hem karışım hem de kompozit halinde değişik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bunların dışında üretim kolaylığı, geniş malzeme seçimi ve atık malzemelerle karışımları bu polimerleri uygulamada ön sıralara çekmektedir.

Bu çalışmada, polipropilen içerisine değişik oranlarda atık üre formaldehit tozları katılarak polimer karışımları üretilmiş ve bu üre formaldehitin polipropilene eklenmesi ile bazı fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Üre formaldehit tozları polipropilen içerisine % 5, 10, 20 ve 30 oranlarında katılarak çift vidalı ekstruderde karıştırılmış ve granül halinde üretilmiştir. Daha sonra bu granüller kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun şekilde test numuneleri basılmıştır. Elde edilen polimer karışımlarının sertlik, ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme oranı, aşınma oranı, statik sürtünme katsayısı ve morfolojik yapısı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, üre formaldehit, toz, enjeksiyon, ekstrüzyon, fiziksel özellikler.

INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/UREA FORMALDEHYDE POLYMER MIXTURE

ABSTRACT

In industry, polymers are frequently used in various applications, both in blend and composite form, due to their strength and low density. Apart from these, ease of production, wide selection of materials and blends with waste materials make these polymers to the forefront of application.

In this study, polymer blends were produced by adding waste urea formaldehyde powders in different proportions into polypropylene, and changes in some mechanical and physical properties

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Atıf (Citation): Taşdemir, M., Ulutaş, E., "Polipropilen/Üre Formaldehit Polimer Karışımının Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 36-48, 2023.

Geliş (Received): 1/10/2023

Kabul (Accepted): 20/11/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

were investigated by adding this urea formaldehyde to polypropylene. Urea formaldehyde powders were added to polypropylene at the rates of 5, 10, 20 and 30%, mixed in a twin screw extruder and produced as granules. Then, these granules were dried and test samples were moulded on the injection machine in accordance with the standards. Hardness, vicat softening temperature, thermal distortion temperature, moisture absorption amount, wear rate, static friction coefficient and morphological structure of the obtained polymer blends were investigated.

Keywords: Polypropylene, urea formaldehyde, powder, injection, extrusion, physical properties.

1. GİRİŞ

Polimerik malzemelerin kullanımı modern hayatı kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda polimerik malzemelerin hayatın her alanında yaygın olarak kullanılması zamanla ciddi atık sorunlarına neden olmaktadır. Artan polimer atık miktarının, küresel olarak ciddi bir sorun haline geldiği ve aynı zamanda petrolden elde edilen bu malzemelerin petrol rezervlerini azalttığı bilinmektedir. Dolayısıyla polimer atıklarının yeniden kullanımları konusu önem arz etmektedir. En çok tercih edilen yöntem atık oranının minimuma indirilmesi ve ardından malzemelerin aynı uygulamada yeniden kullanılmasıdır. Bir diğer yöntem ise geri dönüştürülerek polimer karışımlarında kullanılmasıdır [1], [2].

Polimer karışımları akademik ve teknolojik açıdan büyük ilgi görmektedir. Çoğu durumda, sertlik ve tokluk arasında iyi bir denge arzu edilir. Sentezlenmiş birçok polimerin sertliği, çarpma anında kırılabilirlik ve çatlak ilerlemesi ile karakterize edilir. Bu nedenle tokluğun iyileştirilmesi akademik ve teknolojik araştırmaların konusu olmaktadır [3]. Uyumluluk ajanı eklenmeden üretilen polimer karışımlarının özellikleri genellikle daha düşük çıkmaktadır. Uyumluluk maddeleri matris ve katılan partiküllerin arasındaki temas alanını arttırarak iki bileşenin arayüzey adezyonunu iyileştirir [4]. Blok kopolimeri bu tip karışımlarda uyumluluğu artıran maddeler oldukları bilinmektedir. Stiren-etilen-bütülen-stiren blok (SEBS) kopolimeri esneklik, işlenebilirlik, iyi termal kararlılık vb. sergileyen, yaygın olarak kullanılan elastomerlerdendir [5].

Uluğ ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada, yüksek darbe dayanımlı polistiren (HIPS) içerisine kalsit katmışlar ve uyumluluk maddesi olarak %20-30 oranları arasında SEBS kullanmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada, SEBS'in, HIPS ve kalsit arasında adhezyonu sağladığını rapor etmişlerdir. Buna ek olarak SEBS oranının artmasıyla elastiklik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik değerlerde düşüş tespit etmişlerdir [6].

Benzer şekilde, maleik anhidrit aşılı polipropilen (MA-g-PP), plastik karışımların üretiminde yaygın olarak kullanılan uyumlaştırıcılardan biridir. Polimer karışımlarında kullanılan partiküllerin aşınma davranışı; partikülün tipine, boyutuna ve boyut dağılımına bağlıdır. Bunların dışında matris ile olan uyumları ve aşınma test parametreleri de önem arz etmektedir [7].

Polipropilen (PP), kolay kalıplanabilmesi, mekanik özelliklerinin iyi olması ve düşük maliyeti nedenleriyle otomotiv, ev aletleri ve elektrikli parçalar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan ticari plastiklerdendir.

Üre formaldehit (ÜF), aminlerin veya amidlerin aldehitler ile etkileşimi sonucu oluşan bir aminoplastik türüdür. Çapraz bağlı yapıları nedeniyle termoset grubundandır [1]. Nispeten ucuz ve elektriksel dirençleri iyi olan üre-formaldehit, termoset reçine üretiminin yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır. Günümüzde en önemli uygulamalarından bazıları ise elektriksel parçalar, tekstil düğmeleri, kozmetik kapaklar ve şişelerdir. ÜF'yi birçok uygulama için iyi bir seçenek yapan unsurlar, kimyasal, termal ve mekanik kararlılığının iyi olmasıdır. Böyle bir polimerin aynı zamanda geri dönüşümü de önem arz etmektedir. Polimerin aşınma performansı üzerine birçok araştırma yapılmıştır [8], [9], [10].

Fakat PP/ÜF polimer karışımlarının aşınma performansı hakkında çok az çalışma mevcuttur. Polimerlerin aşınmasına yönelik araştırmalar genellikle aşınma performansı üzerindeki kayma mesafesi, kayma hızı veya uygulanan yük gibi faktörlerin etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, polipropilen içerisine değişik oranlarda atık üre formaldehit tozları katılarak polimer karışımları üretilmiş ve bu üre formaldehitin polipropilene eklenmesi ile bazı fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Üre formaldehit tozları polipropilen içerisine % 5, 10, 20 ve 30 oranlarında katılarak çift vidalı ekstruderde karıştırılmış ve granül halinde üretilmiştir. Daha sonra bu granüller kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun şekilde test numuneleri basılmıştır. Elde edilen polimer karışımlarının sertlik, vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), nem emme miktarı, aşınma oranı, statik sürtünme katsayısı ve morfolojik yapısı incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Kompozisyon ve malzemeler

Bu araştırmada beş farklı grup çalışılmıştır. Aşağıda Tablo 1’de PP/atık üre formaldehit/MA-g-PP polimer karışımının karışım oranları verilmiştir. Literatür çalışmaları sonucunda MA-g-PP oranı %5 olarak alınmıştır.

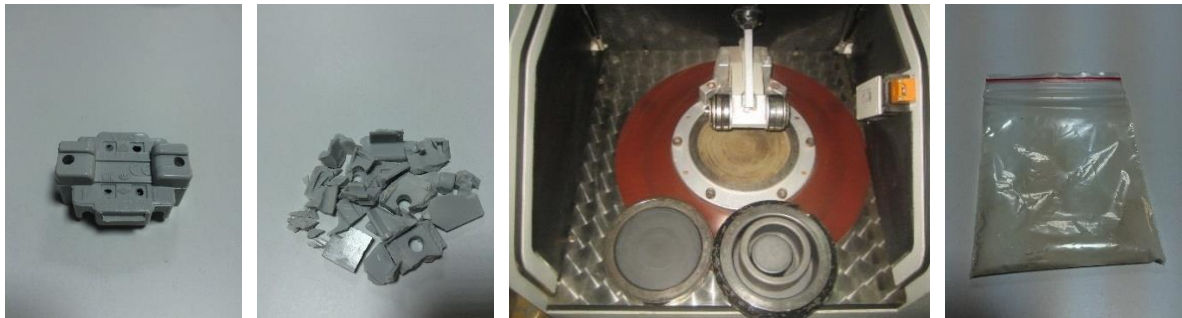
Tablo 1. PP/atık ÜF polimer karışımının oranları

Grup	PP (%)	Atık üre formaldehit (%)	MA-g-PP (%)
1	100	-	-
2	90	5	5
3	85	10	5
4	75	20	5
5	65	30	5

PP (Moplen EP 3307) Lyondell Basell firmasından temin edilmiştir. Yoğunluğu 0,900 g/cm³, MFI değeri 15 g/10 dak. (230 °C, 2,16 Kg) ve ısıl çarpılma sıcaklığı ise 95,0 °C (0,45 MPa)’dir. Atık üre formaldehit parçaları Viko Panasonic firmasından temin edilmiştir. Ticari ismi Bondyram 1001 CN olan MA-g-PP, Polyram Plastic Industries LTD şirketinin ürettiği üründür. MA oranı %1’dir. Yoğunluğu 0,91 g/cm³, MFI değeri 110 g/10 dak(190 °C-2,16kg) erime sıcaklığı ise 167°C’dir. Yukarıda verilen değerlerin tümü firmaların ürettikleri ürünlere ait katalog değerleridir.

2.2 Numune hazırlama

Atık ÜF parçaları Siemens marka öğütücüde (simatic C7-621) öğütülmüştür. Üre formaldehit tozlarının partikül büyüklükleri 10–80µm arasındadır. Aşağıda Şekil 1’de atık üre formaldehit parçalarının toz üretim aşamaları verilmiştir.



Atık parça

Kırma

Öğütme

ÜF tozu

Şekil 1. Atık üre formaldehit parçalarının toz formuna getirilme aşamaları

Toz haline getirilmiş üre formaldehit polipropilen matris ile karıştırılmadan önce Yamato ADP-31 model (Yamato/VWR Scientific Products, Japan) vakum fırınında 105 °C’de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Tüm malzemeler mekanik karıştırıcıda (LB-5601) 20 dakika süresince karıştırılmıştır. Mekanik karışım sonrasında değişik oranlardaki PP/ÜF/MAPP polimer karışımlarının eriyik karışımları 180-220 °C’de, 40-55 bar basınç altında ve 60 devirde aynı yönde dönen Mikrosan marka çift vidalı ekstrüzyon makinesinde yapılmıştır (Mikrosan Makine ve Kalıp San. A.Ş. Kocaeli/Türkiye). Vidanın boy/çap oranı (L/D) 30 olup vida çapı (Ø) 25 mm’dir. Ekstrüzyon sonrasında tüm gruplar 105 °C’de 24 saat boyunca tekrar kurutulmuştur. Bu sıcaklıkta malzeme içerisinde kalan nem kuruyarak yok olur. Buna ek olarak 60-110 °C aralığında T_g (camsı geçiş sıcaklığı) ve 260-355 °C arasında [11] ise termal bozunma sıcaklığına sahip olan üre formaldehit partikülleri kurutma sıcaklığında kararlı kalabilmiştir. Kurutma sonrasında tüm grupların standartlara uygun test numuneleri Yonca marka enjeksiyon makinesinde (Yonca Makina İstanbul/Türkiye) basılmıştır. Enjeksiyon makinesinin vida çapı 50 mm ve mengene kapama basıncı ise 110-120 tondur. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama şartları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. PP/ÜF/MAPP polimer karışımının ekstrüzyon ve enjeksiyonda kalıplama şartları

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	180–220	180–220
Basınç (bar)	40-55	800
Kalıpta bekleme süresi (s)	-	15
Vida hızı (dev/dak)	60	30
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	40

2.3 Fiziksel testler

Her gruptan beş numune test edilmiş ve ortalamaları verilmiştir. Sertlik testi ASTM D2240 standardına göre yapılmıştır (zwick marka). HDT ve Vicat yumuşama noktası testleri sırasıyla ISO 75 ve ISO 307 standartlarına göre CEAST 6521 cihazı ile yapılmıştır. Nem emme miktarı ASTM D 6980 standardına göre Kern DBS 60-3 test cihazı ile yapılmıştır.

2.4 Tribolojik testler

Statik sürtünme katsayısı: Statik sürtünme katsayısı testi ISO 8295 standardına göre Devotrans marka test cihazı ile yapılmıştır. Her gruptan 3 adet test yapılmış ve ortalamaları

verilmiştir. Alt test numune boyutu 80x200x4 mm ve üst kaydırma numune boyutu ise 63x63x4 mm'dir. Sürtünme hızı 100 mm/dak olarak seçilmiştir. Statik sürtünme katsayısını (μ_s) belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\mu_s = F_s / F_p \quad (1)$$

Bu formülde F_s : Newton cinsinden maksimum statik sürtünme kuvveti, F_p : Newton cinsinden kızıağın kütlesi tarafından uygulanan normal kuvveti ifade etmektedir [12].

Aşınma oranı: Aşınma testi DIN 53516 standardına göre Devotrans DA5 (Devotrans Kalite Kontrol Test Cihazları A.Ş. İstanbul-Türkiye) cihazı ile yapılmıştır. Her gruptan 3 adet test yapılmış ve ortalamaları verilmiştir. Burada kullanılan numunenin kalınlığı 7,0 mm ve çapı ise 15,5 mm'dir. Aşınma cihazında tamburun dönme hızı 40 dev/dak ve numune üzerine uygulanan yük ise (F_N) 10N'dur. Aşındırma mesafesi ise (L) 20-40-60 ve 80 m'dir. Aşağıdaki denklem kullanılarak aşınma oranı hesaplanmıştır.

$$W_r = (\Delta m) / \rho \cdot F_N \cdot L \text{ (cm}^3/\text{Nm)} \quad (2)$$

Burada (Δm): aşındırma sonrasında ölçülen malzeme kaybı, (ρ): yoğunluk, (F_N): uygulanan yük, (L): aşındırma mesafesini ifade etmektedir.

2.5 Mikroyapı incelemesi

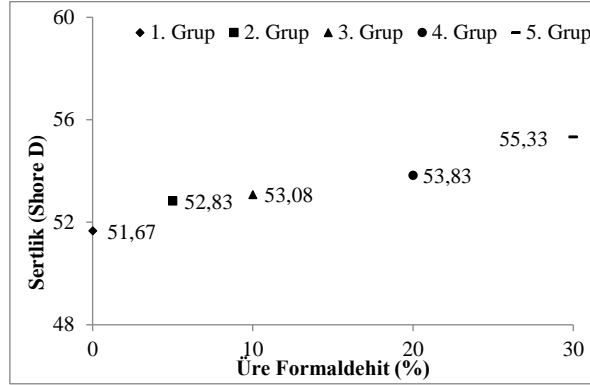
Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeylerinden SEM fotoğrafları çekilmiştir. Kırık yüzeyler, elektriksel şarja maruz kalmasın diye yaklaşık 10 nm kalınlığında altın (Au) (80%)/paladyum (Pd) (20%) alaşımı ile Polaron SC 7620 marka cihaz ile kaplanmıştır. SEM fotoğrafları JEOL-JSM 5910 LV marka taramalı elektron mikroskobunda 5-20 kV voltaj altında çekilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 PP/ÜF/MA-g-PP karışımının fiziksel özellikleri

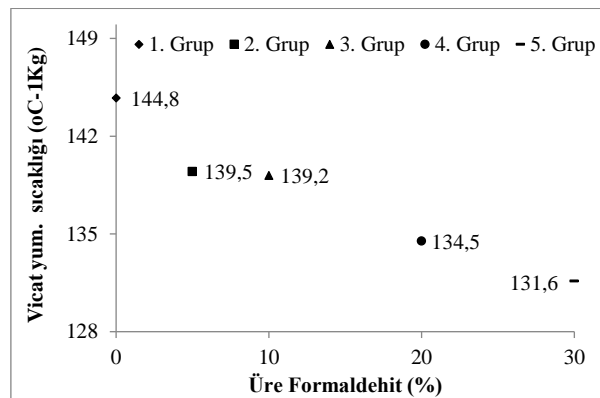
Şekil 2'de üre formaldehit oranının polipropilen matris içerisindeki artışıyla sertlik değerlerinin değişimi görülmektedir. Üre formaldehitin karışım içerisindeki oranının artmasıyla sertlik değerlerinde artış olmuştur. Saf polipropilenin sertlik değeri 51,67 Shore D iken karışıma %5 ÜF ilavesi ile bu değer 53,83 Shore D'ye, %10 ÜF eklenmesiyle 53,08 Shore D'ye, %20 ÜF ilavesiyle 53,83 Shore D'ye ve %30 ÜF ilavesinde ise sertlik değerinin 55,33 Shore D'ye çıktığı tespit edilmiştir. Maksimum sertlik değeri de bu oranda alınmıştır. Saf polipropilenin sertlik değeri %30 ÜF ekli grubun değeri ile kıyaslandığında sertlikte % 7

oranında bir artış olduğu belirlenmiştir. Taşdemir M.'nin yapmış olduğu bir çalışmada HDPE içerisine katılan üre formaldehit toz oranının artmasıyla sertlik değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir [13].



Şekil 2. PP/ÜF polimer karışımının sertlik değerleri

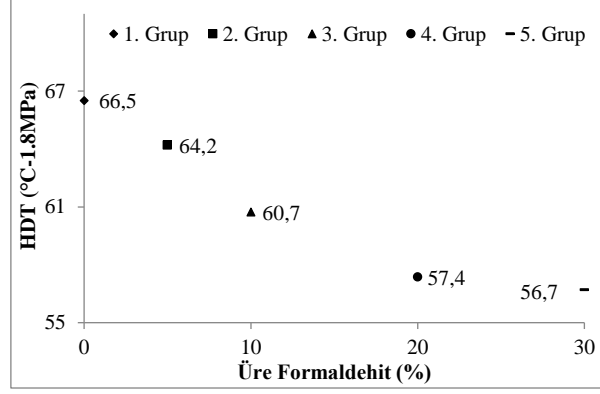
Şekil 3'de ÜF'nin polipropilen matris içerisinde artışıyla vicat yumuşama sıcaklığı değerlerindeki değişimler verilmiştir. ÜF oranının artışıyla vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Saf polipropilenin vicat yumuşama sıcaklığı değeri 144,8 °C olarak ölçülmüştür. Karışıma %5 ÜF ilavesiyle bu değer 139,0 °C'ye, %10 ÜF ilavesinde 139,2 °C'ye, %20 ÜF ilavesinde 134,5 °C'ye ve %30 ÜF ilavesinde ise vicat yumuşama sıcaklık değerinin 131,6 °C'ye düştüğü tespit edilmiştir. Saf polipropilenin vicat yumuşama sıcaklık değerini %30 ÜF ilaveli grubun değeri ile kıyasladığımızda vicat yumuşama sıcaklık değerinin % 9,1 oranında düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 3. PP/ÜF polimer karışımının vicat yumuşama sıcaklığı değerleri

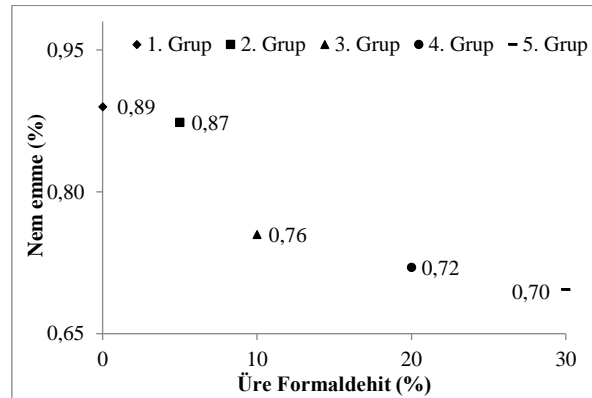
Şekil 4'de üre formaldehit oranının polipropilen matris içerisinde artışıyla HDT değerlerinin değişimi görülmektedir. Üre formaldehit oranının artışıyla HDT değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Örneğin, saf polipropilenin HDT değeri 66,5 °C iken karışımın

içerisine %5 ÜF eklendiğinde bu değer 64,2 °C'ye , %10 ÜF eklendiğinde 60,7 °C'e, %20 ÜF eklendiğinde 57,4 °C'e ve %30 ÜF eklendiğinde ise bu değer 56,7 °C'e düştüğü görülmektedir. Saf polipropilenin HDT değeri ile %30 ÜF ekli grubun değeri kıyaslandığında ısıl çarpılma sıcaklığı değerinin % 14,7 oranında düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4. PP/ÜF polimer karışımının ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT) değerleri

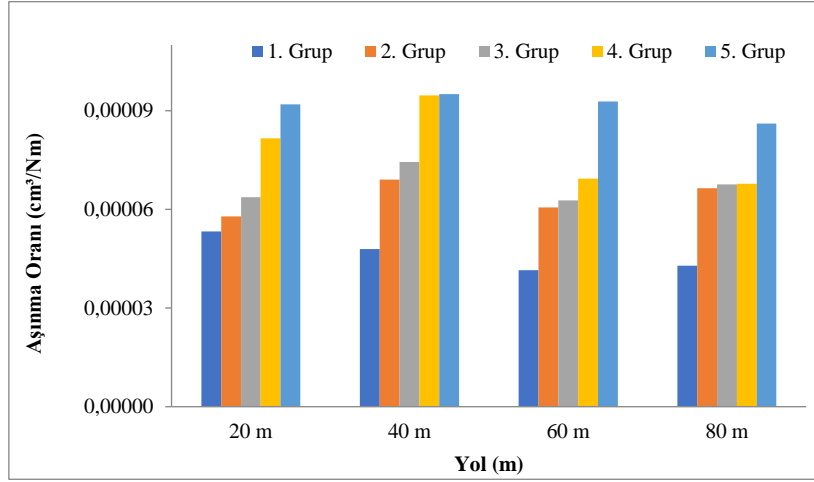
Şekil 5'de üre formaldehit oranının polipropilen matris içerisindeki artışıyla nem emme değerlerinin değişimi görülmektedir. Üre formaldehit oranının artışıyla nem emme değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Saf polipropilenin nem emme değeri %0,89 iken karışımın içerisine %5 ÜF eklendiğinde bu değer %0,87'ye, %10 ÜF eklendiğinde %0,76'ya, %20 ÜF eklendiğinde %0,72'ye ve %30 ÜF eklendiğinde ise bu değer %0,70'e düştüğü görülmektedir. Saf polipropilenin nem emme değeri ile %30 ÜF ekli grubun değeri kıyaslandığında nem emme değerinin % 21,3 oranında düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 5. PP/ÜF polimer karışımının nem emme değerleri

3.2 PP/ÜF/MA-g-PP polimer karışımının aşınma özellikleri

Değişik oranlarda üre formaldehit tozu ilavesiyle elde edilen polimer karışımının aşındırma mesafeleri değiştiğinde aşınma oranı değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

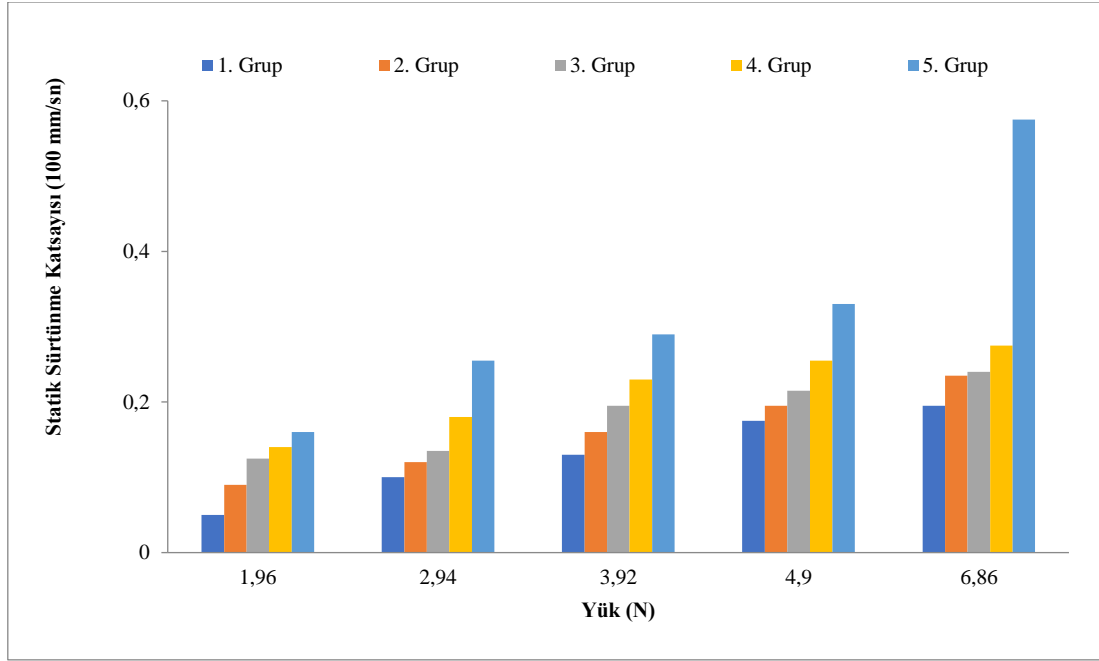


Şekil 6. PP/ÜF polimer karışımının aşınma oranı değerleri

Bu testte kullanılan zımpara kağıdı (#60) numaralı kağıt olup tüm gruplar için uygulanan yük 10 N'dur. Zımpara kağıdının yapışık olduğu kasnağın dönme hızı ise 0,32 m/s'dir. Şekil 6'dan da anlaşılacağı gibi ÜF oranının artışı ile aşınma oranı değerleri de artmıştır. PP/ÜF polimer karışımı içerisinde artan ÜF konsantrasyonu ile birlikte karışımın aşınma oranları artış göstermiştir. Bu artış üre formaldehit partikülü ile PP matrisi arasındaki zayıf adhezyona bağlanabilir. Zayıf etkileşim üre formaldehit partiküllerinin PP'den ayrılmasına ve PP'nin daha kolay dışarı çekilmesine yol açarak kompozitin aşınma oranını artırabilir. Bu nedenle, yüksek düzeyde üre formaldehit eklenmesi ile kompozitin yüksek aşınma oranına sahip olmasına sebebiyet vermiştir.

3.3 PP/ÜF/MA-g-PP polimer karışımının sürtünme özellikleri

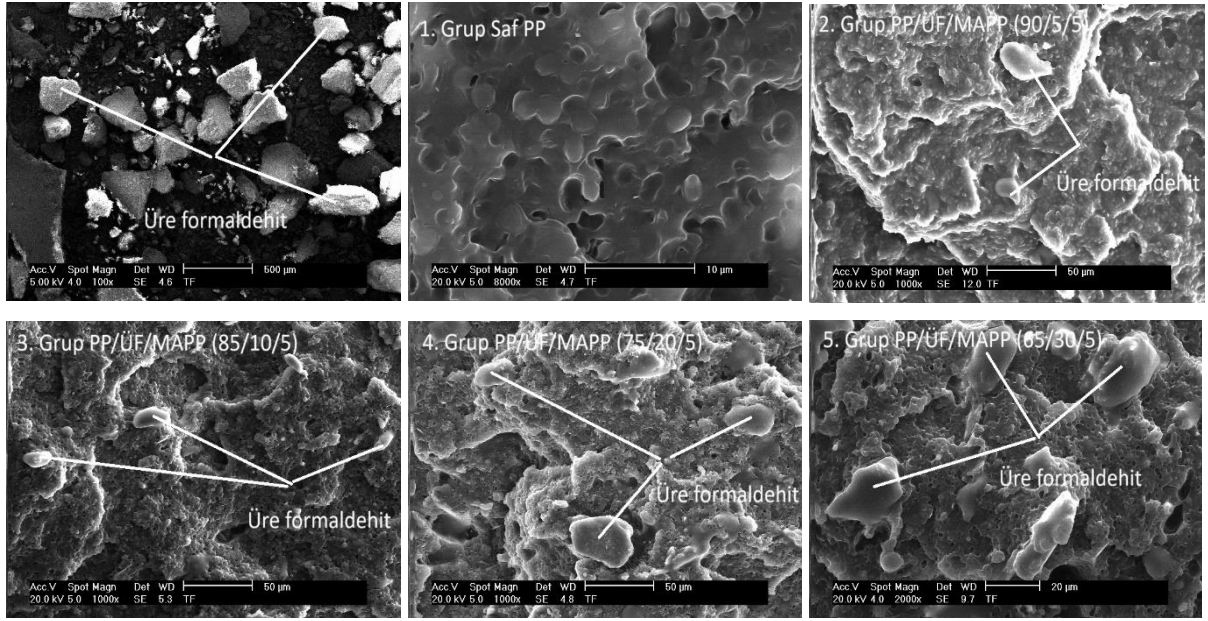
Polipropilene değişik oranlarda katılan üre formaldehitin karışımın statik sürtünme katsayısı değerlerindeki değişim Şekil 7'de verilmiştir. 100 mm/dak hızda ve sırasıyla 1,96 - 2,94 - 3,92 - 4,90 ve 6,86 N yük altında yapılan sürtünme testinde yük ve ÜF oranındaki artış ile statik sürtünme katsayısı değerlerinde büyük bir değişimin olduğu tespit edilmiştir. Yük ve ÜF oranındaki artış ile statik sürtünme katsayısı değerlerinde artış tespit edilmiştir.



Şekil 7. PP/ÜF polimer karışımının statik sürtünme katsayısı değerleri

3.4 PP/ÜF/MA-g-PP polimer karışımının mikroyapısal özellikleri

Polipropilen matris içerisinde üre formaldehit partiküllerinin dağılımı SEM mikroyapı analizleri sonucu çekilen fotoğraflardan anlaşılmaktadır. Şekil 8’de bu polimer karışımına ait mikroyapı fotoğrafları verilmiş olup matris ve üre formaldehit partikülleri net bir şekilde görülmektedir. Darbe çubuklarının kırık yüzeylerinden çekilen fotoğraflardan üre formaldehit partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldıkları anlaşılmaktadır. Üre formaldehit çapraz bağlı bir termoset plastiktir. Çapraz bağlı yapılarından dolayı erimezler, yüksek sıcaklıklarda yanarlar. Hem enjeksiyon hem de extrüzyon işleminde bu partiküller erimeden matris içerisinde kalmıştır. Saf üre formaldehit partikülleri incelendiğinde keskin köşeler olduğu görülmektedir. Diğer fotoğraflarda bu keskin köşeler tespit edilmemiştir. Bunun uyumluluk maddesi olarak karışıma katılan MA-g-PP dan kaynaklandığını düşünmekteyiz. Yağcı ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada HDPE ve PP içerisine kattıkları üre formaldehit tozlarının gözenekleri doldurduğu, uyumluluk maddesi olarak kullanılan SEBS’in adezyonu sağladığı dolayısıyla bu durumun mekanik ve termal özellikleri olumlu yönde etkilediğini rapor etmişlerdir [2].



Şekil 8. PP/ÜF polimer karışımının mikroyapı fotoğrafları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada atık üre formaldehit ürünler toz haline getirilerek polipropilen matris içerisine katılıp bir polimer karışımı elde edilmiştir. Buradaki asıl amaç atık olan üre formaldehitin yeniden değerlendirilmesidir. Bu kapsamda tozlar PP içerisine değişik oranlarda katılmış ve bazı fiziksel özelliklerdeki değişimler tespit edilmiştir. Bunların dışında mikroyapı analizleri ile de tozların matris içerisindeki dağılımları belirlenmiştir.

Yapılan testler sonucunda matris içerisindeki üre formaldehit oranının artmasıyla sertlik değerlerinde artış tespit edilmiştir. Buna karşılık olarak üre formaldehit oranının artması ile vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı ve nem emme oranı değerlerinde düşme tespit edilmiştir. PP/ÜF/MA-g-PP polimer karışımı içerisinde artan ÜF konsantrasyonu ile birlikte karışımın aşınma oranları artış göstermiştir. Yüksek düzeyde üre formaldehit eklenmesi ile kompozitin yüksek aşınma oranına sahip olmasına sebebiyet vermiştir. Yük altında yapılan sürtünme testinde yük ve ÜF oranındaki artış ile statik sürtünme katsayısı değerlerinde büyük bir değişimin olduğu tespit edilmiştir. Yük ve ÜF oranındaki artış ile statik sürtünme katsayısı değerlerinde artış tespit edilmiştir. Mikroyapı analizleri sonucunda üre formaldehit partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] Thomas, R., Vijayan, P., Thomas, S., Recycling ‘Recycling of thermosetting polymers: Their blends and composites’, Recent developments in polymer recycling, 4, Fainleib, A., Grigoryeva, O., Transworld Research Network, 2011, 121-153.
- [2] Özlem YAĞCI, Beril EKER GÜMÜŞ, Münir TAŞDEMİR, ‘Thermal, structural and morphological properties of polypropylene and high density polyethylene polymer composites filled with waste urea formaldehyde’, Polymer Bulletin, 80, 4005–4022, 2023.
- [3] Münir TAŞDEMİR, Hüseyin YILDIRIM, ‘Effect of styrene-butadiene-styrene addition on polystyrene/high-density polyethylene blends ’J. Appl. Poly. Sci., 83, 2967-2975, 2002.
- [4] Januar Parlaungan SIREGAR, Mohd Sapuan SALİT, M.Z.A. RAHMAN, and H.M.D.K. ZAMAN, ‘The effect of compatibilising agent and surface Modification on the physical properties of short pineapple leaf fibre (PALF) reinforced high impact polystyrene (HIPS) composites’, Polym. Compos., 17, 379, 2009.
- [5] S.M. LAI, W.C. CHEN, and C.M. CHEN, ‘Melt mixed compatibilized polypropylene/clay nanocomposites. II. Dispersion vs. thermal properties, optical transmittance, and fracture behaviors’, Eur. Polym J., 44(25), 3535, 2008.
- [6] Ebru ULUĞ, Münir TAŞDEMİR, ‘Effects of HIPS on the mechanical, thermal and morphological properties of SEBS and SIS type elastomers’, Procedia Engineering, 10, 3101-3106, 2011.
- [7] Himabindu NANDIVADA, Benjamin G PUMPLIN, Joerg LAHANN, Ayyalusamy RAMAMOORTHY, Nicholas A KOTOV, ‘Ultrastrong and stiff layered polymer nanocomposites’, Science, 5;318(5847), 80-3, 2007.
- [8] Kanaga KARUPPIAH, Angela BRUCK, Sriram SUNDARARAJAN, Jun WANG, Zhiqun LIN, Zhi-Hui XU, Xiaodong LI, ‘Friction and wear behavior of ultrahigh molecular weight polyethylene as a function of crystallinity in the presence of the phospholipid dipalmitoyl phosphatidylcholine’, J Biomed Mater Res B Appl Biomater., 93(2), 351, 2010.
- [9] Münir TAŞDEMİR, Sezgin ERSOY, ‘Friction and wear performance of HDPE/talc-calcium carbonate polymer composites against sliding distance and applied load’, Romanian journal of materials, (44)3, 257-264, 2014.

- [10] Münir TAŞDEMİR, Umut YERLEŞEN, ‘Study on the friction and wear behaviors of modified HDPE/glass spheres composites’, Romanian journal of materials, (45)1, 59-66, 2015.
- [11] <https://polymers.netzsch.com/Materials/Details/65>
- [12] ISO 8295:1995(E) test standard: Plastics-Film and sheeting-Determination of the coefficients of friction, 2023.
- [13] Münir TAŞDEMİR, ‘Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)/atık üre formaldehit polimer karışımlarının mekanik özellikleri’, Int. Per. of Recent Tech. in App. Eng. 2(2): 51-55, 2020.

BAZI BİTKİSEL ATIK YAĞLAR UYGULANMIŞ YALANCI AKASYA (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) AHŞABINDA RENK, BEYAZLIK İNDEKSİ VE PARLAKLIK DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Osman ÇAMLİBEL^{1,a}, Ümit AYATA^{2,b*}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale MYO, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Pr., Kırıkkale, Türkiye

²Bayburt Üniversitesi, STF, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

^aosmancamlibel@kku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8766-1316

^bumitayata@yandex.com, ORCID: 0000-0002-6787-7822

ÖZET

Günümüzde atık yağların çeşitli alanlarda değerlendirilmesi üzerine araştırmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, bazı bitkisel atık yağlar (ceviz, zeytin ve mısır) uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda renk parametreleri (h° , L^* , C^* , a^* ve b^*), beyazlık indeksi (WI^*) değerleri ve 20° , 60° ve 85° 'lerdeki parlaklık değerleri belirlenmiştir. Atık bitkisel yağlar, ağaç malzeme yüzeylerine sürme tekniği ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çok değişkenli varyans analizi sonuçları bütün testler için anlamlı olarak tespit edilmiştir. 3 atık bitkisel yağ türünde a^* , b^* ve C^* değerlerinde artış belirlenirken, L^* ve h° , liflere dik ve paralel yönlerde WI^* değerleri ve 20° , 60° ve 85° 'lerde liflere dik ve paralel yönlerde parlaklık değerlerinde azalış görülmüştür. Atık bitkisel yağların uygulanması ile ağaç malzemenin sahip olduğu yüzey özellikleri (renk, parlaklık ve beyazlık indeksi) değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beyazlık indeksi, yalancı akasya, parlaklık, atık yağ, renk.

DETERMINATION OF COLOR, WHITENESS INDEX, AND GLOSSINESS VALUES IN BLACK LOCUST (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) WOOD TREATED WITH VARIOUS VEGETABLE OIL WASTES

ABSTRACT

Today, there are studies on the evaluation of waste oils in various fields. In this study, color parameters (h° , L^* , C^* , a^* , and b^*), whiteness index (WI^*) values and glossiness values

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Çamlıbel, O., Ayata, Ü., "Bazı Bitkisel Atık Yağlar Uygulanmış Yalancı Akasya (*Robinia Pseudoacacia* L.) Ahşabında Renk, Beyazlık İndeksi ve Parlaklık Değerlerinin Belirlenmesi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 49-64, 2023.

Geliş (Received): 18/07/2023

Kabul (Accepted): 05/10/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

at 20°, 60°, and 85° angles were determined in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood treated with some waste vegetable oils (walnut, olive, and corn). Waste oils were applied to the wood material surfaces with the swabbing technique. According to the results obtained, the results of multivariate analysis of variance were found to be significant for all tests. While a^* , b^* , and C^* values were increased in 3 waste types, L^* , h^o , WI^* values in perpendicular and parallel directions to the fibers and glossiness values in 20°, 60° and 85° directions perpendicular and parallel to the fibers were decreased. The surface properties of the wood material have been altered by the application of waste vegetable oils (color, glossiness, and whiteness index).

Keywords: Whiteness index, black locust, glossiness, waste oil, color.

1. GİRİŞ

“*Atık bitkisel yağ*” terimi, gıda üretiminde kullanılmış ve kullanım amacını artık yitirmiş bitkisel yağları ifade eder. Atık bitkisel yağlar, evsel, ticari ve endüstriyel olmak üzere birçok farklı kaynaktan oluşmaktadır. Atık bitkisel yağ, uygun şekilde yönetilmesi gereken potansiyel olarak sorunlu bir atık akışıdır [1,2].

Atık yemeklik yağ, temel olarak yüksek sıcaklıklarda kullanılan kızartma yağını, mutfak atıklarına karışan yenilebilir yağları ve doğrudan kanalizasyona boşaltılan yağlı atık suları ifade eder [3]. Çoğu durumda, restoranlarda yemek pişirmek ve gıda işlemek için atık yağ kullanılmaktadır [4]. Restoranlardan ve endüstrilerden kaynaklanan atık bitkisel yağların neden olduğu kirlilik, yıllık taleple birlikte artmaktadır. Dolayısıyla, transesterifikasyon yoluyla biyodizele dönüştürülerek daha değerli bir ürün elde edilebilirse olumsuz etki azaltılabilir [5].

Literatürde, herhangi bir ağaç malzeme yüzeylerine çeşitli atık bitkisel yağların uygulanmasına yönelik çalışmaların yapılmadığı görülmektedir. Çalışmamızda ahşap endüstrisinde kullanılan ve önemli bir ağaç türü olan yalancı akasya odunu seçilmiş olup, bu ağaç malzeme üzerine bazı bitkisel atık yağların sürme tekniği ile uygulanması sonrasında meydana gelen renk, beyazlık indeksi ve parlaklık değerleri araştırılmıştır. Literatürde eksik olduğu görülen bu tarz çalışma konusu ile gerek atık yağ gerekse ahşap malzeme arasındaki yüzey özellikleri üzerine önemli bilgilerin elde edilmesi ve literatür dünyasına önemli verilerin kazandırılması hedeflenmiştir.

Bu ağaç türü hakkında bilgi vermek gerekirse;

Robinia pseudoacacia L., *Fabaceae* familyasına aittir ve genellikle yalancı akasya olarak bilinir. Ilıman ve yarı ılıman bölgelerde yaygın olarak dağılır. Azot fiksatörüdür, hızlı gençlik büyümesine sahiptir [6-8]. Sıcak kuru pozisyonda başarılıdır. Bitkinin yıllık 61 ila 191 cm yağışa, 7.60 ila 20.30°C aralığında yıllık sıcaklığa ve 6.0 ila 7.0 pH değerine tolere ettiği rapor edilmiştir [9]. Bu türün doğal aralığı nemli olarak sınıflandırılır ve iki yerel aşırı nemli iklim alanı vardır [10]. Aralık, serin ılıman nemli orman, sıcak ılıman dağlık nemli orman, sıcak ılıman dağlık ıslak orman ve sıcak ılıman nemli orman yaşam bölgelerini içerir [11]. Ağacın dalları kırılıgandır ve rüzgâr hasarına karşı çok hassastır [12]. Bitkiler zengin topraklarda yetiştirildiğinde, rüzgâr hasarına daha yatkın olan kaba ve sıralı büyüme üretirler [12, 13]. Kabuk tanen içerir. Ancak kullanım için yeterli miktarda değildir [14].

Yalancı akasya odunu, çit direkleri, gemi keresteleri, maden kalasları, izolatör pimleri, demiryolu bağları, ağaç çivileri (ahşap gemi yapımı), kutular, direkler, dübelller, sandıklar, kazıklar için ve önemli derecede mekanik özelliklere sahip kâğıt hamurlarının üretiminde kullanılır [15].

Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.)'ya ait olgun odununda selüloz %40, hemiselüloz %21, lignin %30, kül miktarı %0.32 [16], sıcak su çözünürlüğü %5.90, holoselüloz %64.60 [17], öz odunda soğuk su çözünürlüğü %6.80 [18], elastikiyet modülü 18122.41 N/mm², eğilme direnci 173.02 N/mm² [19], ısı iletkenlik değeri 0.166 W/m.K [20], makaslama direnci 128 kp/cm², şok direnci 1.35 kp/cm², teğet yönde yarıma 6.2 kp/cm², brinell sertlik liflere paralel yönde 7.82 kp/cm², brinell sertlik liflere dik yönde 3.35 kp/cm² [21], olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzemenin Temin Edilmesi

Bu çalışmada, yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ahşabı kullanılmıştır. Deney örnekleri 85 x 300 x 25 mm olarak alınmıştır. Örnekler rastgele seçilen, çatlaksız, düzgün liflere sahip, ardaksız, budaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan özellikte olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra örnekler TS ISO 13061-1, [22] standardına göre hazır hale getirilmiştir.

2.1.2. Atık Bitkisel Yağlar

Çalışmada kullanılan hizmet ömrünü tamamlamış atık bitkisel yağlara ait bazı özellikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan hizmet ömrünü tamamlamış atık bitkisel yağlara ait bazı özellikler

Özellik (100 g için) →	Zeytinyağı	Mısır yağı	Ceviz yağı
Doymuş yağ asidi	15.15	12.00	9.10
Tekli doymamış yağ asidi	74.00	28.00	-
Çoklu doymamış yağ asidi	10.50	51.00	-

2.2. Metot

2.2.1. Atık Bitkisel Yağlarının Ahşap Malzeme Yüzeylerine Uygulanması

Bu çalışmada ceviz, mısır ve zeytin türlerine ait atık bitkisel yağlar kullanılmıştır. Bu yağlar bir sünger kullanarak ahşap malzeme yüzeylerine sürme tekniği ile uygulanmıştır.

2.2.2. Testler

2.2.2.1. Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık, ışığın bir yüzeyden gelme açısı ile aynı açıyla yansımasıdır. Bu nedenle, parlaklık için düzlemsel yüzeyler gereklidir [23]. Ölçüm açıları (ISO 2813) [24] Şekil 1A’da verilmiştir. Parlaklık ölçümleri ISO 2813, [25] standardı ve ETB-0833 model gloss meter cihazının [20°, 60° ve 85° ve liflere dik (\perp) ve paralel (\parallel) yönlerde] kullanılması ile yapılmıştır (Şekil 1B).

2.2.2.2. Renk Ölçümlerinin Belirlenmesi

Işıklılık farkı, dikey şeritlerden çıkarılan filtrelerin geçirgenliğinde algılanan bir farkla açıklanabilir. Eşit olmayan geçirgenliğe sahip filtrelere sahip iki şeritte aynı miktarda mutlak ışık algılandığında, geçirgenliği daha zayıf şeritteki bölge daha açık olarak algılanır [26].

Rengi ölçmek için sıklıkla kullanılan bir yöntem CIELAB sistemidir. Bu üç boyutlu geometrik odada, her belirli renk tanımlanır ve bir vektör olarak tanımlanabilir. CIELAB sisteminde, L^* eksen parlaklığı temsil eder (L^* beyaz için 100’den siyah için sıfıra değişir) ve a ve b kromatiklik koordinatlarıdır (kırmızı için $+a$, yeşil için $-a$, sarı için $+b$, mavi için $-b$). L^* , a^* ve b^* değerleri, genel renk değişimini (ΔE^*) hesaplamak için kullanılır. Bu nedenle,

iki numune arasındaki renk farkı, DIN 6174 [27] denklemiyle kolaylıkla değerlendirilebilir [28].

Numunelere ait olan renk değişimi, ASTM D 2244-3, [29] standardına göre, CIELAB renk sistemi ile bir CS-10 (CHN Spec, Çin) [standart gözlemci CIE 10°; ışık kaynağı CIE D65, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınmak aydınlatma)] cihazı (Şekil 1D) kullanılarak ölçülmüş olup, L^* , C^* , a^* , h^0 ve b^* değerleri belirlenmiştir.

ΔE^* 'nin görsel değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN 5033) [30] Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. ΔE^* değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN 5033) [30]

Toplam renk farkı (ΔE^*)	Görsel renk puanı farkı
<0.2	Algılanamaz
0.2 ila 0.5	Çok zayıf
0.5 ila 1.5	Zayıf
1.5 ila 3.0	Belirgin
3.0 ila 6.0	Çok belirgin
6.0 ila 12.0	Güçlü
> 12.0	Çok güçlü

Aşağıdaki formüller yardımıyla toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{yağ işlem görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{yağ işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (2)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{yağ işlem görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{yağ işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (3)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{yağ işlem görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{yağ işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (4)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{yağ işlem görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{yağ işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

ΔL^* , ΔC^* , Δa^* , ΔH^* ve Δb^* tanımlamaları aşağıda verilmiştir [31]:

Δb^* : Pozitif numune referanstan daha sarı ve negatif numune referanstan daha mavi,

ΔL^* : Pozitif örnek referanstan daha açık ve negatif örnek referanstan daha koyu,

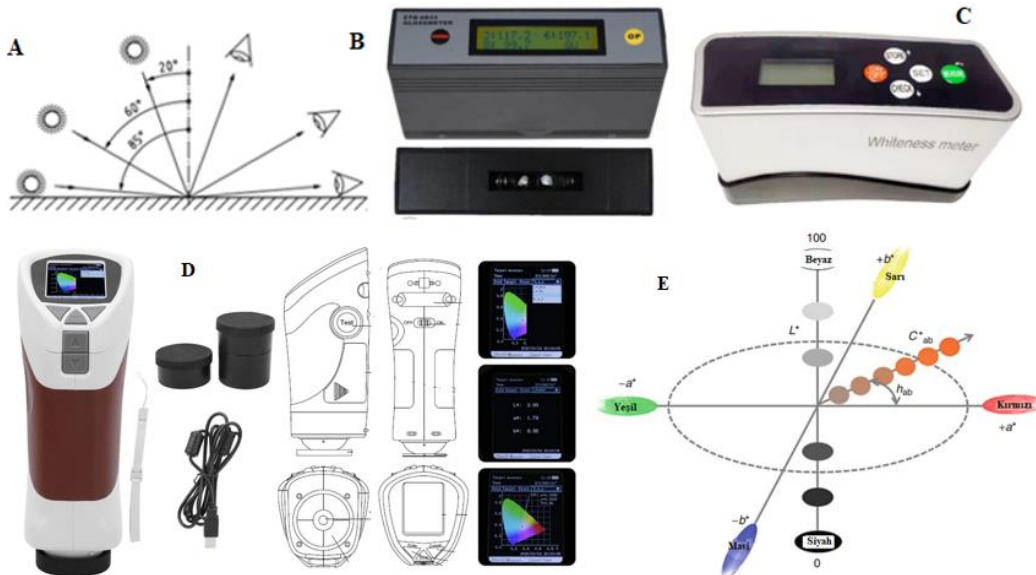
Δa^* : Pozitif örnek referanstan daha kırmızı ve negatif örnek referanstan daha yeşil,

ΔC^* : Kroma kısmı veya doygunluk farkı, pozitif numune referanstan daha net, daha parlak, negatif örnek mat, referanstan daha bulanık,

ΔH^* : Ton bölümü veya gölge farkı.

2.2.2.3. Beyazlık İndeksi (WI^*) Özelliklerinin Belirlenmesi

Spektral terimlerle beyaz bir malzeme, görünür dalga boyu aralığındaki yansımaları sabit ve yüksek olan bir malzemedir (yani %100'e yakın veya 1 yansıtma faktörü). Griden siyaha değişen tonlar sabit bir yansımaya sahiptir ve mükemmel siyahın yansıtma oranı %0'dır. Beyazlığın miktarının belirlenmesi, kâğıt, çamaşır ve boya endüstrilerinde uzun süredir önem arz etmektedir [32]. Liflere dik (\perp) ve paralel (\parallel) yönlerde beyazlık indeksi (WI^*) değerleri Whiteness Meter BDY-1 (Şekil 1C) cihazının kullanılması ile belirlenmiştir (ASTM E313-15e1) [33].



Şekil 1. Ölçüm açıları (ISO 2813) [24] (A), parlaklık ölçüm cihazı (B), beyazlık indeksi ölçüm cihazı (C), renk ölçüm cihazı (D) ve CIELAB renk uzayının şematik gösterimi [34] (E)

2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmada ortalamalar, maksimum ve minimum değerler, yüzde (%) değişim oranları, standart sapmalar, homojenlik grupları ve varyans analizleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bütün testlere ait belirlenmiş olan çok değişkenli varyans analizi sonuçları Tablo 3’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, bütün renk parametreleri [ışıklılık (L^*) değeri, ton (h°) açısı değeri, kırmızı (a^*) renk tonu, kroma (C^*) değeri, sarı (b^*) renk tonu], bütün beyazlık indeksi (liflere dik (\perp) ve paralel (\parallel) yönlerde) (WI^*) değerleri ve bütün parlaklık değerleri (liflere dik ve paralel yönlerde 20° , 60° ve 85°) için bitkisel atık yağ türleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar elde edilmiştir.

Bütün testlere ait belirlenmiş olan ölçüm sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Renk parametrelerine ait sonuçlara bakıldığında, L^* değerinde en yüksek sonucun kontrol örneklerinde (60.26) ve en düşük sonucun ise atık ceviz yağında (44.37) elde edildiği görülmektedir. Uygulamalar sonrasında bütün yağlarda azalma belirlenmiş, azalma oranları birbirlerine çok yakın olarak bulunmuştur. a^* değerinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (10.25) tespit edilirken, en yüksek atık ceviz yağında (20.20) belirlenmiştir. Yağların uygulanması sonrasında a^* değerlerinde artışlar elde edilmiştir. a^* için en yüksek artış oranı %97.07 ile atık ceviz yağında devamında ise %96.29 ile atık zeytinyağında ve %88.39 ile atık ceviz yağında belirlenmiştir. En yüksek b^* değeri atık mısır yağına ait örneklerde (28.94) tespit edilirken, en düşük kontrol örneklerinde (21.04) bulunmuştur. b^* için en yüksek artış oranı %37.55 ile atık mısır yağında devamında ise %34.17 ile atık zeytinyağında ve %29.71 ile atık ceviz yağında bulunmuştur. Her üç atık yağlarının ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması sonrasında b^* değerlerinde artışlar görülmüştür. En düşük C^* değeri kontrol örneklerinde (23.41) bulunurken, en yüksek atık mısır yağı uygulanmış örneklerde (34.82) tespit edilmiştir. En yüksek artış oranı %48.74 ile atık mısır yağında devamında ise %48.10 ile atık zeytinyağında ve % 45.07 ile atık ceviz yağında tespit edilmiştir. C^* değerlerinde her üç yağ uygulaması ile artışlar belirlenmiştir. h° için en yüksek azalış oranı %16.48 ile atık ceviz yağında devamında ise %14.87 ile atık zeytinyağında ve %12.12 ile atık mısır yağında belirlenmiştir. h° değerlerinde her üç atık yağın uygulaması ile azalışlar bulunmuştur. En yüksek h° değeri kontrol örneklerinde (64.03) bulunurken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney örneklerde (53.48) elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 3. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Atık Bitkisel Yağ Türü	Işıklılık (L^*)	1711.466	3	570.489	701.987	0.000*
	Kırmızı (a^*) renk tonu	700.560	3	233.520	1515.979	0.000*
	Sarı (b^*) renk tonu	393.123	3	131.041	297.382	0.000*
	Kroma (C^*)	924.453	3	308.151	872.981	0.000*
	Ton (h°) açısı	685.041	3	228.347	294.347	0.000*
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.769	3	0.256	143.559	0.000*
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	5.470	3	1.823	229.510	0.000*
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	0.349	3	0.116	9.000	0.000*
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	1.412	3	0.471	162.923	0.000*
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	7.547	3	2.516	158.329	0.000*
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	18.283	3	6.094	201.651	0.000*
	Beyazlık indeksi (\perp)	1568.979	3	522.993	3544.380	0.000*
	Beyazlık indeksi (\parallel)	1230.661	3	410.220	7624.124	0.000*
Hata	Işıklılık (L^*)	29.256	36	0.813		
	Kırmızı (a^*) renk tonu	5.545	36	0.154		
	Sarı (b^*) renk tonu	15.863	36	0.441		
	Kroma (C^*)	12.708	36	0.353		
	Ton (h°) açısı	27.928	36	0.776		
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.064	36	0.002		
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	0.286	36	0.008		
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	0.465	36	0.013		
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	0.104	36	0.003		
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	0.572	36	0.016		
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	1.088	36	0.030		
	Beyazlık indeksi (\perp)	5.312	36	0.148		
	Beyazlık indeksi (\parallel)	1.937	36	0.054		
Toplam	Işıklılık (L^*)	97898.358	40			
	Kırmızı (a^*) renk tonu	12915.889	40			
	Sarı (b^*) renk tonu	28230.919	40			
	Kroma (C^*)	41167.004	40			
	Ton (h°) açısı	131000.355	40			
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	2.449	40			
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	91.020	40			
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	3.070	40			
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	4.880	40			
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	153.280	40			
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	78.420	40			
	Beyazlık indeksi (\perp)	5805.540	40			
	Beyazlık indeksi (\parallel)	2072.570	40			
Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık (L^*)	1740.722	39			
	Kırmızı (a^*) renk tonu	706.106	39			
	Sarı (b^*) renk tonu	408.987	39			
	Kroma (C^*)	937.161	39			
	Ton (h°) açısı	712.969	39			
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.833	39			
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	5.756	39			
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	0.814	39			
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	1.516	39			
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	8.119	39			
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	19.371	39			
	Beyazlık indeksi (\perp)	1574.291	39			
	Beyazlık indeksi (\parallel)	1232.598	39			

*: Anlamlı

Parlaklık değerlerine bakıldığında; 20°'de liflere dik parlaklık değeri için en yüksek azalış oranı %77.27 ile atık ceviz yağında, devamında ise %70.45 ile atık zeytinyağında ve atık ceviz yağlarında belirlendiği görülmektedir. En yüksek sonuca bakıldığında kontrol grubuna ait örneklerde (0.44) bulunurken, en düşük atık mısır ve zeytinyağlarında (0.13) elde edilmiştir. 60°'de liflere dik parlaklık değerinde en yüksek azalış oranı %41.43 ile atık mısır yağında devamında ise %40.95 ile atık ceviz ve %39.52 ile atık zeytinyağında belirlenmiştir. Azalma oranları birbirlerine yakın elde edilmiştir. En yüksek kontrol örneklerinde (2.10) bulunurken, en düşük atık mısır yağı uygulanmış örneklerde (1.23) elde edilmiştir (Tablo 4). 85°'de liflere dik parlaklık değerinde en yüksek kontrol örneklerinde (0.34) tespit edilirken, en düşük atık zeytinyağı uygulanmış örneklerde (0.13) tespit edilmiştir. En yüksek azalış oranı %61.76 ile atık zeytinyağında devamında ise %52.94 ile atık mısır ve %5.88 ile atık ceviz yağında bulunmuştur. 20°'de liflere paralel parlaklık değerinde en yüksek sonuç kontrol örneklerinde (0.60) tespit edilirken, en düşük atık mısır ve zeytinyağları uygulanmış örneklerinde (0.14) belirlenmiştir. En yüksek azalış oranı %76.67 ile atık mısır ve zeytinyağlarında ve en düşük azalış oranı %53.33 ile atık ceviz yağında belirlenmiştir. 60°'de liflere paralel parlaklık değeri için en yüksek azalış oranı %41.67 ile atık zeytinyağında devamında ise %37.88 ile atık mısır ve %31.82 ile atık ceviz yağında tespit edilmiştir. En yüksek değer kontrol örneklerinde (2.64) bulunurken, en düşük atık zeytinyağı uygulanmış örneklerde (1.54) elde edilmiştir. 85°'de liflere paralel parlaklık değeri için en yüksek azalış oranı %84.82 ile atık zeytinyağında devamında ise %50.00 ile atık mısır yağında ve %48.21 ile atık ceviz yağında bulunmuştur. En düşük değer ise atık zeytinyağı uygulanmış örneklerde (0.34) bulunurken, en yüksek kontrol örneklerde (2.24) tespit edilmiştir (Tablo 4). Bütün parlaklık değerleri (liflere dik ve paralel yönlerde 20°, 60° ve 85°'leri) için her üç atık bitkisel yağ uygulamaları sonrasında azalışlar elde edilmiştir.

WI^* değerlerine bakıldığında; liflere dik yönde en düşük atık ceviz yağı uygulanmış örneklerde (6.18) belirlenirken, en yüksek kontrol örneklerinde (21.12) olarak bulunmuştur. Liflere paralel yönde WI^* değerleri en düşük atık zeytinyağı uygulanmış örneklerde (0.98) bulunurken, en yüksek kontrol örneklerinde (14.18) olarak tespit edilmiştir. Liflere dik ve paralel yönlerde WI^* değerleri bütün atık bitkisel yağ uygulamaları sonrasında azalmıştır. Liflere dik yönde WI^* değerleri, liflere paralel yönlerdekinden yüksek elde edilmiştir. Her iki yönde de azalma oranları birbirlerine yakın elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Ölçüm sonuçları

Test	Atık Bitkisel Yağ Türü	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim (%)	Standart Sapma	Homojenlik Grubu	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L*	Kontrol	10	60.26	-	0.55	A*	59.62	61.05	0.91
	Ceviz yağı	10	44.37	↓26.37	0.49	C**	43.49	45.14	1.11
	Mısır yağı	10	46.67	↓22.55	1.50	B	44.66	48.40	3.22
	Zeytinyağı	10	44.83	↓25.61	0.67	C	43.89	45.71	1.50
a*	Kontrol	10	10.25	-	0.42	C**	9.76	10.88	4.11
	Ceviz yağı	10	20.20	↑97.07	0.30	A*	19.72	20.73	1.47
	Mısır yağı	10	19.31	↑88.39	0.41	B	18.89	20.22	2.10
	Zeytinyağı	10	20.12	↑96.29	0.43	A	19.46	20.68	2.14
b*	Kontrol	10	21.04	-	0.58	D**	20.27	21.90	2.75
	Ceviz yağı	10	27.29	↑29.71	0.47	C	26.68	28.01	1.71
	Mısır yağı	10	28.94	↑37.55	1.00	A*	27.32	30.01	3.45
	Zeytinyağı	10	28.23	↑34.17	0.46	B	27.25	28.81	1.62
C*	Kontrol	10	23.41	-	0.62	C**	22.52	24.21	2.64
	Ceviz yağı	10	33.96	↑45.07	0.27	B	33.51	34.34	0.78
	Mısır yağı	10	34.82	↑48.74	0.81	A*	33.22	35.70	2.31
	Zeytinyağı	10	34.67	↑48.10	0.56	A	33.68	35.25	1.61
h°	Kontrol	10	64.03	-	0.87	A*	62.86	65.56	1.37
	Ceviz yağı	10	53.48	↓16.48	0.82	D**	52.15	54.64	1.53
	Mısır yağı	10	56.27	↓12.12	1.20	B	54.79	57.58	2.13
	Zeytinyağı	10	54.51	↓14.87	0.49	C	53.93	55.18	0.89
└20°	Kontrol	10	0.44	-	0.05	A*	0.40	0.50	11.74
	Ceviz yağı	10	0.10	↓77.27	0.00	B**	0.10	0.10	0.00
	Mısır yağı	10	0.13	↓70.45	0.05	B	0.10	0.20	37.16
	Zeytinyağı	10	0.13	↓70.45	0.05	B	0.10	0.20	34.50
└60°	Kontrol	10	2.10	-	0.12	A*	1.90	2.20	5.50
	Ceviz yağı	10	1.24	↓40.95	0.05	B	1.20	1.30	4.16
	Mısır yağı	10	1.23	↓41.43	0.05	B**	1.20	1.30	3.93
	Zeytinyağı	10	1.27	↓39.52	0.12	B	1.10	1.40	9.13
└85°	Kontrol	10	0.34	-	0.14	A*	0.10	0.50	42.05
	Ceviz yağı	10	0.32	↓5.88	0.14	A	0.10	0.50	43.70
	Mısır yağı	10	0.16	↓52.94	0.10	B	0.10	0.30	60.38
	Zeytinyağı	10	0.13	↓61.76	0.05	B**	0.10	0.20	37.16
20°	Kontrol	10	0.60	-	0.00	A*	0.60	0.60	0.00
	Ceviz yağı	10	0.28	↓53.33	0.08	B	0.20	0.40	28.17
	Mısır yağı	10	0.14	↓76.67	0.05	C**	0.10	0.20	36.89
	Zeytinyağı	10	0.14	↓76.67	0.05	C**	0.10	0.20	36.89
60°	Kontrol	10	2.64	-	0.21	A*	2.40	2.90	8.03
	Ceviz yağı	10	1.80	↓31.82	0.00	B	1.80	1.80	0.00
	Mısır yağı	10	1.64	↓37.88	0.05	C	1.60	1.70	3.15
	Zeytinyağı	10	1.54	↓41.67	0.13	C**	1.40	1.70	8.21
85°	Kontrol	10	2.24	-	0.21	A*	2.00	2.40	9.22
	Ceviz yağı	10	1.16	↓48.21	0.20	B	0.90	1.40	16.85
	Mısır yağı	10	1.12	↓50.00	0.15	B	1.00	1.30	13.83
	Zeytinyağı	10	0.34	↓84.82	0.13	C**	0.20	0.50	37.20
WI* (└)	Kontrol	10	21.12	-	0.24	A*	20.80	21.40	1.16
	Ceviz yağı	10	6.18	↓70.74	0.35	C**	5.60	6.60	5.65
	Mısır yağı	10	6.88	↓67.42	0.29	B	6.50	7.20	4.27
	Zeytinyağı	10	6.96	↓67.05	0.57	B	6.00	7.50	8.16
WI* ()	Kontrol	10	14.18	-	0.39	A*	13.70	14.70	2.76
	Ceviz yağı	10	1.53	↓89.21	0.18	B	1.30	1.80	11.55
	Mısır yağı	10	1.64	↓88.43	0.16	B	1.40	1.80	9.62
	Zeytinyağı	10	0.98	↓93.09	0.08	C**	0.90	1.10	8.05

*: En yüksek değeri göstermektedir, **: En düşük değeri göstermektedir.

Yapılan çeşitli araştırmalara ait kıyaslamalar Tablo 5’de sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre, benzer yağların farklı ahşap türlerine uygulanması ile farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bu durumun ahşap malzemelerin sahip olduğu farklı anatomik yapılarından dolayı kaynaklandığı söylene bilinir.

Tablo 5. Yapılan çeşitli araştırmalara ait kıyaslamalar

Ağaç Türü	Atık Bitkisel Yağ Türü	Uygulama Sonrası Değişim					Kaynaklar
		L^*	a^*	b^*	C^*	h^o	
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	Ceviz yağı	↓	↑	↑	↑	↓	Bu çalışma
	Mısır yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Zeytinyağı	↓	↑	↑	↑	↓	
Avrupa melezi (<i>Larix decidua</i> Mill.)	Ceviz yağı	↑	↓	↓	↓	↑	[35]
	Mısır yağı	↑	↓	↓	↓	↑	
	Zeytinyağı	↑	↓	↓	↓	↑	
Avrupa ladini (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	Ceviz yağı	↑	↑	↑	↑	↑	[36]
	Mısır yağı	↑	↑	↑	↑	↑	
	Zeytinyağı	↑	↑	↑	↑	↑	
Bambu (<i>Phyllostachys</i> spp.)	Ayçiçeği yağı	↓	↑	↑	↑	↓	[37]
	Ceviz yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Mısır yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Zeytinyağı	↓	↑	↑	↑	↓	
Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Ceviz yağı	↓	↑	↑	↑	↑	[38]
	Mısır yağı	↓	↑	↑	↑	↑	
	Zeytinyağı	↓	↑	↑	↑	↑	
Yabani armut (<i>Pyrus communis</i> L.)	Ayçiçeği yağı	↓	↑	↑	↑	↓	[39]
	Ceviz yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Mısır yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Zeytinyağı	↓	↑	↑	↑	↓	
Tiama (<i>Entandrophragma angolense</i>)	Ayçiçeği yağı	↓	↓	↓	↓	↓	[40]
	Ceviz yağı	↓	↓	↓	↓	↓	
	Mısır yağı	↓	↓	↓	↓	↓	
	Zeytinyağı	↓	↓	↓	↓	↓	
Anadolu kestanesi (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	Ceviz yağı	↓	↑	↑	↑	↓	[41]
	Mısır yağı	↓	↑	↑	↑	↓	
	Zeytinyağı	↓	↑	↑	↑	↓	
Merbau [<i>Intsia bijuga</i> (Colebr.) O. Kuntze]	Ayçiçeği yağı	↓	↓	↓	↓	↓	[42]
	Ceviz yağı	↓	↓	↓	↓	↓	
	Mısır yağı	↓	↓	↓	↓	↓	
	Zeytinyağı	↓	↑	↓	↓	↓	

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 6’da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, ΔL^* (referanstan daha koyu) değerleri negatif olarak belirlenirken, Δa^* (referanstan daha kırmızı), Δb^* (referanstan daha sarı) ve ΔC^* (referanstan daha net, daha parlak) değerleri ise pozitif olarak bulunmuştur. Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033) [30] ile bu çalışma sonuçları kıyaslandığında her 3 atık yağ için “çok güçlü (> 12.00)” kategorisinin elde edildiği görülmüştür. ΔE^* değerleri büyükten küçüğe sırasıyla 19.77 ile atık ceviz yağında, 19.68 ile

atık zeytinyağında ve 18.15 ile atık mısır yağında bulunmuştur. Her 3 atık yağın Δa^* , ΔL^* , Δb^* , ΔC^* ve ΔE^* değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan atık bitkisel yağlar ahşap malzeme yüzeylerinde renk değiştirici etki bulunmuştur.

Tablo 6. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Atık Bitkisel Yağ Türü	ΔL^*	Δb^*	Δa^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk değiştirme kriteri [30]
Ceviz yağı	-15.90	6.25	9.96	10.55	5.18	19.77	Çok güçlü (> 12.00)
Mısır yağı	-13.59	7.90	9.06	11.42	3.77	18.15	
Zeytinyağı	-15.43	7.19	9.88	11.26	4.72	19.68	

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada ahşap malzeme yüzeylerine uygulanmış olan bitkisel atık yağlarının renk, parlaklık ve beyazlık indeksi değerlerini değiştirdiği görülmektedir. Bütün testler için çok değişkenli varyans analizi sonuçları anlamlı olarak bulunmuştur. Bütün atık bitkisel yağlar üzerinde 20°, 60° ve 85°'lerde liflere dik ve paralel yönlerde parlaklık değerleri, L^* , liflere dik ve paralel yönlerde WI^* değerleri ve h° için azalış elde edilirken, a^* , C^* ve b^* değerleri için artış görülmüştür. Çalışmada kullanılan atık yağlar ile ahşap malzeme yüzeylerinde koyulaşma elde edilmiştir. Bütün yağlar birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

Bu tarz çalışmalarda elde edilen malzemeler üzerinde yaşlandırma (yapay ve doğal) performanslarının belirlenmesi (ahşap ile atık yağ arasındaki yaşlandırma etkilerinin araştırılması) önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Szmigielski, M., Maniak, B., and Piekarski, W., (2008). Evaluation of chosen quality parameters of used frying rape oil as fuel biocomponent, *International Agrophysics*, 22(4): 361-364.
- [2] Zhang, H., Wang, Q., and Mortimer, S.R., (2012). Waste cooking oil as an energy resource: Review of Chinese policies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(7): 5225-5231. DOI: 10.1016/j.rser.2012.05.008.

- [3] Refaat, A.A., (2010). Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(1): 183-213.
- [4] Alhassan, F.H., Yunus, R., Rashid, U., Sirat, K., Islam, A., Lee, H.V., and Taufiq-Yap, Y.H., (2013). Production of biodiesel from mixed waste vegetable oils using Ferric hydrogen sulphate as an effective reusable heterogeneous solid acid catalyst, *Applied Catalysis A: General*, 456: 182-187. DOI: 10.1016/j.apcata.2013.02.019.
- [5] Kayode, B., and Hart, A., (2019). An overview of transesterification methods for producing biodiesel from waste vegetable oils, *Biofuels*, 10(3): 419-437. DOI: 10.1080/17597269.2017.1306683.
- [6] Hanover, J.W., Miller, K., and Plesko, S., (1992). Black locust: An historical and future perspective, pp. 7-18, in J. W. Hanover, K. Miller, and S. Plesko (eds.). *Black Locust: Biology, Culture and Utilization*. Proceedings International Conference Black Locust, East Lansing, MI, USA.
- [7] Moon, H. S., Jung, S. Y., and Hong, S.C., (2001). Rate of soil respiration at black locust (*Robinia pseudo-acacia*) Stands in Jinju Are. *The Korean Journal of Ecology*, 24(6): 371-376.
- [8] Nasir, H., Iqbal, Z., Hiradate, S., and Fujii, Y., (2005). Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 2179-2192. DOI: 10.1007/s10886-005-6084-5.
- [9] Duke, J.A., (1983). *Handbook of energy crops*. Handbook of Energy Crops.
- [10] Thornwaite, C.W., (1931). The climates of North America according to a new classification, *Geographical Review*, 21: 633-655.
- [11] Sawyer, J.O., Jr., and Lindsey, A.A., (1964). The Holdridge bioclimatic formations of eastern and central United States. *Proceedings Indiana Academy of Science*, 72: 105-112.
- [12] Huxley, A., (1992). *The New RHS Dictionary of Gardening*. MacMillan Press. ISBN: 0-333-47494-5.

- [13] Bean, W., (1981). Trees and Shrubs Hardy in Great Britain. Vol 1 4 and Supplement. Murray.
- [14] Rottsieper, E.H.W., (1946). Vegetable Tannins The Forestal Land, Timber and Railways Co. Ltd.
- [15] Polcin, J., (1974). *Robinia pseudoacacia* as raw material for pulp. (Abstract.) Symposium International EU CE PA, Madrid, Paper 18. 15 p.
- [16] Koloc, K., (1953). Werkstoff, Kartei Holz Grundmappe.
- [17] Ahn, W.Y., (1985). Strength properties and chemical composition of black locust, *Robinia pseudoacacia* L. Wood, Science and Technolog (Mogjae-Conghak), Korea Republic, 13(6): 3-8.
- [18] Hart, J.H., (1968). Morphological and chemical differences between sapwood, discolored sapwood, and heartwood in black locust and osage orange, Forest Science, 14(3): 334-338.
- [19] Vasiliki, K., Ioannis, B., and Vassilios, V., (2016). Prospects for the utilization of black locust wood (*Robinia pseudoacacia* L.) coming from plantations in furniture manufacturing, 27th International Conference on Wood Modification and Tehnology 2016 Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, 123-128.
- [20] Cavus, V., Sahin, S., Esteves, B., and Ayata, U., (2019). Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, Bioresources, 14(3): 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- [21] Göker, Y., (1982). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.)'nın teknolojik özellikleri ve kullanım yerleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 99-104.
- [22] TS ISO 13061-1, (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [23] Ghosh, P., (2008). Adhesives and Coatings Technology, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- [24] ISO 2813, (2014). Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

- [25] ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [26] Shevell, S.K., (2003). Color appearance, The science of color, 149-190.
- [27] DIN 6174, (1979). Colorimetric evaluation of colour differences of surface colours according to the CIELAB formula.
- [28] Hauptmann, M., Pleschberger, H., Mai, C., Follrich J., and Hansmann, C., (2012). The potential of color measurements with the CIEDE2000 equation in wood science, European Journal of Wood and Wood Products, 70: 415-420. DOI: 10.1007/s00107-011-0575-6.
- [29] ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [30] DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- [31] Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- [32] Joiner, A., Hopkinson, I., Deng, Y., and Westland, S., (2008). A review of tooth colour and whiteness. Journal of dentistry, 36, 2-7. DOI: 10.1016/j.jdent.2008.02.001.
- [33] ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [34] Cheung, T.L.V., (2016). Uniform Color Spaces, Chen, J., Cranton, W., and Fihn, M. (Eds.). (2016). Handbook of visual display technology, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- [35] Ayata, Ü., ve Bal, B.C., (2023). Atık zeytin, ceviz ve mısır yağları uygulanmış Avrupa melezi (*Larix decidua* Mill.) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi, European Conferences 2. Uluslararası Sağlık, Mühendislik Ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 4-6 Ağustos 2023 Belgrad, 115-125.

- [36] Peker, H., Bilginer, E.H., Ayata, Ü., ve Çamlıbel, O., (2023). Avrupa ladini (*Picea abies* (L.) Karst.) ahşabında beyazlık indeksi, renk parametreleri ve parlaklık değerleri üzerine çeşitli bitkisel atık yağlarının etkileri, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(2): 50-58.
- [37] Peker, H., (2023b). Bambu malzemesinde renk değiştirici bir uygulama olarak hizmet ömrünü tamamlamış atık bitkisel yağlarının kullanımı, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan, 158-164.
- [38] Peker, H., (2023). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ahşabına uygulanmış bazı atık yağlar üzerinde parlaklık, beyazlık indeksi değerlerinin ve renk parametrelerinin incelenmesi, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan, 183-191.
- [39] Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2023). Yabani armut (*Pyrus communis* L.) ahşabında yüzey özelliklerine atık bitkisel yağlarının etkileri, Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 97-106.
- [40] Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2023). Bazı atık bitkisel yağlar uygulanmış tiama (*Entandrophragma angolense* (Welw.) C DC.) ahşabında renk parametrelerinin, beyazlık indeksinin ve parlaklık değerlerinin incelenmesi, Avrasya 9. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 24-26 Kasım 2023, Tiflis, Gürcistan, 266-275.
- [41] Peker, H., ve Ulusoy, H., (2023). Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine atık bitkisel yağlarının etkileri, 8. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi, 11-12 Eylül 2023, Delhi, India, 463.
- [42] Peker, H., Bilginer, E.H., Ayata, Ü., Gürleyen, L., ve Çamlıbel, O., (2023). Yurt dışında dekorasyon tasarımında kullanılan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] ahşabında renk değiştirme uygulaması için atık bitkisel yağlarının kullanımı, 2. Uluslararası Kültür, Sanat ve İletişim Sempozyumu (UKSANİL 2), Bayburt, 15-17 Aralık 2023.

UV YAŞLANDIRMA UYGULANAN POLİPROPİLEN/ÇİNKO BORAT (ZnHBO₃) POLİMER KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif ULUTAŞ^{1,a,*}, Münir TAŞDEMİR^{1,b}

¹Marmara Üniversitesi TF Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Maltepe İSTANBUL

^aelif.ulutas@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7753-8878

^bmunir@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8635-7251

ÖZET

Plastik malzemelerin gün geçtikçe artan bir kullanım alanına sahip olmaları ve teknolojiadaki yeni gelişmeler, plastik sektörünü sürekli bir gelişim içine sokmuştur. Üretim yöntemi açısından geniş yelpazeye sahip olan plastikler aynı zamanda kimyasal ve fiziksel özelliklerinin istenilen yönde değiştirilebilir olması sebebiyle geleneksel malzemelerin yerini almıştır. Üretim aşamasında fonksiyonel dolgu-katkı maddeleri kullanıldığında meydana gelen yapısal değişiklikler, elde edilen yeni plastiğin birçok mekanik ve fiziksel özelliğinde gelişmelere sebep olur. Ayrıca sahip olduğu yeni bileşim ve özellikler sebebiyle yapı malzemesi olarak kullanılan polimer kompozitlerin yalnızca mekanik özelliklerine odaklanmak yerine ultraviyole (UV) radyasyonu öncesi ve sonrası mekanik özelliklerinin araştırılması oldukça önemli bir konudur. Polimerlerde katkı miktarının ve UV radyasyonunun etkisini incelemek amacıyla; bu çalışmada farklı konsantrasyonlara sahip (%5, 10, 15, 20) çinko borat (ZnHBO₃) ve polipropilen (PP) ile üretilen polimer kompozitlere 70°C sıcaklıkta 15 ve 30 gün boyunca UV uygulanarak kompozitlerin özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin mekanik davranışını incelemek için çekme, sertlik, darbe, yoğunluk testi yapılmıştır. Ayrıca polimer kompozitlerin mikroyapı incelemesi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılmıştır. Sonuçlar; maksimum katkı ilavesiyle saf PP'ye ait 746 MPa elastiklik modülünün %30 oranında arttığını göstermektedir. Aynı zamanda polimere kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olması sebebiyle %20 ZnHBO₃ ilavesi saf PP'nin yoğunluğunu yaklaşık %3 oranında artırmıştır. UV yaşlandırma; polimer kompozitlerin % uzama ve darbe mukavemeti değerini azaltırken, sertlik, elastiklik modülü, akma ve kopma mukavemetinde artışa sebep olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, polimer kompozit, çinko borat, mekanik özellikler, UV yaşlandırma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Ulutaş, E., Taşdemir, M., "UV Yaşlandırma Uygulanan Polipropilen/Çinko Borat (ZnHBO₃) Polimer Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 65-78, 2023.

Geliş (Received): 26/10/2022

Kabul (Accepted): 2/10/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

EFFECT OF UV AGING ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/ZINC BORATE (ZnHBO₃) POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

The fact that plastic materials have an increasing usage area and new developments in technology have brought the plastics industry into a continuous development. Plastics, which have a wide range in terms of production method, have also replaced traditional materials because their chemical and physical properties can be changed in the desired direction. The structural changes that occur when functional filler-additives are used during production cause improvements in many mechanical and physical properties of the new plastic obtained. In addition, it is a very important issue to investigate on their mechanical properties before and after UV radiation, rather than focusing only the mechanical properties of polymer composites used as building materials due to their new composition and properties. In order to examine the effect of additive amount and UV radiation on polymers; In this study, the properties of polymer composites produced with different concentrations (5, 10, 15, 20%) of zinc borate (ZnHBO₃) and polypropylene (PP) were investigated by applying UV at 70°C for 15 and 30 days. In order to examine the mechanical behavior of the samples tensile, hardness, impact and density tests were carried out. In addition, the microstructure examination of polymer composites was made with a scan electron microscope (SEM). The results show that the 746 MPa elastic modulus of pure PP increases by 30% with the addition of maximum additives. At the same time, since it has a higher density compared to polymer, the addition of 20% ZnHBO₃ increases the density of pure PP by approximately 3%. While UV aging reduces the % elongation and impact strength values of polymer composites, it causes an increase in hardness, elastic modulus, yield and breaking strength.

Keywords: Polypropylene, polymer composites, zinc borate, mechanical properties, UV aging.

1. GİRİŞ

Polimerler kolay işlenebilmeleri, düşük maliyeti, yüksek korozyon direnci, hafifliği birçok avantajı sebebiyle günlük hayatta ve endüstride geniş kullanım alanına sahiptir [1]. Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra endüstride kullanılırken çoğu zaman istenilen özelliği vermez ve beklentileri karşılamaz. Bu gibi durumlarda, mekanik ve fiziksel özelliklerinde bulunan sınırlamaları hafifletmek ve uygulama alanını genişletmek için çeşitli boyutlarda dolgu ve katkı maddeleri eklenmektedir [2,4]. Geleneksel dolgu malzemelerine kıyasla nano boyutlu parçacıklar, kompozitlerin özelliklerini geliştirmede, olumlu etkiye sahip alternatif bir malzeme türüdür. Özellikle düşük maliyetli oluşu sebebiyle termoplastik esaslı dolgu, mineral, reçine

içeren kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır [6,8]. Polimerlerin özelliklerini geliştirmede kullanılan SiO₂, ZnO, CaCO₃, ZnHBO₃, ve karbon fiberler dolgu ve katkı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer katkı malzemelerine kıyasla bor ve bor bileşiklerinin katkı malzemesi olarak kullanılması alanında literatürde daha az çalışma bulunmaktadır [7, 9-12]. Takviye malzemesinin polimerler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bu çalışmada ZnHBO₃ ve matris malzemesi olarak da PP kullanılmıştır. PP çok iyi şekilde dengelenmiş mekanik ve fiziksel özellikleri, kolay işlenebilir olması ve diğer polimerlere kıyasla düşük maliyetli olması sebebiyle kompozit üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca mühendislik plastikleri ile kıyaslandığında daha düşük yoğunluğa sahip olması, ağırlığın önemli olduğu noktalarda PP için avantaj sağlamaktadır [13-15].

Sahip olduğu bileşim ve özellikleri sayesinde yapı malzemesi olarak kullanılan polimer kompozitler için takviye miktarı önemli bir araştırma konusudur. Bunun yanı sıra özellikle dış mekan uygulamalarında kullanılan ve çevresel etkilere (sıcaklık, UV radyasyon, değişken hava koşulları vb.) maruz kalan malzemeler için kullanım öncesi ve sonrası mekanik özelliklerin gözlemlenmesi oldukça önemlidir. Güneş ışığından gelen ultraviyole ışınlarına aşırı maruz kalan polimerik malzemelerde bozulma süreçlerinin daha hızlı olduğu bilinmektedir. Polimer zincirlerinin kırılmasına sebep olan UV, molekül ağırlığında azalmayı ve dolayısıyla fiziksel ve mekanik özelliklerde bozulmayı beraberinde getirir [16-18]. UV ışığının polimer üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada [19] düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polistiren (PS) ve PP ince filmlere belirli aralıklarla 280 nm'de UV radyasyonu uygulanmıştır. Mekanik özelliklerdeki bozulmalar; UV ışınımının plastik özelliklerinde azalmaya ve kademeli kırılma yol açarak mikroplastik oluşumuna yol açtığı önemli bir kanıtı olarak gösterilmiştir. Takviye elemanının etkilerinin incelendiği Yerleşen ve Taşdemir'e [9] ait bir çalışmada HDPE'ye farklı oranlarda çinko borat ve çinko oksit ilave edilerek elde edilen kompozitlerin mekanik ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Eriyik karıştırma yöntemi ile hazırlanan kompozitlerde, ZnO ve ZnHBO₃ partiküllerinin artması elastiklik modülünde artışa sebep olmuştur. Aynı zamanda HDPE matrisindeki ZnO ve ZnHBO₃ içeriğinin artması, kompozitin sünekliğini azaltarak daha düşük uzamaya yol açmıştır. Bölek'e ait bir çalışmada [20] %1, 3, 5 oranında nano ve mikron boyutlu çinko boratın HDPE ve etilen vinil asetat (EVA) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Her iki matriste de katkı miktarının artmasıyla kompozitlerin oksijen indeksi artış göstermiştir. Ayrıca çinko borat ilavesiyle çekme mukavemeti, kırılma mukavemeti, uzama miktarı ve İzod darbe mukavemeti azalırken,

elastiklik modülü artmıştır. EVA matrisli kompozitler için, mikron boyutlu parçacıklara kıyasla nano boyutlu parçacıklar mekanik özellikler üzerinde mikron daha az olumsuz etkiye sahiptir. HDPE matrisli kompozitlerde ise çinko borat takviyesi mekanik özellikleri azaltsa da parçacık boyut farkı önemli bir etki göstermemiştir.

Bu araştırma makalesinde; polimerlerde katkı miktarının ve UV radyasyonunun etkisini incelemek amacıyla; farklı konsantrasyonlara sahip (%5, 10, 15, 20) ZnHBO₃ ve (PP) ile üretilen polimer kompozitlere 70°C sıcaklıkta 15 ve 30 gün boyunca UV uygulanarak kompozitlerin özellikleri araştırılmıştır. Farklı oranlarda çinko borat içeren polimer kompozitlerin üretimi için ekstrüzyon makinesinde eriyik halinde karıştırma yöntemi ve test numunelerinin üretimi için ise enjeksiyon şekillendirme tekniği başarılı şekilde uygulanmıştır. Numunelerin mekanik davranışları çekme, sertlik, darbe, yoğunluk testleri ve mikro yapısı ise SEM ile incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, takviye konsantrasyonunun ve UV uygulama sürelerinin numunelerin mekanik özellikler üzerindeki etkileri karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada kullanılan PP (Moplen EP 3307) Lyondell Basell tarafından temin edilmiştir ve polimerin yoğunluğu 0.9 g/cm³, ergime akış indeksi değeri 15 g/10dk (230°C, 2.16 kg) ve ısıl çarpılma sıcaklığı (0.45 MPA, unannealed) 95°C'dir. Yapısında B₂O₃ %45.0-48.0 ve ZnO %37.5-39.0 bulunduran ZnHBO₃ Jinan ShiChao Chemical Co., Ltd. (Çin) tarafında temin edilmiştir ve özgül ağırlığı 2.72 g/cm³, partikül çapı ≤ 5.0µ'dir. Polimer kompozit üretiminden önce polipropilen ve çinko borat, etüvde 105°C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutuldu. Katı bileşimlerin ilk karıştırma işlemi, LB-5601 (The Patterson-Kelley Co., Inc.USA) marka karıştırıcıda 20 dk boyunca yapıldı.

Çizelge 1. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin ağırlıkça karışım oranları

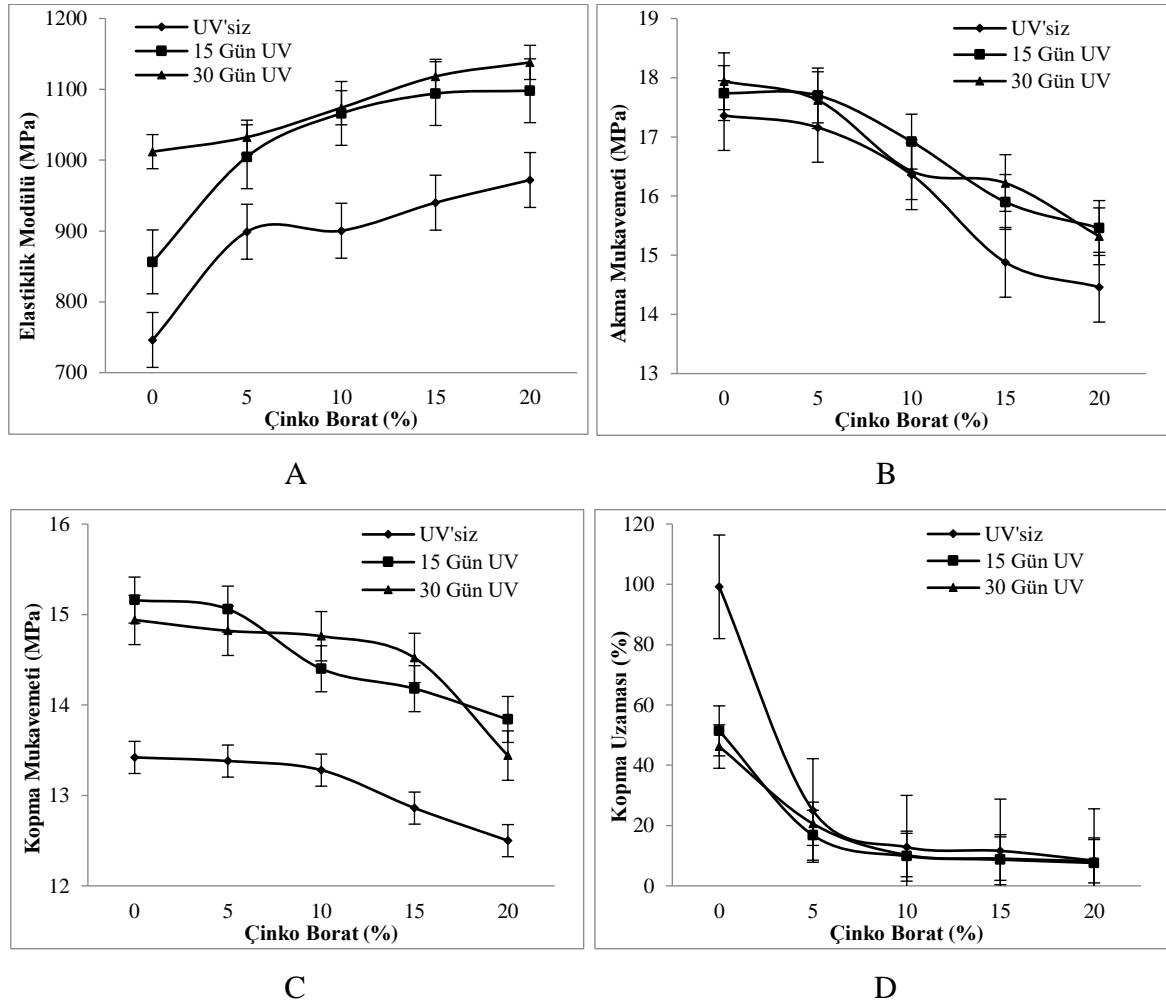
Gruplar	Polipropilen (%)	ZnHBO ₃ (%)
1	100	-
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

Çizelge 1’de belirtilen oranlara göre hazırlanan karışım; Mikrosan marka çift vidalı ekstrüzyon makinesi (Mikrosan Instrument Inc. Turkey) kullanılarak 180-220°C sıcaklık arasında 15 bar basınçta ve 20 dev/dk dönüş hızında karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla yapılan bu işlem sonucunda PP/ZnHBO₃ polimer kompozitleri üretilmiştir. Ekstrüzyonda soğutma esnasında suya maruz kalan kompozitlerin yapısında barındığı suyu uzaklaştırmak için granüller etüvde yeniden kurutulmuştur. Standartlara uygun test numunelerinin üretimi; 180-220°C sıcaklıkları arasında, 90-100 bar basınçta ve 20 dev/dk hızında enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. Üretilen test numunelerine çekme, sertlik, darbe ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Polimer kompozitlerin mikroyapı incelemesi için SEM kullanılmıştır. Aynı üretim yöntemi ile elde edilen PP/ZnHBO₃ polimer kompozitleri fiziksel özellikleri Effect of UV Aging on the Physical Properties of Polypropylene/Zinc Borate Polymer Composites isimli makalede yer almaktadır [21]. Çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak Zwick Z010 marka test cihazında (Zwick, Almanya), 50 mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığında yedi numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. Yapılan çekme testi sonucunda numunelere ait elastiklik modülü, %uzama, akma ve çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. ASTM D2240 standardına göre yapılan sertlik testleri; sert plastikler için uygun olan D tipi durometre ve Zwick marka test cihazı ile (Zwick, Almanya) altı ölçümün ortalaması alınarak yapılmıştır. Zwick B5113 marka test cihazı (Zwick, Almanya) kullanılarak ASTM D256 standardına göre oda sıcaklığında yapılan çentikli İzod darbe testleri ile malzemelerin kırılma davranışı incelenmiştir. ISO 2781 standardına göre yapılan yoğunluk tayini üç numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. UV yaşlandırma işlemi için kullanılan Devotrans marka ön ısıtmalı UV test kabini ışık mesafesi 50 mm olarak ayarlanmıştır ve Osram 300W ultra-vitalux marka lamba kullanılmıştır. ASTM D5208 standardına göre uygulanan işlemde 70°C sıcaklıkta, 15 ve 30 gün boyunca yaşlandırma yapılmıştır. Mikroyapı incelemesinden önce PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin kırık yüzeyleri, elektriksel şarjı önlemek için Polaron SC7640 (İngiltere) marka cihaz kullanılarak altın-paladyum karışımı ile 20Å kalınlığında kaplandı. Hazırlanan numunelerin yüzeyleri, FEI Sirion XL30 FEG (Nederland) SEM ile 20 kV gerilim altında incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin elastiklik modülü ile çinko borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 2-A’da gösterilmektedir. ZnHBO₃’nin PP matrisine dahil edilmesiyle kompozitin

elastiklik modülünün arttığı tespit edilmiştir. Ağırlıkça %5, 10, 15, 20 ZnHBO₃ içeren UV uygulanmamış numunelere ait elastiklik modülü sırasıyla 879, 900, 940, 972 MPa ve saf PP'nin elastiklik modülü 746 MPa olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin elastiklik modülü ile karşılaştırıldığında, bu değer ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için %30 oranında artmıştır. Özkaraca [22] ZnHBO₃ ve antimon trioksitin (AO) ABS'nin özelliklerine etkisini incelediği çalışmada takviye miktarının ilave edilmesiyle elastiklik modülünün arttığını gözlemlemiştir. AO ve ZnHBO₃ partiküllerinin zincir moleküllerinin hareketliliğine engel olan sertleştirici etkisinden dolayı elastiklik modülünün arttığı sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde UV yaşlandırma süresi elastiklik modülü üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren UV'siz, 15 ve 30 gün UV uygulanmış polimer kompozitlerin elastiklik modülü sırasıyla 972, 1098 ve 1038 MPa olarak ölçülmüştür. UV yaşlandırma süresi artışına bağlı olarak elastiklik modülü de artış göstermiştir.



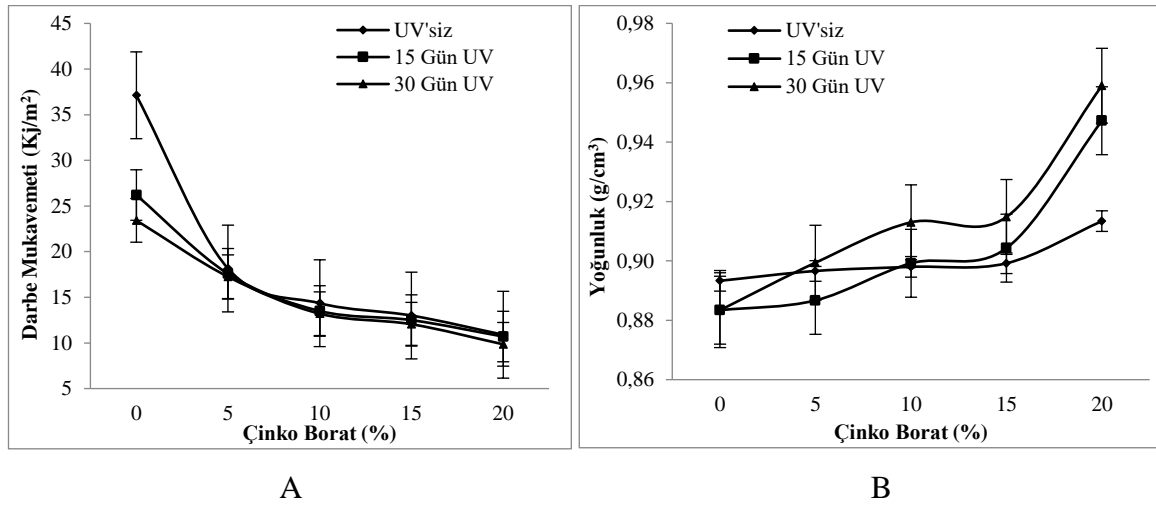
Şekil 2. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin çekme testi sonuçları

Akma mukavemeti ile çinko borat konsantrasyonu arasındaki ilişki Şekil 2-B'de gösterilmektedir. ZnHBO₃'ün PP matrisine dahil edilmesiyle kompozitin akma dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Saf PP'nin akma dayanımı ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için bu değer %17 azalmıştır. Şekil 2-C'de verilen polimer kompozitlerin kopma mukavemeti sonuçları incelendiğinde akma mukavemeti ile benzer değişimler tespit edilmiştir. ZnHBO₃'ün PP matrisine dahil edilmesiyle kompozitin kopma mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Saf PP'nin kopma mukavemeti ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için bu değer %7 azalmıştır. Jiang ve arkadaşları [23] doymamış polyestere montmorillonit ve çinko borat katarak elde ettikleri polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelediği çalışmada benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Çekme testi sonuçlarına göre; %2 oranında çinko borat, polyesterin çekme mukavemetinde azalmaya sebep olmuştur. Başka bir çalışmada Ahmad Ramazani ve arkadaşları [24]; bir dolgu maddesi karışımı olan çinko borat ve alüminyum hidroksitin PP üzerindeki etkilerini incelemiştir. Dolgu miktarının artması, tüm numunelerde çekme mukavemetinde ve kopma uzamasında azalmaya neden olurken, çekme modülünü artırmıştır. UV uygulamaları incelendiğinde; işlem görmemiş numunelere kıyasla UV uygulanmış numunelerin akma ve kopma mukavemetleri daha yüksektir. Fakat 15 ve 30 gün UV uygulanan numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında akma ve kopma mukavemeti için düzensiz değişimler mevcuttur. Saf PP ve %5 dolgu bulduran numuneler için kopma mukavemeti 15 gün UV uygulanmış numunelerde daha yüksek iken, dolgu miktarının artmasıyla bu değer hızlı bir düşüş göstermiştir. Takviyeli numuneler için en yüksek kopma mukavemeti %5 dolgu içeren 15 günlük UV uygulanan kompozit malzemelerde görülmüştür. Kotek ve arkadaşları çalışmalarında [25] UV yaşlandırmanın PP üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yaşlandırma işlemi 80°C sıcaklıkta ve 24, 96, 264, 720 saat bekleme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre bekleme süresinin artışına bağlı olarak polimerin çekme mukavemeti değerinin arttığı görülmüştür. Şekil 2-D'de verilen %uzama değerleri ve ZnHBO₃ konsantrasyonu arasındaki ilişki incelendiğinde; dolgu miktarının artmasıyla kompozitin %uzamasının azaldığı tespit edilmiştir. Ağırlıkça %5, 10, 15, 20 ZnHBO₃ içeren UV uygulanmamış numunelere ait %uzama değerleri sırasıyla %25, 13, 11.6, 8.4 ve saf PP'nin %uzama değeri %99.2 olarak ölçülmüştür. Ayrıca UV yaşlandırma süresi arttıkça kompozitlerin %uzama değerleri azalmaktadır. Ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren UVsiz, 15 ve 30 gün UV uygulanmış polimer kompozitlerin %uzama değerleri sırasıyla %8.4, 8 ve 7,6 olarak

ölçülmüştür. UV yaşlandırma süresinin incelendiği benzer bir çalışmada; Taşdemir [26] kırmızı çamur takviyeli akrilonitril bütadien stiren (ABS) kompozitlere uyguladığı UV ışını sonucunda UV süresinin %uzama değeri üzerinde etkili olduğunu görmüştür. Yapılan testler sonucunda bekleme süresi arttıkça bu değerin azaldığı tespit edilmiştir. Ainali ve arkadaşlarına ait bir çalışmada [19]12 farklı polimerlerin UV yaşlandırma altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmada kullanılan her bir polimere 0, 10, 20 ,30, 40, 50 ,60 gün süreli UV yaşlandırma sonucunda çekme testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre UV ışınlarının polimerlerin uzama davranışını olumsuz yönde etkilediği bunun yanı sıra elastiklik modülü değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca kopma ve akma mukavemeti değerleri UV süresindeki artışa bağlı olarak düzensiz değişim göstermiştir. Meydana gelen artış ve azalmalar, ilk ışınlama sonrasında bozulan moleküllerin çapraz bağlanma sonucunda yeniden kristalleşmesinden kaynaklanmaktadır.

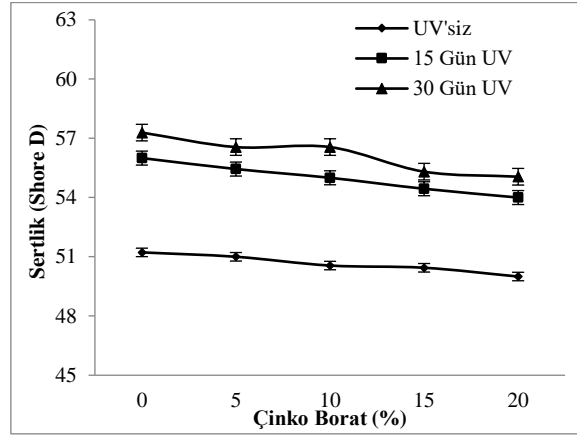
PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin İzod darbe mukavemeti ile çinko borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 3-A'da gösterilmektedir. Yapılan test sonuçlarında; ZnHBO₃ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak İzod darbe dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. UV yaşlandırma yapılmamış ve yapısında ağırlıkça %5, 10, 15, 20 oranında ZnHBO₃ bulunduran polimer kompozitlerin İzod darbe dayanımı sırasıyla 18, 14.4, 13, 11 kJ/m² ve saf PP'nin darbe mukavemeti 37,1 kJ/m² olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin İzod darbe mukavemeti ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için bu değer %70 azalmıştır. Ayrıca, UV yaşlandırma süresinin artmasıyla kompozitlerin İzod darbe mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren UVsiz, 15 ve 30 gün UV uygulanmış polimer kompozitlerin İzod darbe mukavemeti değerleri sırasıyla 10.9, 10.7, 9.9 kJ/m² olarak ölçülmüştür. Ersoy ve Taşdemir [7] çinko boratın HDPE üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada parçacık konsantrasyonu ağırlıkça %0'dan %20'ye yükseldikçe darbe mukavemetinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bor atığının dolgu malzemesi olarak kullanıldığı Öztürk'e ait bir çalışmada [27], %10, 20, 30, 40 oranında takviye içeren PP kompozitler üretilmiştir. Benzer şekilde takviye miktarının artmasıyla darbe mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin yoğunluk ile çinko borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 3-B'de gösterilmektedir. ZnHBO₃'nin PP matrisine ilave edilmesiyle kompozitin yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. UV yaşlandırma yapılmamış ve yapısında ağırlıkça %5, 10, 15, 20 oranında ZnHBO₃ bulunduran polimer kompozitlerin yoğunlukları sırasıyla 0.8867, 0.8980, 0.8992 ve 0.9134 g/cm³ ve saf PP'nin yoğunluğu 0,8933 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Saf

PP'nin yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için yoğunluk %4 artmıştır. Benzer şekilde UV yaşlandırma süresindeki artışa bağlı olarak kompozitlerin yoğunluğu da artış göstermiştir. Ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren UV'siz, 15 ve 30 gün UV uygulanmış polimer kompozitlerin yoğunluğu sırasıyla 0.9134, 0.9472 ve 0.9590 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Gulmine ve arkadaşları [28] hava koşullarının farklı polimerler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. LDPE, HDPE ve LLDPE numuneler 60°C sırasıyla 12, 24, 50, 100, 200, 400 ve 800 saat süreyle UV yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir polimerin yoğunluğu UV'ye maruz kalma süresiyle birlikte artmıştır.



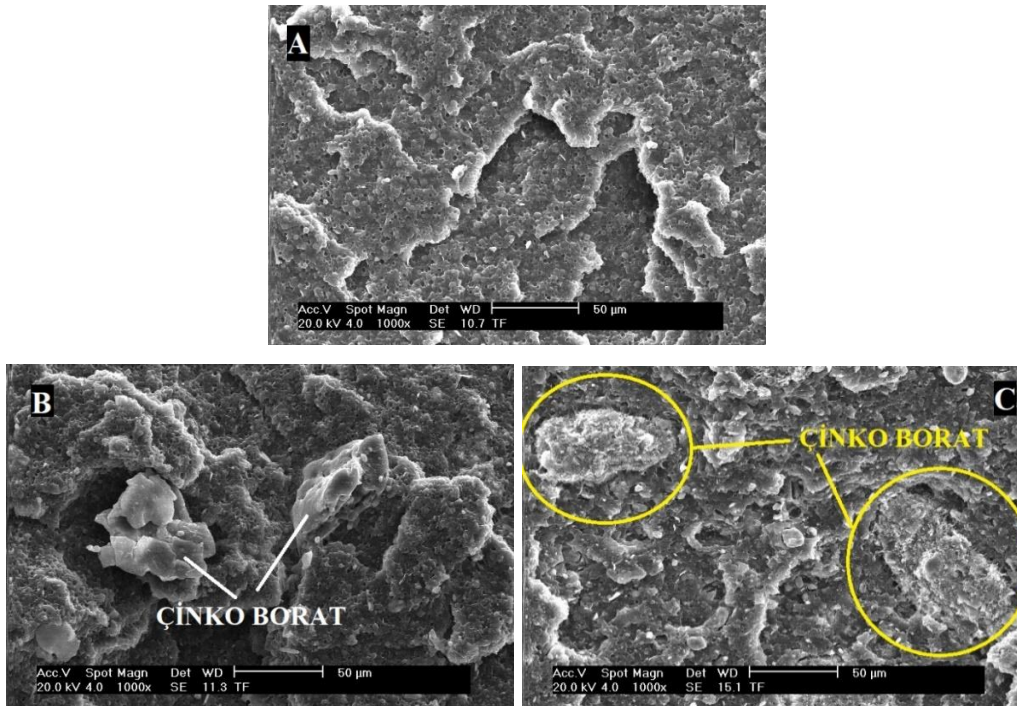
Şekil 3. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin İzod darbe dayanımı ve yoğunluk değerleri

Şekil 4'te verilen polimer kompozitlere uygulanan sertlik testi sonuçları incelendiğinde UV uygulanmamış numuneler için ZnHBO₃'ün PP matrisi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. UV yaşlandırma yapılmamış ve yapısında ağırlıkça %5, 10, 15, 20 ZnHBO₃ bulunan kompozitlerin sertlikleri sırasıyla 51, 50.6, 50.4 ve 50 Shore D ve saf PP'nin sertlik değeri 51.22 Shore D olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin sertliği ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 ZnHBO₃ konsantrasyonuna sahip kompozitler için sertlik %2 oranında bir değişim göstermiştir. Yapılan testler incelendiğinde, UV yaşlandırma süresinin polimer kompozitin sertlik miktarı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren UV'siz, 15 ve 30 gün UV uygulanmış polimer kompozitlerin sertlikleri sırasıyla 50, 54 ve 55.1 Shore D olarak ölçülmüştür. UV yaşlandırma süresi arttıkça kompozitlerin sertliği artmaktadır. Gulmine ve arkadaşlarına ait çalışmada [28] UV yaşlandırma süresi polimerler üzerinde benzer etki göstermiştir.



Şekil 4. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin sertlik değerleri

SEM çalışması, PP matrisinde çinko boratın dağılımını incelemek için yapılmıştır. Polimer matrisin kırık yüzeylerinde çinko borat ve PP matris arasındaki sınırlar ve kontrast açıkça görülmektedir. Şekil 5-A 1000x büyütmede saf PP'ye ait kırık yüzey görüntüsünü içermektedir. Ağırlıkça %10 dolgu içeren polimer kompozit görüntüsüne ait Şekil 5-B incelendiğinde; ZnHBO₃ partikülleri kırılma yüzeyi ve partikül çevresinde oluşan boşluklar zayıf ara yüzey bağlanması olduğunu açıkça göstermektedir. Şekil 5-C'deki görsel ağırlıkça %20 ZnHBO₃ içeren polimer kompozit numunelerine aittir. ZnHBO₃ partiküllerinin topaklanmasıyla oluşan kısımlar sarı ile işaretlenmiştir. Çekme ve darbe testi sonucundaki düşüşler görseller ile desteklenmektedir.



Şekil 5. PP/ZnHBO₃ polimer kompozitlerin SEM fotoğrafları

4. SONUÇ

Çinko boratın PP üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kompozitlere yapılan mekanik incelemeler sonucunda malzemenin elastiklik modülü, akma dayanımı, kopma dayanımı, % uzama, Izod darbe dayanımı, sertlik, yoğunluk değerleri tespit edilmiş olup morfolojik incelemesi yapılmıştır. Sonuçların tartışılmasından önce, homojen bir karışım sağlanması için kompoziti oluşturan bileşenlerin 220°C çalışma sıcaklığında ekstrüzyon makinesinde karıştırıldığı ve iyi eriyik akışın sağlanması için test numunelerinin hazırlanması sırasında enjeksiyon kalıplama sıcaklığı ve enjeksiyon basıncının 220°C ve 80-100 bar olarak belirlenmiştir. Hava şartlarının polimerler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla üretilen test numuneleri 70°C sıcaklık 15 ve 30 gün boyunca UV kabininde yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan çekme testi sonuçlarında zincir hareketliliğini engellediğinden dolayı elastiklik modülü ZnHBO₃ ilavesiyle %30 oranında artış göstermiştir. Aynı zamanda numunelerin UV ışınlarına maruz bırakılması elastiklik modülünü artırmıştır. En yüksek elastiklik modülü 30 gün UV uygulanan ve %20 ZnHBO₃ içeren numunelerde 1138 MPa olarak ölçülmüştür ve saf PP'ye kıyasla yaklaşık %52 oranında artış meydana gelmiştir. Sonuçlar; PP'ye çinko borat ilavesinin ve UV uygulamasının, kompozitlerin deformasyona karşı direnç kazanmasına neden olduğunu göstermektedir. Akma ve kopma mukavemeti değerleri UV uygulanmamış ve takviyeli gruplar için sırasıyla %17 ve %7 oranında azalmıştır. Akma mukavemetindeki düşüş, matrisin elastik deformasyona karşı yeteneğini kaybetmesine neden olan dolgu maddelerinin varlığından ve zayıf ara yüzey yapışmasından kaynaklanmaktadır. UV uygulamaları her iki değer için düzensiz değişimlere yol açmıştır. Bu durum, ilk ışınlama sonrasında bozulan moleküllerin çapraz bağlanma sonucunda yeniden kristalleşmesinden kaynaklanmaktadır. Elastiklik modülü sonuçlarıyla desteklendiği gibi, ZnHBO₃ ilavesiyle ve UV uygulama sonrası daha kırılğan hale gelen kompozitlerin uzama değerlerinde yoğun bir düşüş görülmektedir. İşlem görmemiş saf PP ile kıyaslandığında %20 ZnHBO₃ içeren numunelerin %uzama değeri UV sonrası yaklaşık %92 oranında azalmıştır. Bunun yanı sıra dolgu ilavesi ve UV uygulaması sonucu gelen yüklemeyi absorbe edemeyen polimer kompozitlerin İzod darbe mukavemeti değeri azalmıştır. Dolgu maddelerinin topaklaşması çekme ve darbe özelliklerinin azalmasına sebep olur. Darbe mukavemeti ve çekme özelliklerinde gözlemlenen olumsuz değişimler partiküllerin aglomerasyonundan kaynaklanabilir. Şekil 5'teki görüntülerde ZnHBO₃ ve matris arasında oluşan zayıf ara yüzey bağlanması ve topaklaşmalar görülmektedir. İşlem görmemiş saf PP ile kıyaslandığında %20

ZnHBO₃ ve 30 gün UV yaşlandırma yapılması darbe mukavemetinin sırasıyla %70 ve %72 azalmasına sebep olmuştur. ZnHBO₃'ün PP matrisin sertliği üzerinde belirgin bir etkiye sahip değildir. UV sonrası moleküllerde meydana gelen kristalleşmenin yanı sıra çapraz bağlanma reaksiyonları polimerin sertliğinin artmasına neden olur. Aynı zamanda UV yaşlandırma yapılan numunelerin yoğunluktaki artış, zincirlerin sıkı paketlenmesine sebep olan çapraz bağlanma reaksiyonlarına atfedilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Guo Y, Ruan K, Shi X, Yang X, Gu J, Factors affecting thermal conductivities of the polymers and polymer composites: A review. *Composites Science and Technology*. 193, 2020 108134
- [2] Fu S, Sun Z, Huang P, Li Y, Hu N, Some basic aspects of polymer nanocomposites: A critical review. *Nano Materials Science*. 1, 2-30, 2019
- [3] İlhan R, Feyzullahoğlu E, Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*. 6(2), 355-381, 2019
- [4] Chae DW, Kim BC, Characterization on polystyrene/zinc oxide nanocomposites prepared from solution mixing. *Polymers for Advanced Technologies*, 15, 846-50, 2005
- [5] Yang K, Yang Q, Li G, Sun Y, Feng D, Morphology and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Materials Letters*, 60, 805-809, 2006
- [6] Huang, C.K., Chen, S.W., Wei, W. C. Processing and property improvement of polymeric composites with added ZnO nanoparticles through microinjection molding. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 6009-6016, 2006
- [7] Ersoy S, Tasdemir M, Zinc oxide (ZnO), magnesium hydroxide [Mg(OH)₂] and calcium carbonate (CaCO₃) filled HDPE polymer composites: Mechanical, thermal and morphological properties. *Marmara University Journal of the Graduate School of Natural and Applied Sciences*. 24(4), 93-104, 2012
- [8] Wang Q, Chen H, Liu Y, LDPE-g-MAH prepared through solid-phase mechanochemistry and its compatibilizing effects on HDPE/CaCO₃, *Polymer-plastic Technology Engineering*. 41(2), 215-228, 2002
- [9] Yerlesen U, Tasdemir M, Effect of zinc oxide and zinc borate on mechanical properties of high density polyethylene. *Romanian Journal Of Materials*. 45(4), 364-369, 2015

- [10] Guldas A, Cankaya A, Gullu A, Guru A, Determinat, on of rheological properties of zinc borate reinforced polypropylene. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 29(2), 227-234, 2014
- [11] Sun SS, Li CZ, Zhang L, Du HL, Burnell-Gray JS, Effects of surface modification of fumed silica on interfacial structures and mechanical properties of poly(vinyl chloride) composites. European Polymer Journal, 42, 1643-1652, 2006
- [12] He P, Gao Y, Lian J, Surface modification and ultrasonication effect on the mechanical properties of carbon nanofiber/polycarbonate composites. Composites Part A, 37, 1270-1275, 2006
- [13] Yetgin SH, Çolak M, Grafit katkılı polipropilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 7(2), 649-658, 2020
- [14] İlhan R, Feyzulloğlu E, The wear of glass fiber reinforced polyester composite materials at different loads and speeds. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1), 259-266, 2018
- [15] Özcan T, Alev geciktirici katkı içeren polipropilen kompozitlerin karakterizasyonu ve yanma özelliklerinin incelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 2021
- [16] Lu T, Solis-Ramos E, Yi Y, Kumosa M, Uv degradation model for polymers and polymer matrix composites. Polymer Degradation and Stability, 54, 203-210, 2018
- [17] Selden R, Nystrom B, Langstrom R, Uv aging of poly(propylene)/wood-fiber composites. Polymer Composites, 25(5), 543-553, 2004
- [18] Lu T, Solis-Ramos E, Yi YB, Kumosa M, Particle removal mechanisms in synergistic aging of polymers and glass reinforced polymer composites under combined UV and water. Composites Science and Technology 153, 273-281, 2017
- [19] Ainali NM, Bikiaris DN, Lambropoulou DA, Aging effects on low- and high-density polyethylene, polypropylene and polystyrene under UV irradiation: An insight into decomposition mechanism by Py-GC/MS for microplastic analysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 158:105207, 2021
- [20] Bölek H, Production and characterization of zinc borate-polymer nano composites. Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure And Applied Sciences. The degree of master, 2011

- [21] Ulutaş E, Taşdemir M. Effect of UV aging on the physical properties of polypropylene/zinc borate polymer composites. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 12(1), 97-103, 2023
- [22] Özkaraca AÇ, Flame retardancy effects of zinc borate and nanoclay in abs, and boron compounds in PET. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [23] Jiang M, Zhang Y, Yu Y, Zhang Q, Huang B, Chen Z, Chen T, Jiang J, Flame retardancy of unsaturated polyester composites with modified ammonium polyphosphate, montmorillonite, and zinc borate. Journal of Applied Polymer Science. 136(11), 2019 47180
- [24] Ahmad Ramazani SA, Rahimi A, Frounchi M, Radman S, Investigation of flame retardancy and physical–mechanical properties of zinc borate and aluminum hydroxide propylene composites. Materials and Design, 29, 1051-1056, 2008
- [25] Kotek, J., Kelnar, I., Baldrian, J., Raab, M. Structural transformations of isotactic polypropylene induced by heating and uv light. European Polymer Journal. 40(12), 2731-2738, 2004
- [26] Taşdemir, M. Acrylonitrile butadiene styrene/red mud polymer composites:ultraviolet annealing. Advanced Science, Engineering and Medicine. 8(10), 804-809, 2016
- [27] Öztürk, M. Bor minerali atığı katkılı polipropilen kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 2018
- [28] Gulmine JV, Janissek PR, Heise HM, Akcelrud L. Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering. Polymer Degradation and Stability. 79(3), 385-397, 2003

NÖTRON ENERJİ SPEKTRUMLARININ HESAPLANMASI

Zaur GADIRZADE^{1,a,*}, Özlem ONAY^{2,b}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, PMYO, Eskişehir, Türkiye

^azaur.gadirzade@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6851-8653

^boonay@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6230-9335

ÖZET

Nükleer füzyon, sömürülen enerji kaynaklarına kıyasla, özellikle sınırsız yakıt rezervleri, doğal nükleer güvenlik ve ihmal edilebilir çevresel etkileri göz önüne alındığında önemli avantajlara sahiptir. Plazmadan gelen nötron emisyonunu ölçerek bir füzyon plazmasındaki yakıt iyonları döteryum (D) ve trityum (T)'un çeşitli özellikleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. Nötronlar, yakıt iyonları arasındaki füzyon reaksiyonlarında üretilir ve yayılan nötronların yoğunluğu ve enerji spektrumu, bu iyonların yoğunlukları ve hız dağılımlarıyla ilişkilidir. Bu makalede füzyon nötron ölçümlerinden elde edilen verileri analiz etmek için farklı yöntemleri açıklamaktadır. Çalışmada, İngiltere'deki tokamak füzyon reaktöründe TOFOR uçuş süresi spektrometresi ve manyetik proton geri tepme (MPR) spektrometresi de dahil olmak üzere JET'te toplanan nötron spektrometresi ölçüm verileri kullanılmıştır. Sunulan çalışma, verilen yakıt iyonu dağılımlarından nötron enerji spektrumunun hesaplanmasına dayanmaktadır. Uygun tasarlanmış bir modelin, birçok farklı parametre seti için nötron spektrumunun hesaplanması ve deneysel verilerin en iyi sonuçlanan değerlerin bulunması tahmin edilebilen bir dizi fiziksel parametreye bağlıdır. Bu çalışma, bu tür nötron spektrum hesaplamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Reaktant Dağılımlar, Kinematik, Termal Spektrumlar.

CALCULATION OF NEUTRON ENERGY SPECTRUM

ABSTRACT

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Geliş (Received): 08/11/2023

Atf (Citation): Gadirzade, Z., Onay, Ö., "Nötron Enerji Spektrumlarının Hesaplanması", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 79-94, 2023.

Kabul (Accepted): 29/12/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

Nuclear fusion has significant advantages over exploited energy sources, especially given its unlimited fuel reserves, natural nuclear safety and negligible environmental impacts. By measuring the neutron emission from the plasma, it is possible to obtain information about the various properties of the fuel ions deuterium (D) and tritium (T) in a fusion plasma. Neutrons are produced in fusion reactions between fuel ions, the density and energy of emitted neutrons are related to the density and velocity these ions. This article describes different methods for analyzing data from fusion neutron measurements. The study use neutron spectrometry data collected in JET, including the TOFOR time-of-flight spectrometer and magnetic proton rebound (MPR) spectrometer at the tokamak fusion reactor in England. The presented work is based on the calculation of the neutron energy. Spectrum from the given fuel ion distributions. Calculation of a properly designed model, neutron spectrum for many different parameter sets, and finding the best-resulting values of experimental data depend on a number of predictable physical parameters. This work provides an overview of such neutron spectrum calculations.

Keywords: Reactant Distributions, Kinematics, Thermal Spectra.

1. GİRİŞ

Nükleer füzyon, diğer enerji kaynaklarına kıyasla, özellikle sınırsız yakıt rezervleri, doğal nükleer güvenlik ve ihmal edilebilir çevresel etkileri göz önüne alındığında önemli avantajlara sahiptir.

Füzyon reaksiyonları, hafif elementlerin Coulomb kuvvetlerinin birbirlerini itme eğilimini, “güçlü nükleer kuvvet” ile aşarak bir araya gelmelerine ve başka bir atom çekirdeği oluşturup; nötron ve çok yüksek miktarda enerji açığa çıkarması olarak tanımlanmaktadır. Evrende bulunan dört temel kuvvetten biri olan bu güçlü nükleer kuvvetin, atom çekirdeklerini birbirinden ayrı tutan elektromanyetik kuvvetleri yenebilmesi için çekirdeklerin ısı veya basınç etkisi altında birbirine çok yaklaşması gerekir. Füzyon santrallerinde meydana gelen ana füzyon reaksiyonu, helyum atomları oluşturmak için hidrojen izotopları olan döteryum ve trityumunun nükleer kaynaşması ile meydana gelir. Bu sırada bir nötron ve büyük miktarda enerji açığa çıkar. Günümüzde kullandığımız nükleer enerji, uranyum gibi ağır elementleri parçalayıp farklı elementlere dönüştürürken, füzyon reaksiyonları hafif elementlerin birleşimi sayesinde gerçekleşmektedir. Reaksiyon tipine göre atık maddeler oluştursa da nükleer reaktörler gibi uzun süreli radyoaktif atık üretmemektedir. Füzyon reaktörlerinin nükleer bölgesinin yüksek

ısıya ulaşması ve nötron yüklemesi karşılaşılan en temel sorundur. Bu nedenle füzyon plazmasındaki yakıt iyon yoğunluğunu ve sıcaklığını ölçmek ve aynı zamanda kontrol etmek büyük önem arz etmektedir [1-3].

Füzyon araştırması, füzyon yakıtının sınırlandırılması sorununa iki ana yaklaşım getirmektedir. Bunlardan biri, yakıtın bir plazma biçiminde olduğu ve harici olarak üretilen manyetik alanlar aracılığıyla sınırlandırıldığı “manyetik hapsetme” olarak adlandırılmaktadır. Diğer yaklaşım ise daha sonra kendi ataletiyle sınırlandırılan küçük bir alana sıkıştırmak için bir lazer darbesinin kullanıldığı “atalet hapsi” olarak adlandırılmaktadır [4-6].

Bu makale, yalnızca manyetik sınırlama ve özellikle tokamak reaktörü ile ilgilidir. Çalışmada, İngiltere’de Abingdon dışında bulunan Ortak Avrupa Torus (JET) tokamak reaktöründe, TOFOR uçuş süresi spektrometresi ve manyetik proton geri tepme (MPR) spektrometresi de dahil olmak üzere, toplanan nötron spektrometrisi ölçüm verileri kullanılmıştır [7]. JET, ana yarıçapı (~3m), küçük yarıçapından (~1m) önemli ölçüde daha büyük olan, büyük en-boy oranına sahip tokamak reaktördür. Dünyanın en büyük tokamak reaktörü olan JET, 80-100 m³ plazma hacmin ile, 4T manyetik alana ve 5MA plazma akımına kadar çalışabilmektedir. Ayrıca JET, şu anda trityum ile çalışabilen ve 16 MW’lık füzyon gücü üretilen tek reaktördür kullanılmıştır [7-8].

JET ve dünyadaki diğer tokamak reaktörlerinden elde edilen sonuçlar, şu anda Fransa’nın Cadarache yapım aşamasında olan yeni nesil tokamak reaktör ITER’in bilimsel ve teknolojik temelini oluşturmuştur. JET’ten yaklaşık on kat daha büyük olacak olan ITER reaktör ile, ısıtma gücünden daha fazla füzyon gücü üretilmesi amaçlanmaktadır.

Nötron spektrumları hesaplama yöntemlerini kullanarak, çeşitli plazma senaryoları için nötron emisyonunun farklı parametrik modellerini kurmak mümkündür. Bu çalışmada NBI ile ısıtılan plazmalardaki yakıt iyon yoğunluğunu ve ICRH’li plazmalardaki hızlı D dağılımını tahmin etmek için nötron emisyonunun farklı parametrik modeller kullanılarak nötron enerji spektrumunun hesaplanması ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda hesaplanan spektrum yakıt iyonu dağılımının belirli bir modeli, gerçek nötron emisyonu ile uyumunu görmek için ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır.

D+T ve D+D reaksiyonları gibi ilgili füzyon reaksiyonlarının çoğu, son durumda iki parçacığa sahiptir, ancak T+T reaksiyonu gibi üç parçacığın üretildiği örnekler de bulunmaktadır. Bu çalışmada hem iki hem de üç cisim reaksiyonları ele alınmıştır. Yakıt

iyonlarının sonlu Larmor yarıçaplarını spektrum hesaplamasına dahil etmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu etkinin, nötr ışın enjeksiyonu (NBI) ile birlikte iyon siklotron rezonans ısıtmasını (ICRH) kullanan bir plazma senaryosu için ölçülen TOFOR spektrumunun şeklini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

2. KİNEMATİK

Tokamak reaktörünün ve diğer herhangi bir füzyon enerji deneyinin nihai amacı, üretilen füzyon gücünün, füzyon reaksiyonlarının devam etmesi için dışarıdan sağlanması gereken gücü aştığı bir durum yaratmak ve sürdürmektir. Tokamak plazmasını sabit durumda tutmak için, plazmadan kaybedilen güç P_{loss} , α parçacık gücü P_a ve harici olarak sağlanan ısıtma gücü P_{ext} ile hesaplanmalıdır.

Hesaplanan spektrum yakıt iyonu dağılımının belirli bir modeli, gerçek nötron emisyonu ile uyumlu olup olmadığını görmek için ölçülen verilerle karşılaştırılmalıdır. İyi kurulmuş bir modelin, birçok farklı parametre seti için nötron spektrumunun hesaplanması ve deneysel verilerin en iyi tanımıyla sonuçlanan değerlerinin bulunmasıyla, tahmin edilebilen bir dizi fiziksel parametreye bağlı olması da söz konusu olabilir. Bu kısım nötron spektrum hesaplamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

Nötron spektrum hesaplamalarına temel oluşturacak eşitlikler ele alındığında, m_a ve m_b kütleli iki parçacık etkileştiğinde ve n kütleli m_i ($i = 1, 2, \dots, n$) parçacığı ürettiğinde, dört-momentum korunumu şunu gerektirir:

$$P = P_a + P_b = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

Burada $P_j = (E_j, \mathbf{p}_j)$ j parçacığının dört momentumudur ve $P \equiv (E, \mathbf{p}) \equiv (E_a + E_b, \mathbf{p}_a + \mathbf{p}_b)$ sistemin toplam dört momentumudur. Parçacık 1'in enerjisi için bir denklem, bu denklemin her iki tarafından P_1 çıkarılarak ve karesini alarak elde edilebilir.

$$M^2 + m_1^2 - 2(E E_1 - \mathbf{p} \cdot \mathbf{p}_1) = M_R^2, \quad (2)$$

Burada,

$$M^2 = p^2 = (E_a + E_b)^2 - (\mathbf{p}_a + \mathbf{p}_b)^2 \quad (3)$$

Reaksiyonun değişmez kütleleridir ve $M_R^2 = (\sum_{i=1}^n P_i)^2$, artık parçacıkların değişmez kütleleridir. P_1 ' ifadesini $(E_1^2 - m_1^2)^{\frac{1}{2}}$ ve $u = \mathbf{p}_1 / p_1$ şeklinde eşitlikteki yerinde yazılırsa;

$$E_1 - (E_1^2 - m_1^2)^{\frac{1}{2}} \frac{p}{E} \cdot u = \frac{M^2 + m_1^2 - M_R^2}{2E}, \quad (4)$$

genel ifadesi elde edilir. u yönünde yayılan 1 parçacığının enerjisini elde etmek için bu denklem çözülmelidir. (4) denklemini çözmek için M_R 'nin değerini bilmek gerekir. Füzyonla ilgili reaksiyonların çoğu için, son durumda sadece iki parçacık vardır. Bu da M_R 'nin basitçe m_2 'ye eşit olduğu anlamına gelir, ancak daha fazla parçacık varsa M_R , denklem (1) yerine getirildiği sürece herhangi bir değeri alabilir. Son durumda üç parçacığın olduğu durum, T-T füzyon reaksiyonundan nötron spektrumunun hesaplamaları da verilmiştir

Denklem (4) hakkında daha fazla bilgi, onun momentum merkezi sistemindeki (CMS) çözümü, yani toplam momentumun sıfır ve $E=M$ olduğu referans çerçevesi dikkate alınarak elde edilebilir. Yıldız işareti, CMS miktarlarını belirtmek için kullanılır.

$$E_1^* = \frac{M^2 + m_1^2 - M_R^2}{2M}, \quad (5)$$

Böylece, CMS'de parçacık 1'in enerjisi emisyon yönünden bağımsızdır. Ayrıca, E_1^* ifadesini tekrar (4) denkleminde yerine konulur. İfade içerisinde p/E 'nin CMS'nin hızı olduğunu kabul edilir ve $\gamma=(1-\beta^2)^{1/2}$ 'yi verir. Orijinal referans çerçevemizden CMS'ye Lorentz dönüşümü:

$$\gamma(E_1 - (E_1^2 - m_1^2)^{\frac{1}{2}} u \cdot \beta = E_1^*, \quad (6)$$

olarak ifade edilir. M ve M_R değişmez kütleleri belirtilmiş olsa da E_1^* 'in değersiz olarak belirlendiği açıktır. Ek olarak, diğer bir referans çerçevesinde, E_1 , u emisyon yönüne bağlıdır. Belirli bir emisyon yönünde, kinematik olarak izin verilen iki E_1 değeri olabileceğini göstermektedir. Bu durum CMS'deki partikül E_1 'in hızının CMS'nin hızı olan β 'dan küçük olduğu durumlarda geçerlidir. Bu koşul eşdeğerdir:

$$\frac{M^2 + m_1^2 - M_R^2}{2m_1} < E, \quad (7)$$

Bu eşitsizliğin geçerli olduğu her durumda, belirli bir u için E_1 için genellikle iki çözüm vardır ve emisyon yönü, CMS'nin hızına göre bir yarıküre ile sınırlıdır. Yine de çift değerli çözüm, füzyon nötron spektrometrisi uygulamaları için büyük bir endişe kaynağı oluşturmamaktadır. Denklem (3) $m_a + m_b \leq M \leq E$ olduğunu varsayarak yazabiliriz:

$$\frac{M^2 + m_1^2 - M_R^2}{2m_1} > \frac{(m_a + m_b)^2 + m_1^2 - M_R^2}{2m_1}, \quad (8)$$

Son ifadeye ilgili kütleler yerleştirildiğinde, ikinci çözümün elde edilebilmesi için toplam

yakıt iyonu kinetik enerjisinin,

$E - m_a - m_b$ 'nin D-T ve D-D reaksiyonları için sırasıyla yaklaşık 70 MeV ve 10 MeV olması gerektiği görülmektedir. Böyle yüksek kinetik enerjiler, bir füzyon plazmasında çok nadirdir.

3. REAKTANT DAĞILIMLARI ÜZERİNDEN ENTEGRASYON

Kinematik kısmında elde edile ifadeler, belirli hızlarda iki yakıt iyonu arasındaki bir füzyon reaksiyonunda üretilen bir nötronun enerjisini bulmak için kullanılabilir. Bununla birlikte, füzyon nötronlarının enerji spektrumunu hesaplamak için, yakıt iyonlarının hız dağılımları ve füzyon reaksiyonunun enine kesiti üzerinden entegre edilmesi de gereklidir.

r konumundan u yönünde yayılan E_n enerjili nötronların sayısı şu şekilde verilir:

$$n(E_n, u, r) = \frac{1}{1+\delta_{ab}} \int_{v_a} \int_{v_b} f_a(v_a, r) f_b(v_b, r) |v_a - v_b| \sigma(v_a, v_b, u) \cdot \delta(E_n - E_1(v_a, v_b, u)) dv_a \cdot dv_b, \quad (9)$$

Füzyon kesitleri genellikle CMS enerjisinin M ve göreli hız $v_1 - v_2$ 'ye göre emisyon açısı θ 'nin bir fonksiyonu olarak formül haline getirilir.

$$\Psi_n(E_n) = \int_r n(E_n, u, r) \Delta\Omega(r) \delta(u - u_{det}(r)) dr, \quad (10)$$

Bu nedenle, (9) integralinde $\sigma(v_a, v_b, u)$ kesitini $\sigma(M, \theta)$ 'ye dönüştürmek gerekir. Bu Jacobian $\frac{\partial\Omega_{CM}}{\partial\Omega}$ ile çarpılarak yapılır,

$$\sigma(v_a, v_b, u) = \sigma(M, \theta) \frac{\partial\Omega_{CM}}{\partial\Omega}, \quad (11)$$

Jacobian için (göreceli) ifade olarak yazılabilir [9].

$$\frac{\partial\Omega_{CM}}{\partial\Omega} = \frac{p_1^2}{\frac{E_a + E_b}{M} p_1 (p_1 - E_1 \cdot u \cdot \beta)}, \quad (12)$$

Son birkaç yıl boyunca, Jacobian kodu, TOFOR ve MPR analizi için nötron spektrumlarını hesaplamak için kullanılmakta ve iyi sonuçlar vermektedir. Kod esas olarak, bir Monte-Carlo denklemi (9) hesaplaması ile nötron enerji spektrumunu tek bir noktadan hesaplamak için geliştirilmiştir. Belirli bir aletin görüş hattının 3 boyutlu modeli üzerinden entegre spektrumu hesaplama imkânı da eklenmiştir, ancak bu işlevsellik bazı performans sorunlarına sahiptir ve

plazma dönüşünü veya tam manyetik alan geometrisini uygun şekilde hesaba katmaz (tamamen toroidal manyetik alan varsayılır). Bu nedenle, en başından beri hacim entegrasyon yetenekleri göz önünde bulundurulurken yakın zamanda başka bir kod geliştirilmiştir. Bu kod, Yönlü Göreceli Spektrum Simülatörü (DRESS) olarak adlandırılır.

3.1. Termal ve ışın-termal spektrumlar

Farklı yakıt iyonu dağılımları için bir nötron spektrumunun nasıl görünebileceğini anlamak için iki özel durumu göz önünde bulundurmak önemlidir. Burada yapılan hesaplamalar D-D ve D-T reaksiyonları gibi bir nötron ve bir atık parçacık üreten füzyon reaksiyonları ile sınırlı tutulmuştur. İlk olarak, her iki yakıt iyonu türünün de termal dengede olduğu durumu ele alınmış ve eşitlik 3.9'un integrali analitik olarak gerçekleştirilmiştir [10]. Bu kapsamda $E_{fus} > k_B T$ varsayımı yapıldığında hesaplamalar oldukça basitleşmektedir. Yapılan bu varsayımla eşitlik, E_{fus} 'un birkaç MeV ve $k_B T$ 'nin 5–30 keV mertebesinde olduğu tipik füzyon plazmalarında her zaman geçerli olacaktır [11]. Spektrum için

$$n_{th}(E_n) = \frac{n_1 n_2}{(1 + \delta_{12}) \sqrt{2m_n \langle E_n \rangle}} (\sigma v)_{th} \left(\frac{m_1 + m_2}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{1}{2}} \times \exp \left[- \frac{m_1 + m_2}{m_n} \frac{(E_n - \langle E_n \rangle)^2}{4k_B T \langle E_n \rangle} \right] \quad (13)$$

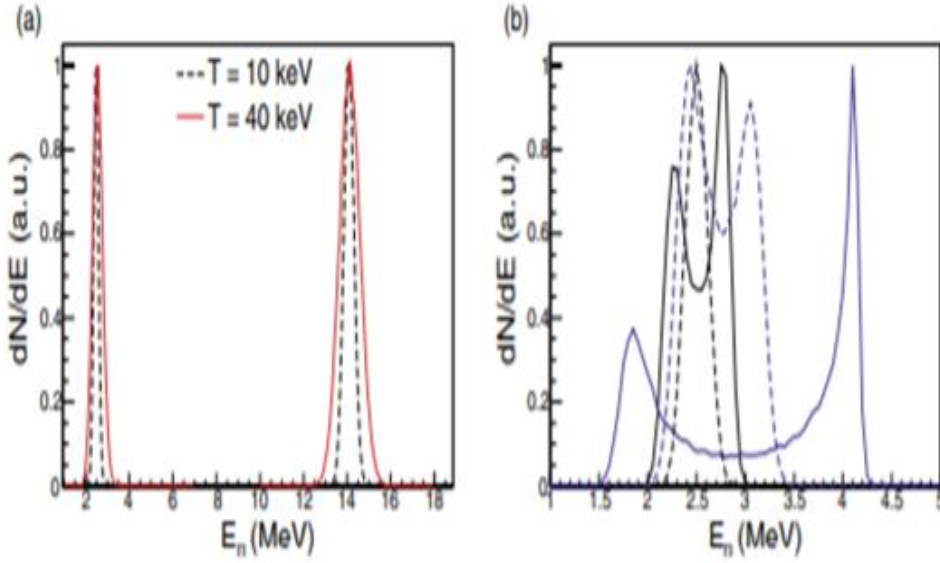
ifadesi elde edilir. Yani ortalama nötron enerjisi E_n merkezli ve standart sapma ile verilen bir Gauss fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu ifade;

$$\sigma = \left(\frac{2k_B T \langle E_n \rangle m_n}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (14)$$

ile verilir.

σ , E_n 'nin sıcaklık bağımlılığından dolayı küçük bir düzeltme ile, sıcaklığın karekökü ile orantılı iyi bir yaklaşımdır [12-13]. Bu nedenle, ölçülen bir termal nötron spektrumundan, spektrumun genişliğinden plazmanın iyon sıcaklığını belirlemek mümkündür. İki farklı sıcaklığa karşılık gelen termal nötron spektrumları Şekil 1.a 'da gösterilmiştir. Diğer önemli özel durum, bir iyon türünün diğerinden çok daha yüksek enerjiye sahip olmasıdır.

Böyle bir iyon ile termal plazmadan bir iyon arasındaki füzyon reaksiyonu, bu makalede ışın-termal reaksiyon olarak adlandırılır.



Şekil 1. (a) İki farklı sıcaklık için D-D ve D-T tepkisinden termal nötron spektrumları. (b) 100 keV (siyah çizgiler) ve 1 MeV (mavi çizgiler) enerjileri olan tek enerjili ışınlar için ışın-termal D-D spektrumları Işın'ın eğim açıları 90° çizgi çizgileri ve 20° dir (kesik çizgiler). Spektrum manyetik alana dik olarak gözlenir ve plazma 10 keV'dir [14]

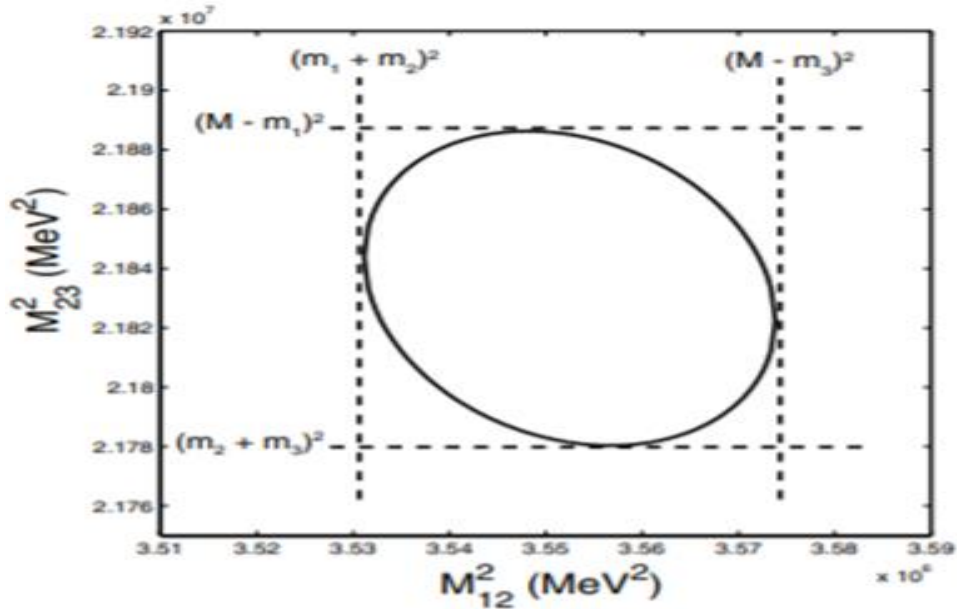
Bu durumda toplam momentum p , hızlı iyonun momentumu olan p_a olur. Nötron spektrumunun manyetik alana dik bir açıyla gözlemlendiği bir durum düşünüldüğünde Larmor salınım hareketi nedeniyle, bazı hızlı iyonlar dedektörden uzaklaşacak ve bazıları ona doğru hareket edecektir. Dedektöre doğru yayılan bir füzyon nötronunun enerjisi, reaksiyonun Larmor yörüngesinin neresinde gerçekleştiğine bağlıdır. Hızlı iyon dedektöre doğru hareket ederken bir reaksiyon meydana gelirse, bu E_n 'nin maksimum pozitif Doppler kaymasına karşılık gelir. Benzer şekilde, Larmor dönüşünün zıt fazında maksimum negatif Doppler kayması olacaktır. Elde edilen spektrum, şekil 1b'de farklı enerjilere ve eğim açlarına sahip tek enerjili kırılgarlar için gösterildiği gibi, karakteristik bir "çift kambur" şekle sahiptir.

Bu durumda toplam momentum p , hızlı iyonun momentumu olan p_a olur. Nötron spektrumunun manyetik alana dik bir açıyla gözlemlendiği bir durumu göz önüne alındığında, Larmor salınım hareketi nedeniyle, bazı hızlı iyonlar dedektörden uzaklaşırken bazıları da dedektöre doğru hareket edecektir. Dedektöre doğru yayılan bir füzyon nötronunun enerjisi, reaksiyonun Larmor yörüngesinin neresinde gerçekleştiğine bağlıdır. Hızlı iyon dedektöre doğru hareket ederken bir reaksiyon meydana gelirse, bu E_n 'nin maksimum pozitif Doppler kaymasına karşılık gelir. Benzer şekilde, Larmor dönüşünün zıt fazında da maksimum negatif

Doppler kayması olacaktır. Elde edilen spektrum karakteristik "çift kambur" şekle sahiptir ve farklı enerjilere ve eğim açlarına sahip tek enerjili kırımlar için Şekil 1.b'de gösterilmiştir.

3.2. Gövdeli Son Haller

Bu kısımda özetlenen nötron enerji spektrumunu hesaplamaları, $T(t,2n) 4He(T-T)$ reaksiyonunda nötron spektrumunun şeklini belirlemek ve JET'te gelecekteki bir D-T reaksiyonunda T-T nötronlarından hızlı iyon elde etme potansiyelini araştırmak için kullanılmıştır. Bir D-T reaksiyonu oluşturmak için olası bir yaklaşım, saf bir trityum plazmasından başlamak (duvarlardaki kalıntı döteryumu temizlemek için bir süre hidrojen uygulandıktan sonra) ve döteryum fraksiyonunu kademeli olarak 50/50'lik bir karışıma yükseltmektir. Bu yaklaşım, 1997'de trityumun bir döteryum plazmasına kademeli olarak eklendiği önceki D-T reaksiyonunun tam tersidir. Bu zıt yaklaşım, taşıma, hapsetme ve plazma stabilitesinin hızlı parçacıklardan nasıl etkilendiğine dair, izotop etkilerinin araştırılmasına izin verecektir. Bu amaçla, T-T reaksiyonu nötronların ana kaynağı olduğunda, nötron spektrometrisinin ne ölçüde hızlı iyon verileri sağlayabileceğini araştırmak açısından önem arz etmektedir [15-16].



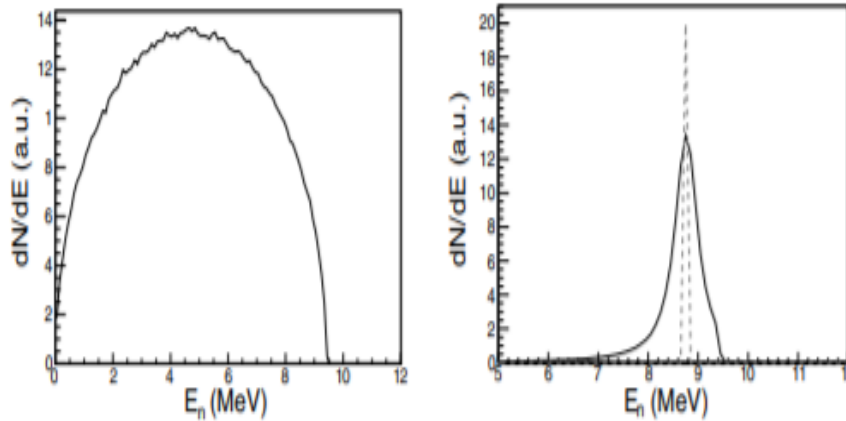
Şekil 2. Dalitz çizim sınırı örneği, yani T-T reaksiyonu için kinematik olarak izin verilen faz uzayı bölgesi. Bu örnekte tritonların ikisi de hareketsizdir, yani $M = 2mt$ ve m_1, m_2 ve m_3 kütleleri sırasıyla nötrona, diğer nötrona ve $4He$ 'ye karşılık gelmektedir [14]

T-T reaksiyonunun kesiti, Şekil 2'de görüldüğü gibi D-D reaksiyonuna benzer. Ancak, iki yerine üç reaksiyon ürünü olduğundan,



nötron spektrumu hesaplamaları, D-D ve D-T durumundan biraz farklıdır. (4) Denklemindeki değişmez kütle MR artık iki çarpım durumunda olduğu gibi tek bir değer yerine bir değer dağılımı alabilir. Olası MR değerleri, bir Dalitz grafiği ile görselleştirilebilen faz uzayında kinematik olarak izin verilen bölgeden belirlenir. Bu, $M_{12}^2 \equiv (p_1 + p_2)^2$ 'ye karşı $M_{34}^2 \equiv (p_3 + p_4)^2$ bir grafiğidir ve reaksiyon ürünlerinin iki alt sisteminin değişmez kütlelerinin karesi olarak ifade edilebilir.

Nötronlardan biri parçacık 1'e karşılık gelecek şekilde seçilirse, M_{23} , M_R 'ye eşit olmaktadır ve M_{12} 'nin minimum değeri $m_1 + m_2$ 'dir (CMS'de duran parçacık 1 ve 2) ve maksimum değer $M - m_3$ 'tür (CMS'de duran parçacık 3). Belirli bir M_{12} değeri için M_{23} aralığı, M_{12} ve partikül kütlelerinden hesaplanmıştır [17]. T-T reaksiyonu için Dalitz grafiğinin sınırlarının bir örneği, soğuk reaktanların sınırlayıcı durumu için, yani her iki yönde hareketsizken ($M = 2m_t$) Şekil 2'de gösterilmiştir. Son durumda parçacıklar arasında etkileşim yoksa Dalitz sınırları içindeki olayların dağılımı tekdüze olacaktır [18].

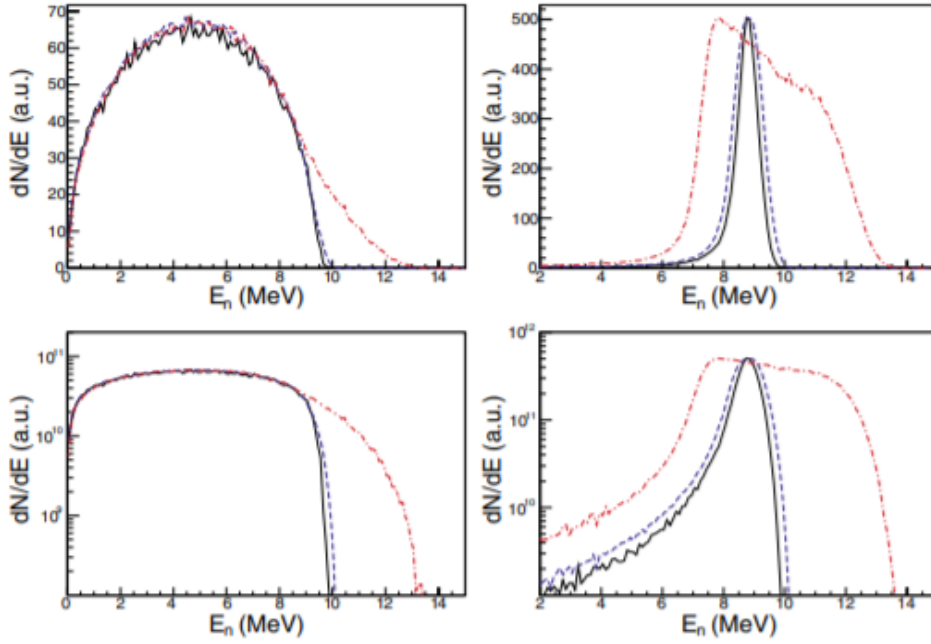


Şekil 3. Solda: Son durum etkileşimleri olmadığında soğuk reaktanlar için hesaplanmış T-T nötron spektrumu. Sağda: Bir nötron ve 4He'nin temel durumda kısa ömürlü bir 5He rezonansı oluşturmak üzere etkileştiği durum. Sağ panelde ayrıca, 5He sabit olsaydı (kesikli çizgi) elde edilecek olan tepe noktası gösterilmektedir [14]

Son durum etkileşimlerinin yokluğunda nötron spektrumu, her Monte Carlo olayı için Dalitz grafiğinin düzgün bir şekilde örneklenmesiyle hesaplanabilir. Böylece nötron enerjisi için denklem (4) çözülürken kullanılan bir $M_{23} = M_R$ değeri elde edilir. Böyle bir spektrum, soğuk reaktanların sınırlayıcı durumu için Şekil 3'ün sol panelinde gösterilmektedir. Bununla birlikte, hızlandırıcı deneyleri [19-20] ve eylemsiz hapsedilmiş füzyon deneyleri nötron spektrumunun şeklini değiştiren son durum etkileşimlerinin gerçekte var olduğunu göstermektedir. E_n 'de önemli değişiklik, nötronlardan birinin 4He ile etkileşimi nedeniyle nötron spektrumunda bir tepenin oluşması ve temel durumda kısa ömürlü bir 5He rezonansının oluşmasıdır. Bu reaksiyon kanalı için dağılma oranının yüzde 5-20 civarında olduğu gözlemlenmektedir. Nötron-nötro etkileşimi uyarılmış durumda 5He rezonansının oluşumu nedeniyle nötron spektrumunun modifikasyonu da gösterilmektedir, ancak karşılık gelen spektral özellikler çok belirgin değildir. Ortalama kütlesi \hat{m} ve bozulma genişliği Γ olan bir rezonans için bu dağılım şu şekilde verilir:

$$f(M_R) = \frac{1}{2\pi} \frac{\Gamma}{(M_R - m) + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad (16)$$

5He için ölçülen \hat{m} ve Γ değerleri elde edilmiştir. Değerler sırasıyla $4.67 \text{ GeV}/c^2$ ve 648 keV 'dir. Nötron enerjilerini hesaplariken bu dağılımdan M_R değerlerinin kullanılması, soğuk reaktanlar için Şekil 3'ün sağ panelindeki spektrumu gösterilmektedir. Bu spektrum basitçe $E_n = 8.7 \text{ MeV}$ 'de bir tepedir ve şekil 3, rezonansın bozulma genişliğinin getirdiği genişlemeyi açıkça göstermektedir [2].



Şekil 4. 10 keV'de bir termal plazmadan (siyah düz çizgi), NBI ile ısıtılan bir plazmadan (mavi kesikli çizgi) ve NBI ile ısıtılan bir plazmadan ve 3. harmonik ICRH'den (kırmızı kesikli çizgili çizgi) gelen T-T reaksiyonundan hesaplanan nötron enerji spektrumları. Sol: Son durum etkileşimi yok. Sağda: 5He rezonansı üretildiğinde elde edilen tepe noktası. Spektrumlar aynı tepe yoğunluğuna normleştirildi ve hem lineer (üstte) hem de log ölçeğinde (altta) gösterilmiştir [14]

Burada yapılan hesaplamalarla, farklı sıcaklıklarda termal plazmalar için, T-T nötron spektrumuna bu iki koşulun ilavesi, NBI ile ısıtılmış plazma ve NBI ile 3. harmonik ICRH kombinasyonu da eklenmiştir. Hızlı parçacık dağılımları, 1 boyutlu Fokker-Planck denkleminde hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4, T-T reaksiyonunun son halinin üç cisimli doğasının, ölçülen bir spektrumdan hızlı iyon bilgisi çıkarma girişimlerini karmaşıklaştıracağını göstermektedir.

Spektrumların şekilleri, temeldeki yakıt iyonu dağılımlarına karşı çok hassas değildir; bu durum, örneğin; termal ve ışın-termal bileşenler, D-D veya D-T reaksiyonlarından daha zordur. Bu, özellikle, tek farkın nötron spektrumunun yüksek enerji kuyruğunda ortaya çıktığı, son durum etkileşimlerinin olmadığı dal için (Şekil 4'te sol panel) belirgindir [21].

Bunun istisnası, termal ve NBI bileşenlerine kıyasla belirgin şekilde farklı bir şekle sahip olan 3. harmonik ICRH ve NBI'dan gelen 5He rezonans spektrumudur ancak iki bileşenle sınırlı değildir. Yapılan çalışma istenilen bir Dalitz grafiği verilen T-T spektrumunu

hesaplamak için kullanmıştır. Nötron spektrometri uygulamaları için T-T reaksiyonunun kullanılmasıyla ilgili temel sorun, Dalitz grafiğinin iyi bilinmemesidir. Bununla birlikte farklı reaksiyon kanalları ve bunların enerji bağımlılığı arasındaki dallanma oranlarını tam olarak açıklayamaması, reaksiyon kanallarının spektruma hangi noktada önemli katkılar sağladığı konusu net bilinmemesi trityum baskın plazmalarda herhangi bir kantitatif hızlı iyon teşhisi için, nötron spektrometrisini kullanmayı zorlaştırmaktadır. Diğer yandan, JET'teki T-T deneylerinden elde edilen nötron spektrometre verileri, nükleer fizik açısından, çeşitli reaktant enerjileri için T-T reaksiyonu hakkında daha fazla veri sağlayacağı düşünüldüğünden önem taşımaktadır.

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, termal ve NBI bileşenlerine kıyasla belirgin şekilde farklı bir şekle sahip olan 3. harmonik ICRH ve NBI'dan gelen 5He rezonans spektrumudur. Yukarıda tartışılan iki bileşenle sınırlı değildir, keyfi yapıya sahip bir Dalitz grafiği verilen T-T spektrumunu hesaplamak için kullanılabilir. Nötron spektrometri uygulamaları için T-T reaksiyonunun kullanılmasıyla ilgili temel sorun, Dalitz grafiğinin iyi bilinmemesidir. Yukarıda belirtilen birkaç mevcut referans, farklı reaksiyon kanalları ve bunların enerji bağımlılığı arasındaki dallanma oranlarının tam bir resmini vermez, hangi reaksiyon kanallarının spektruma önemli katkılar sağladığı konusunda bile çelişkiler vardır. Bu gerçek muhtemelen trityum baskın plazmalarda herhangi bir hızlı iyon teşhisi için nötron spektrometrisini kullanmayı zorlaştıracaktır. Öte yandan, JET'teki T-T deneylerinden elde edilen nötron spektrometri verileri, nükleer fizik açısından çok ilginç olacaktır, çünkü çok çeşitli reaktör enerjileri için T-T reaksiyonu hakkında daha fazla veri sağlayacaktır

KAYNAKÇA

- [1] D. Meade, "50 years of fusion research," Nuclear Fusion, vol. 50, no. 1, s. 014004, 2010.
- [2] J. Källne, L. Ballabio, J. Frenje, S. Conroy, G. Ericsson, M. Tardocchi, E. Traneus ve G. Gorini, "Observation of Magnetically Confined Alpha Particle Knock-On Neutron Emission DT Fusion Plasmas," Physical Review Letters, 85, s. 1246–1249, 2000.

- [3] C. Hellesen, M. Albergante, EA Sundén, L. Ballabio, S. Conroy, G. Ericsson, MG Johnson, L. Giacomelli, G. Gorini, A. Hjalmarsson, I. Jenkins, J. Källne, E. . “Neutron spectroscopy measurements and modeling of neutral beam heating fast ion Dynamics” Plasma Physics and Controlled Fusion, 52, no. 8, s. 085013, 2010.
- [4] J. Wesson, Tokamaks. International Series of Physics Monographs, Oxford University Press, 2011.
- [5] D. Tilley, C. Cheves, J. Godwin, G. Hale, H. Hofmann, J. Kelley, C. Sheu ve H. Weller, “Energy levels of light nuclei /A=5, 6, 7 ” Nuclear Physics, A, 1-2, s. 3 – 163, 2002.
- [6] P. Martin ve G. Shaw, Particle Physics. Manchester Physics Series, John Wiley & Sons, 2008.
- [7] M. Keilhacker, A. Gibson, C. Gormezano ve P. Rebut, “The scientific success of JET” Nuclear Fusion, vol. 41, no. 12, s. 1925, 2001.
- [8] M. Keilhacker, A. Gibson, C. Gormezano, P. Lomas, P. Thomas, M. Watkins, P. Andrew, B. Balet, D. Borba, C. Challis, I. Coffey, G. Cottrell , HD Esch, N. Deliyanakis, A. Fasoli, C. Gowers, H. Guo, G. Huysmans, T. Jones, W. Kerner, R. König, M. Loughlin, A. Maas, F. Marcus, M. Nave, F. Rimini, G. Sadler, S. Sharapov, G. Sips, P. Smeulders, F. Söldner, A. Taroni, B. Tubbing, M. von Hellermann ve D. Ward, “High fusion performance from deuterium-tritium plasmas in JET” Nuclear Fusion, vol. 39, no. 2, s. 209, 1999.
- [9] V.B. Anykeyev, V.P. Zhigunov, A.A. Spiridonov, “On the choice of minimization parameters using the 4-momentum conservation law for particle momenta improvement “ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 199, 3, 465-468, 1992.
- [10] B. Appelbe ve J. Chittenden, “Relativistically correct DD and DT neutron spectra,” High Energy Density Physics, vol. 11, pp. 30 – 35, 2014.
- [11] H. Brysk, Fusion neutron energies and spectra, Plasma Physics, Vol. 15, 611–617.1973
- [12] L. Ballabio, J. Frenje, J. Källne, S. W. Conroy, G. Ericsson, M. Tardocchi, E. Traneus and G. Gorini,” Measurement and interpretation of the spectrum of the triton burnup neutron emission from deuterium tokamak plasmas” Nuclear Fusion 40, No. 1, 21, 2000.

- [13] L. Ballabio, Calculation and Measurement of the Neutron Emission Spectrum due to Thermonuclear and Higher-Order reactions in Tokamak Plasmas, Ballabio, Uppsala University Neutron Physics Report , Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala University,58, 2003.
- [14] J. Erikson, “Neutron Emission Spectrometry for Fusion Reactor Diagnosis Method Development and Data Analysis”, Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1244, Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala, 94, 2015
- [15] J.A. Frenje, M. Gatu Johnson, M.J.-E. Manuel, N. Sinenian, AB Zylstra, FH Séguin, CK Li, RD Petrasso, VY Glebov, PB Radha, DD Meyerhofer, TC Sangster, DP McNabb, PA Amendt, RN Boyd, SP Hatchett, S. Quaglioni, JR Rygg, IJ Thompson, AD Bacher, HW Herrmann ve YH Kim, " Measurements of the $T(t,2n)^4\text{He}$ Neutron Spectrum at Low Reactant Energies from Inertial Confinement Implosions," Physical Review Letters, vol. 109, s. 025003, Temmuz 2012.
- [16] M. Gatu Johnson, C. Hellesen, EA Sundén, M. Cecconello, S. Conroy, G. Ericsson, G. Gorini, V. Kiptily, M. Nocente, S. Pinches, E. Ronchi, S. Sharapov , H. Sjöstrand, M. Tardocchi ve M. Weiszflog, “International Atomic Energy Agency Nuclear Fusion Neutron emission from beryllium reactions in JET deuterium plasmas with ^3He minority,” Nuclear Fusion, 50, no. 4, s. 045005, 2010.
- [17] R. H. Dalitz, “Decay of of Known Charge,” Phys. Rev., 94, pp. 1046–1051, 1954.
- [18] K Nakamura and (Particle Data Group) “Review of Particle Physics” Nuclear and Particle Physics, vol. 37, no. 7A, s. 075021, 2010.
- [19] C. Wong, J. Anderson ve J. McClure, “TNeutron spectrum from the T+T reaction” Nuclear Physics, 71,1, s. 106 – 112, 1965.
- [20] K.W. Allen, E. Almqvist, J.T. Dewan, T.P. Pepper ve J.H. Sanders, “The T+T Reactions,” Phys. Rev., 82, s. 262–263, 1951.

- [21] R.T. Remington, DP Rowley, DH Schneider, VA Smalyuk, W. Stoeffl, RE Tipton, SV Weber ve CB Yeamans, "Measurement of the T + T neutron spectrum using the national ignition facility ", Phys Rev Lett., 111, s. 052501, 2013.



MANYETİK AŞINDIRICI TOZLAR YARDIMIYLA METAL YÜZEYLERİN PARLAKLIğINI OPTİMİZE ETMEDE İŞLEM PARAMETRELERİN ETKİSİ

Tuba Demirel^{1,a,*}

¹ Hasan Kalyoncu Üniversitesi, MF, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye.

^a tuba.demirel@hku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5760-3705

ÖZET

Günümüzün en önemli sorunlarından birisi metal yüzeylerinin pürüzlülüklerinin giderilmesidir. Çalışan bir mekanizmada, pürüzlü yüzey kullanılırsa eğer orada sürtünmeden dolayı aşınmalar oluşur buda parçanın daha fazla hasar görmesine neden olacaktır. Bu gibi durumların önüne geçebilmek için imalat sektöründe çeşitli yöntemler ile metal yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü giderilmektedir. Metal yüzeylerde düzgün ve pürüzsüz bir görünüm elde edildiğinde daha parlak yüzeyler oluşarak, yüzeydeki ışığın yansımaları daha fazla olacaktır. Manyetik aşındırıcılarla işleme yöntemi (MAİ) manyetik alan yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir geleneksel olmayan imalat yöntemidir. Yüzey pürüzlülük değerinin azaltılarak istenilen kalitede olması için aşındırmayı yapan aşındırıcı toz malzemelerinin ve işlem parametrelerinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, özellikle çelik gibi metalik malzemelerin malzeme karakterizasyona başlamadan önce ön işlemler, metal yüzeyini parlatma, taşlama ve MAİ ile işleme üzerine yazılmıştır. Metal yüzeylerin pürüzlülüğünün en aza indirgenmesinde, aşındırıcı tozlar ile kullanılan işlem parametrelerinin yüzeyde daha az deforme yapması için gerekli koşullar ve aşındırıcı toz ile yüzey aşındırma teknikleri incelenmiştir. Literatürdeki yüzey işlem uygulamaları da incelenerek, aşındırıcı tozlar ile yüzey işleme konusunda çeşitli öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, Aşındırma yöntemi, Yüzey parlaklığı, Aşındırıcı toz çeşitleri.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Demirel, T., "Manyetik Aşındırıcı Tozlar Yardımıyla Metal Yüzeylerin Parlaklığını Optimize Etmede İşlem Parametrelerinin Etkisi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 95-126, 2023.

Geliş (Received): 09.06.2023

Kabul (Accepted): 17.11.2023

Yayın (Published): 31.12.2023

THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON THE OPTIMIZATION OF THE BRIGHTNESS OF METAL SURFACES WITH MAGNETIC ABRASIVE POWDERS

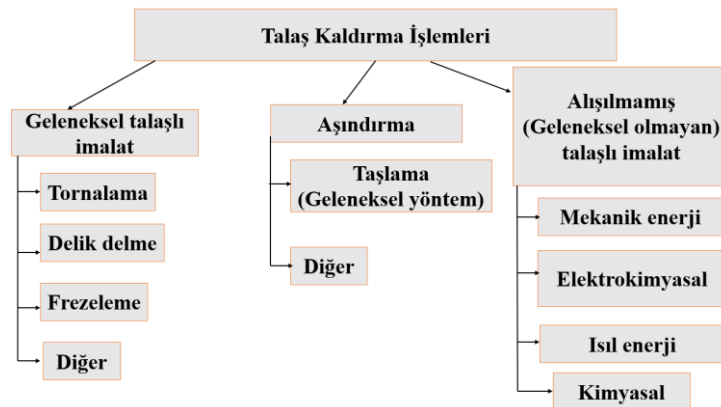
ABSTRACT

One of the most important challenges in today's world is the elimination of roughness on metal surfaces. When a rough surface is used in a working mechanism, friction can lead to wear. As a result, the component can be damaged. In order to prevent such situations, various methods of surface roughness reduction are being used in the manufacturing sector. When metal surfaces are smooth and uniform, they become shinier, resulting in increased light reflection from the surface. Magnetic Abrasive Finishing (MAF), a non-conventional manufacturing technique that uses a magnetic field to remove burrs from the surface, is one such manufacturing process. The selection of appropriate abrasive powder materials and process parameters is essential to achieve the desired quality by reducing surface roughness. The purpose of the study is to characterize, polish, grind, and process metallic materials, especially materials such as steel. In order to minimize the roughness of metal surfaces, the necessary conditions for abrasive powders and their process parameters to cause minimal deformation on the surface have been studied. In addition, the surface treatment applications in the literature were studied and various recommendations were given for the surface treatment using abrasive powder.

Keywords: Surface roughness, Abrasive method, Surface polishing, Types of abrasive dust.

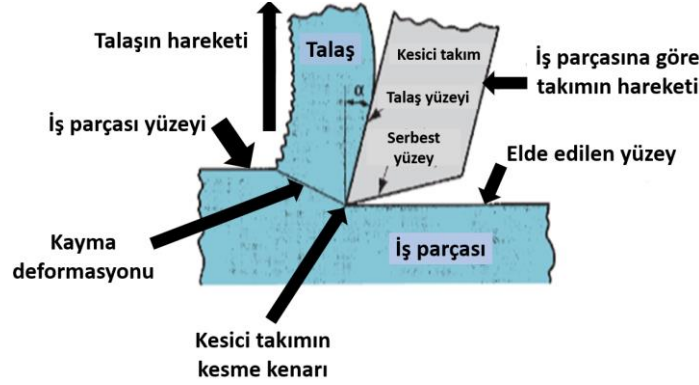
1. GİRİŞ

Talaşlı imalat ile metal iş parçaları şekillendirilmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde üç temel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, kesici takımın kullanılmasına göre değişmektedir (Şekil 1) [1-3].



Şekil 1. Talaş kaldırma işlem çeşitleri [1-3]

Talaş alma işleminde, iş parçasına temas eden kesici takım ile iş parçası arasında plastik-kayma deformasyonları görülmektedir. Malzeme kalkarken ısı oluşmaktadır. Şekil 2’de talaşın oluşum mekanizması verilmiştir [1, 4].

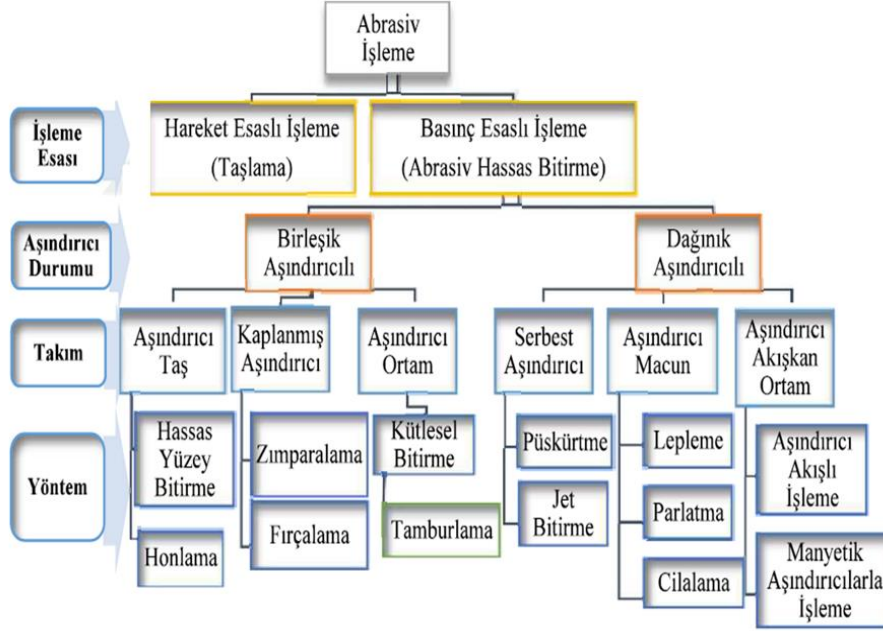


Şekil 2. Talaş oluşumunda kesici takım durumu [1, 4]

Talaş alma işlemi sonrasında yüzeyin kalitesi düştüğü için pürüzlenme meydana gelmektedir. Yüzey kalitesini arttırmak için de yüzey pürüzlülük değerini azaltıp yüzeyin parlak bir görünüme sahip olması sağlanmıştır. [5-9]. Talaşlı imalatta; kesme kuvvetlerinin yüksek olmasına bağlı olarak, işlenmiş yüzeylerde çatlak ve yırtılmalardan dolayı oluşan kalıcı artık gerilmeler oluşmaktadır. Havacılık ve uzay alanında abrasiv işleme yöntemleri geliştirilmiştir. Abrasiv işleme yöntemleri, işleme parçası üzerinde hasarsız yüzeyler oluşturarak yüzey kalitesini iyileştirme avantajına sahiptir [10, 11].

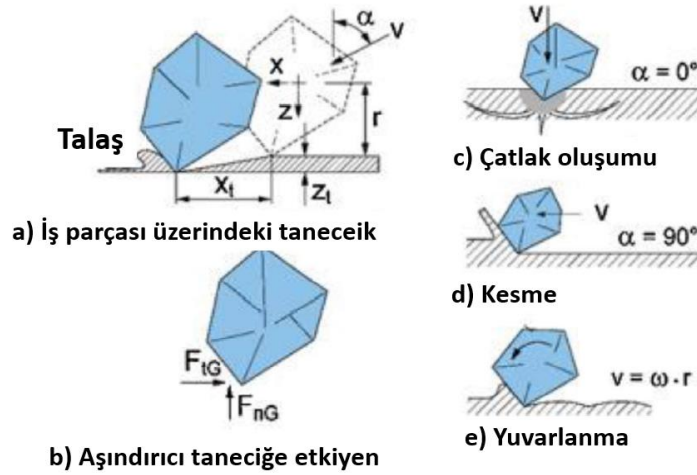
Abrazyon, abrazif veya abrasiv aşınma; “abrasive wear” şeklinde çizilme aşınması terimi ile literatürde geçmektedir. Birbiri ile temas eden iki farklı yüzeyin arasına sert küçük tozların girmesi sonucunda, aşınma meydana gelerek yüzeyde çizik hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Geleneksel imalat yönteminde bulunan taşlama işlemi ile plaka yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük değerleri düşürücü işlemler yapılmaktadır. Küçük boyuttaki katı toz taneler, yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye gömülerek sert yüzey üzerinden malzeme kaldırır. Bu aşınma mekanizması uzun süre gerçekleşirse eğer aşınan yüzey üzerinde tahribat oluşmaktadır [12-14]. Genel olarak ,hareket esaslı ve basınç esaslı abrasiv işleme yöntemleri ikiye ayrılmıştır. Hareket esaslı işleme yönteminde; yüzeyden belirlenen derinlikte talaş kaldırılmaktadır. Basınç esaslı işleme yönteminde ise kesme derinliği önemli değildir. Aşındırıcı tanelerin iş parçasına uyguladığı basınç sonucunda yüzeyden talaş kaldırılmaktadır. Her iki yöntem karşılaştırıldığında ise; hareket esaslı işlemede ölçüsel toleranslar kontrol edilebilmektedir. Basınç esaslı işleme yönteminde ölçüsel toleransların kontrolü mümkün

değildir. Basınç esaslı işleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajı ise yüzey bütünlüğünü ve kalitesini iyileştirmektir (Şekil 3) [11, 15].



Şekil 3. Abrasiv yönteminin sınıflandırılması [11, 15]

Hashimoto ve ark., iş parçası (Şekil 4 (a)) ile tek bir aşındırıcı taneciğin (Şekil 4 (b)) talaş kaldırma mekanizmasını şekilsel olarak tanımlanmıştır. Abrasiv işleme yöntemlerinin tamamı incelendiğinde ise talaş kaldırma mekanizmalarının aynı olduğu belirtilmiştir. Aşındırıcı taneciklerde kinetik enerji oluşturularak iş parçası üzerindeki düzlem yüzeyden talaş kaldırılmıştır [11]. Sünek ve gevrek metallerin aşındırma mekanizma şekillerinin farklılığından dolayı aşındırıcı tanecikler yüzeye değişik çarpma açıları oluşturmaktadır. Düşük çarpma açılarında (taneciğin çarpma açısı $(\alpha) = 0^\circ$) tanecikler yüzeye dik kalacak şekilde aşındırmaktadır (Şekil (4c)). Yüksek çarpma açılarında (taneciğin çarpma açısı $(\alpha) = 90^\circ$ olduğunda) iş parçası yüzeyine aşındırıcı taneciğin teğet yöndeki momentum enerjisi aktarılarak yüzeydeki pürüzleri temizleme işlemi oluşmaktadır (Şekil 4 (d)). Aşındırıcı taneciğin iş parçası yüzeyine çarpma açısı daha da büyüdükçe aşındırıcı taneciğin açısız hızı (ω) oluşmaktadır. Açısız hız sonucunda yüzey üzerinde yuvarlanma hareketi oluşarak yüzeydeki pürüzleri yok etmektedir (Şekil 4 (e)). Sünek malzemelerde daha kolay talaş kaldırılmaktadır ama gevrek malzemelerden talaş kaldırılırken yüzeyin sert ve kırılğan olmasından dolayı çatlamlar meydana gelmiştir [11, 15-18].

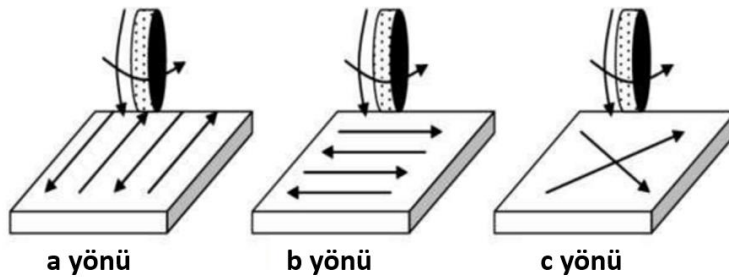


Şekil 4. a) Aşındırıcı tanecik kinematiği, b) Aşındırıcı tanecikteki kuvvetler, c) Taneciğin çarpma açısı (α) = 0° , tanecik ilerleme hızı (v) = 90° , d) Taneciğin çarpma açısı (α) = 90° , tanecik ilerleme hızı (v) = 45° , e) Taneciğin yuvarlanmadaki açısal hızı (ω) [11, 15-18]

2. METAL YÜZEYİ AŞINDIRMA YÖNTEMLERİ

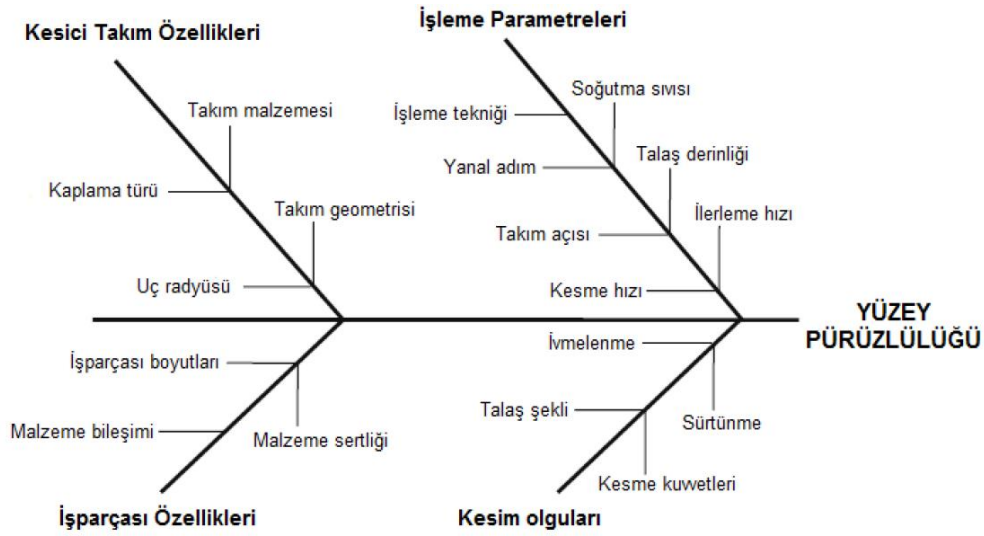
İş parçasının imalatı süresinde; maliyeti az tutarak üretim veriminin daha fazla olabilmesi için kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, aşınma değerleri, kesme parametreleri gibi işlem parametrelerinin belirlenmesi yüzeyin kalitesini arttırmada önemli olmaktadır [19-21].

Adıyaman ve Savaş çalışmasındaki taşlama işleminde; taşın ilerleme yönünde (Şekil 5 (a)), ilerleme yönüne dik yönde (Şekil 5 (b)) ve ilerleme yönüne 45° 'lik açılı yön doğrultusunda yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin üç yönde yapılması gerekmektedir. Metal yüzeye dikey (a yönü), paralel (b yönü) ve çapraz (c yönü) olacak şekilde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmalıdır [22]. Bu nedenle iş parçası üzerinde ilerleme yönleri tespit edilerek yüzey pürüzlülüğü ölçümleri dikkatlice alınmalıdır ve en az yapılan bu üç ölçümlerin aritmetik ortalaması ise yüzey pürüzlülüğünü vermektedir [9, 22].



Şekil 5. R_a değeri alınma yönleri [9, 22]

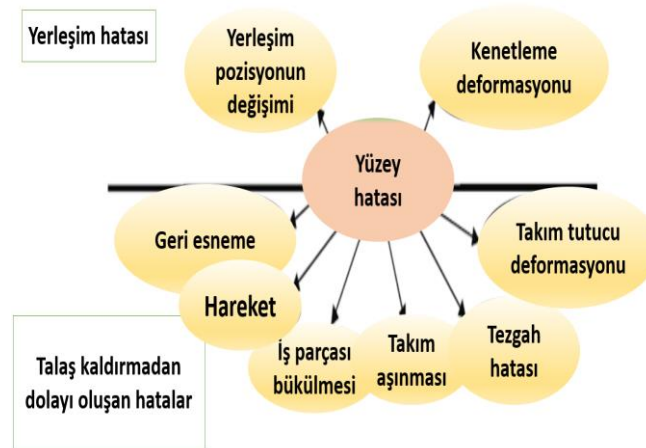
Talaşlı imalatta, metal yüzeyindeki pürüzlülüklerin yok edilmesi için çeşitli parametreler mevcuttur. Bu parametreler; iş parçasının malzemesi, talaş kaldırmada kullanılan kesici takım çeşidi, talaş kesme hızı, kalemin ilerleme hızı, talaş derinliği, oluşan ısı, soğutma sıvısı ve tezgah konstrüksiyonu gibi değişkenlerdir. Yüzey pürüzlülüklerinin hangi yöntemle giderileceği ve yüzeyin parlatılmasının sağlanacağı ise ilk önemli parametredir. İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler ise Şekil 6'da gösterilmiştir [23].



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [23]

2.1. Yüzey İşleme Yönteminin Belirlenmesi

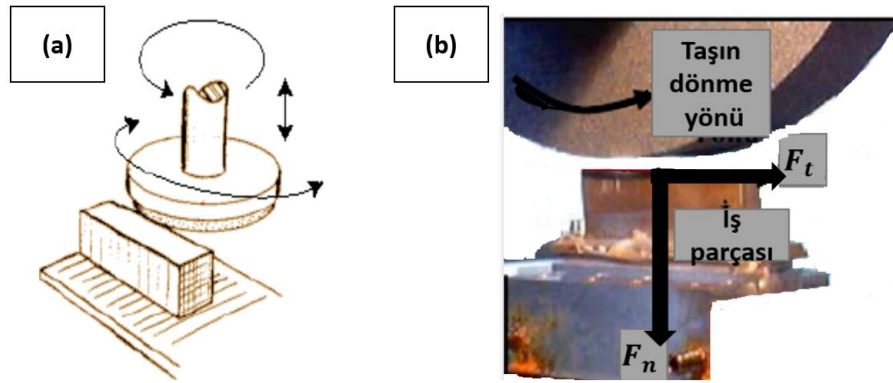
Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi aşınma ile olmaktadır. Aşınmadan dolayı da yüzey hataları en azdan en fazlaya doğru oluşmaktadır. Şekil 7'de yüzey hataları tespit edilmiştir [24-26].



Şekil 7. Yüzey hata çeşitleri [24-26]

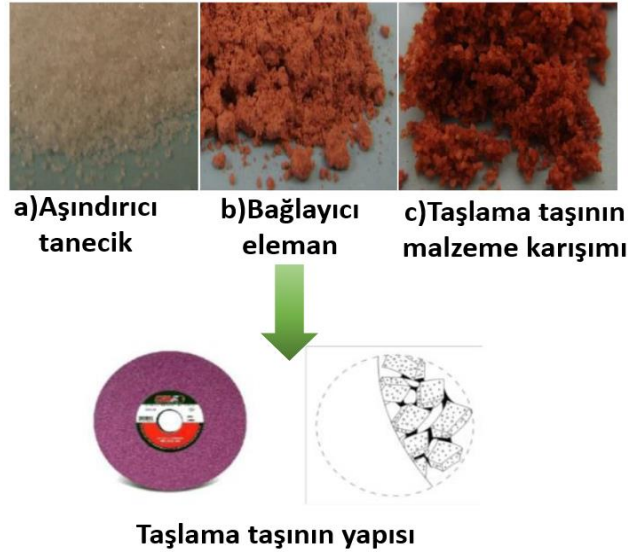
Sanayide en fazla düşey düzlem yüzey taşlama tezgahları kullanılmaktadır (Şekil 8 (a)). Tabla hızının düşmesi sonucunda da taşlama kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir [21, 27, 28].

Demir ve ark., düzlem taşlama işleminde yüzey parlaklığı oluşturmada yatay ve dikey kesme kuvvet bileşenlerinin (F_t) değerleri Normal kuvvetin (F_n) yaklaşık olarak 2~2.2 katı olduğu görülmüştür. Normal (F_n) kuvvet, esas kesme kuvvetinden (F_t) daha büyük olduğundan dolayı 2~2.2 katı değeri bulunmuştur (Şekil 8 (b)) [28].



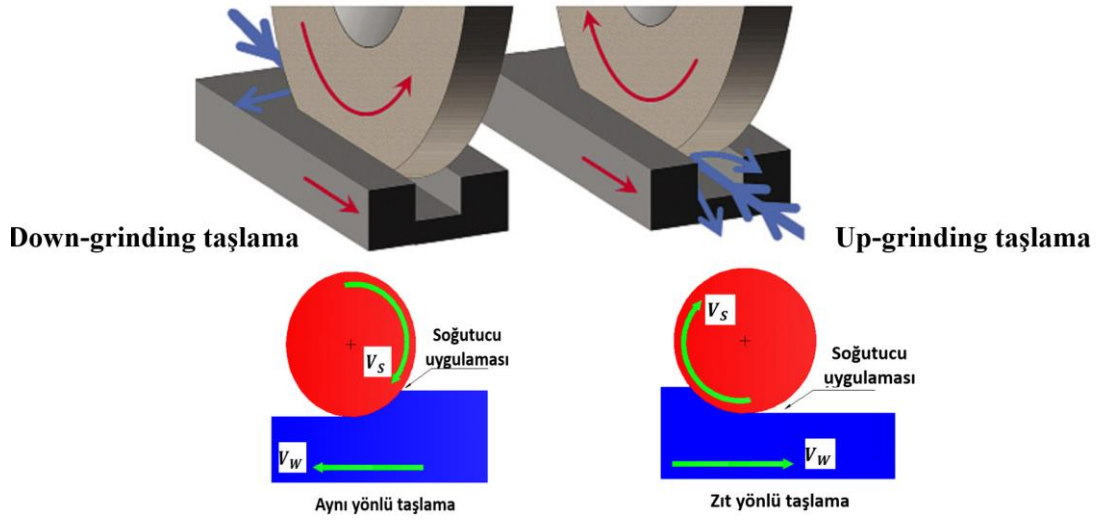
Şekil 8. Düzlem taşlama tezgahı; (a) Düşey düzlem yüzey taşlama, (b) Düzey düzlem taşlamadaki kuvvet bileşenlerinin gösterimi [21, 27, 28]

Taşlama yönteminde; talaş kaldırma işlemi aşındırıcı taşın yüzeyinde bulunan taneler ile iş parçası arasındaki sürtünme sonucunda olmaktadır. Aşındırıcı tanecikler taş yüzeyine iyice bağlanılmazsa zamanla dökülmektedir. Bir zımpara taşının sertliğini bağlayıcı malzeme tayin eder. Bağlama maddesinin yapıştırma kuvveti ise zımpara taşının sertlik ve yumuşaklığını belirtir. Taşlama taşlarında; % 54 aşındırıcı toz taneler (Şekil 9 (a)), % 26 bağlayıcı eleman (Şekil 9 (b)), ve taşlama taşının yapısında malzeme karışımı içinde (Şekil 9 (c)) % 20 boşluk bulunmaktadır. Taşlamada bulunan boşluk, talaş kırma ve aynı zamanda talaşın uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [20, 21, 29-31].



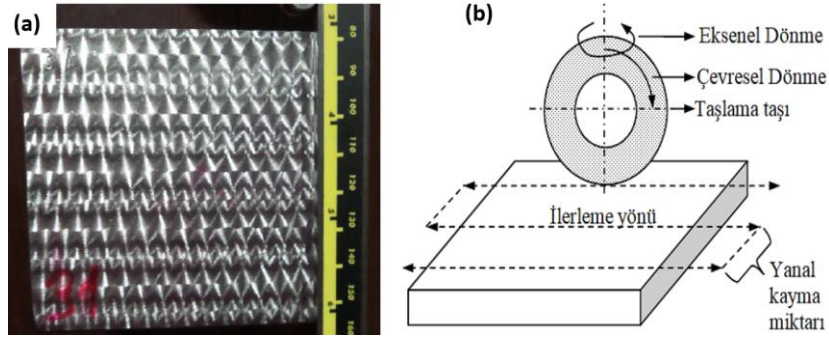
Şekil 9. Taşlama taşı malzemeleri [20, 21, 29-31]

Taşlamanın mekanizması; zımpara taşının teğetsel hızı ve iş parçasının hızı aynı yönlü olursa eğer zıt yönlü (up-grinding) taşlama, taşın teğetsel ve iş parçasının hızı ters yönlü olursa aynı yönlü (down-grinding) taşlama olmaktadır (Şekil 10). Up-grinding taşlama, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, keskin kenarları düzeltmek veya belirli toleranslara ulaşmak gibi belirli iş parçası gereksinimlerini karşılamak için tercih edilebilir. Bu terim aynı zamanda yüzey taşlama veya ters-zıt yönlü taşlama olarak da adlandırılabilir. İş parçasının üzerinde daha ince kesimlerin yapılmasına izin vererek yüzey kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Down-grinding taşlama, iş parçasının taşlama tekerleği ile temas ettiği yüzeyin işleme işlemi sırasında iş parçasının üzerinden aşağı doğru indirilerek gerçekleştirildiği bir taşlama yöntemini ifade eder. Bu yöntemde, iş parçasının yüzeyini düzeltmek veya belirli toleranslara ulaşmak amaçlanır. Taşlama işleminin yüzey kalitesini iyileştirmek ve iş parçasının istenilen boyutlara ve toleranslara gelmesini sağlamak için kullanılmaktadır (Şekil 10) [26, 32, 33].



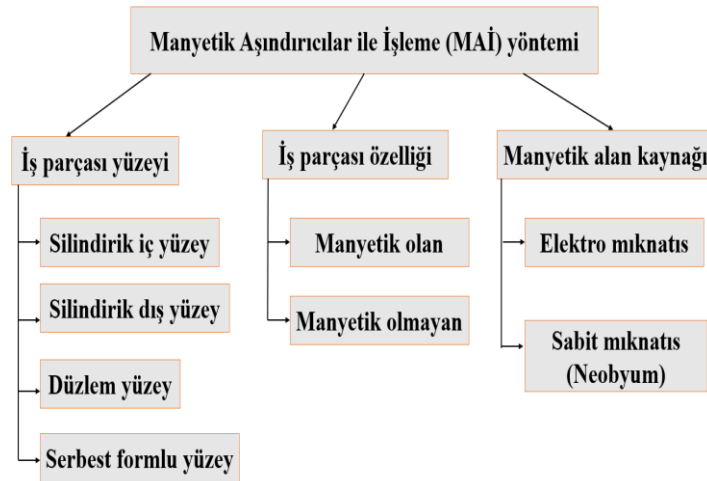
Şekil 10. Taşlama işleminde talaş oluşumu: (a) Zıt yönlü (up-grinding) taşlama, (b) Aynı yönlü (down-grinding) taşlama [26, 32, 33]

Adıyaman ve Sönmez, 75 mm çapında, iç delik çapı 20 mm ve 20 mm taş genişliği olan iki adet, farklı tane büyüklüğündeki taşlama taşını iş parçalarının taşlanması için kullanmışlardır. Taş tane büyüklüğü 46 olan (EKR46K6V) (Şekil 11 (a)) taş ile düşük R_a değerine ($0,494 \mu\text{m}$) ulaşılmıştır. Taş tane büyüklüğü 60 olduğunda (EKR60K6V) (Şekil 11 (b)), yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık % 25-30 oranında ($0,690 \mu\text{m}$) artmıştır. Taşlama taşlarındaki tane büyüklüğü, taş üzerindeki taneciklerin boyutları ile ilgilidir. Büyük tane boyutu ve daha sert sınıf taşlama taşları yumuşak malzemelerde kullanılmaktadır. Küçük tane boyutu ve yumuşak sınıf taşlama taşı sert malzemelerin taşlanmasında tercih edilmektedir [9]. Yanal kayma ve fener mili devri değerlerinin artması R_a değerlerini azaltırken talaş derinliğinin azalması R_a değerlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte talaş derinliği parametresi de % 2 oranında bir değişim oluşturmaktadır. Çelik plakalar öncelikle 100 mm x 80 mm x 10 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarına getirilmiş ardından 4 mm ve 8 mm'lik yanıl kayma miktarları ile taşlanmıştır (Şekil 11 (b)). Taşlanmış iş parçalarının yüzeylerinin, zımpara taşının olduğu fener mili işleme hızına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. İşleme hızındaki devrin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azalarak yansımanın arttığını gözlemlemişlerdir [9, 34].



Şekil 11. Taşlama işlemi: (a) Taşlanmış yüzey, (b) Taşlama işlemi [9, 34]

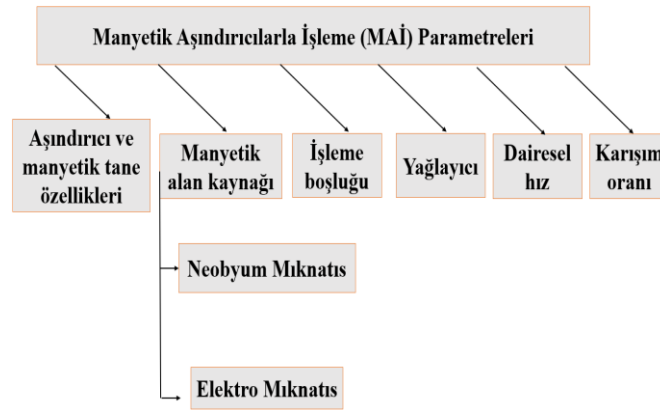
Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme (MAİ) yöntemi, iş parçası yüzeyinden talaş kaldırılmasının manyetik kuvvet ile kontrol edildiği bir teknik olup geleneksel olmayan imalat çeşitleri içerisinde yer almaktadır, Uluslararası literatür incelendiğinde ise “Magnetic Abrasive Finishing (MAF)” veya “Magnetic Abrasive Polishing (MAP)” yöntemi olarak kısaltılmış durumları bulunmaktadır [10, 11, 15, 35, 36]. Bu yöntem, ilk olarak 1938'de Sovyetler birliğinde bulunmuştur. Daha sonra 1980'den beridir MAİ yöntemi konusunda Bulgaristan, Almanya, ABD ve Japonya'da bu konu üzerinde daha kapsamlı araştırmalar endüstriyel düzeyde devam etmektedir [26, 32, 37]. Bu yöntemde aşındırma yüzeyleri olarak metalik veya metalik olmayan iş parçaları seçilmektedir. Manyetik aşındırıcılar ile işleme yönteminde, zehirli kimyasalların kullanılmaması bu yöntemin bir çevre dostu olduğunu da göstermektedir [38]. MAİ yöntemine etki eden parametreler belirtilmiştir (Şekil 12) [36, 38].



Şekil 12. MAİ yönteminin sınıflandırılması [36, 38]

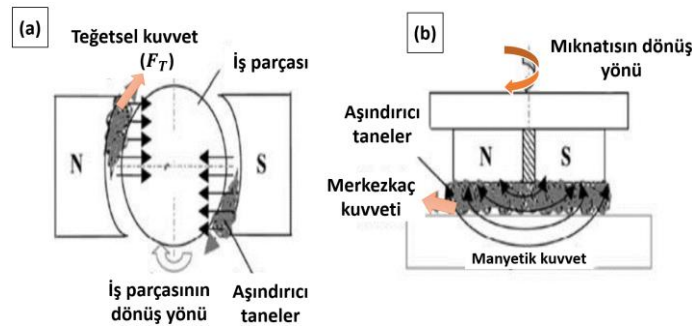
Manyetik aşındırıcılı fırça takımı (MAFT), iş parçasının yüzeyi üzerinden aşındırıcı tozlar farklı noktalardan manyetik alanın etkisi ile değişik açılarda kesme yaparak talaş

kaldırıldığı için yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmektedir. Mikro düzeyde kaldırılan talaş sonucunda ise yüzeyin gerilimi etki edecek kadar oluşmamaktadır. Bu nedenle mikro düzeydeki talaşlar yüzeye zarar vermeden pürüzlülüğü azaltarak yüzey kalitesini arttırmaktadır. Yüzey işleme parametreleri MAİ yönteminde standarttır. Şekil 13' te MAİ yöntemini etkileyen parametreler verilmiştir. Genellikle yüzey kalitesi ve iyileşme oranındaki etkiler önemlidir [36, 39, 40].



Şekil 13. MAİ etkileyen parametreler [36, 39, 40]

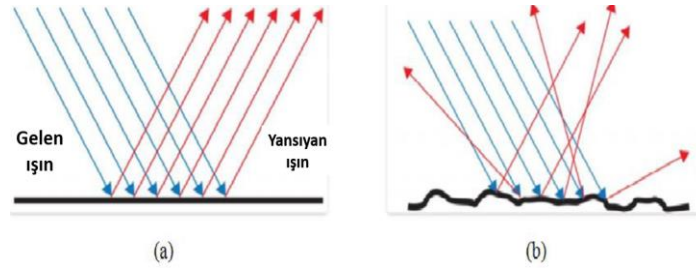
Aşındırıcı tane manyetik kuvveti işleme kuvveti olarak görev yapmaktadır. Manyetik alan oluşturan kutup uçları (N, S) arasında yüksek hızda dönen silindirik iş parçası yerleştirildiğinde manyetik aşındırıcı toz karışımı iş parçası yüzeyinden aşındırma işlemi yapmaktadır (Şekil 14 (a)). Düzlem yüzeyin MAİ yönteminde teğetsel kuvvetin yerine merkezkaç kuvvet yer almaktadır (Şekil 14 (b)) [10, 37, 41, 42].



Şekil 14. Yüzeyde MAİ yöntemi; (a) Silindirikte teğetsel kuvvet, (b) Düzlemde merkezkaç kuvvet [10, 37, 41, 42]

Şekil 15'te yüzey şekline göre yansımaların dağılımları gösterilmiştir. Yüzeyi yansıtarak parlak görünen yüzeyin pürüzlülüğü azdır (Şekil 15 (a)). Çoğu yüzey mikroskopik

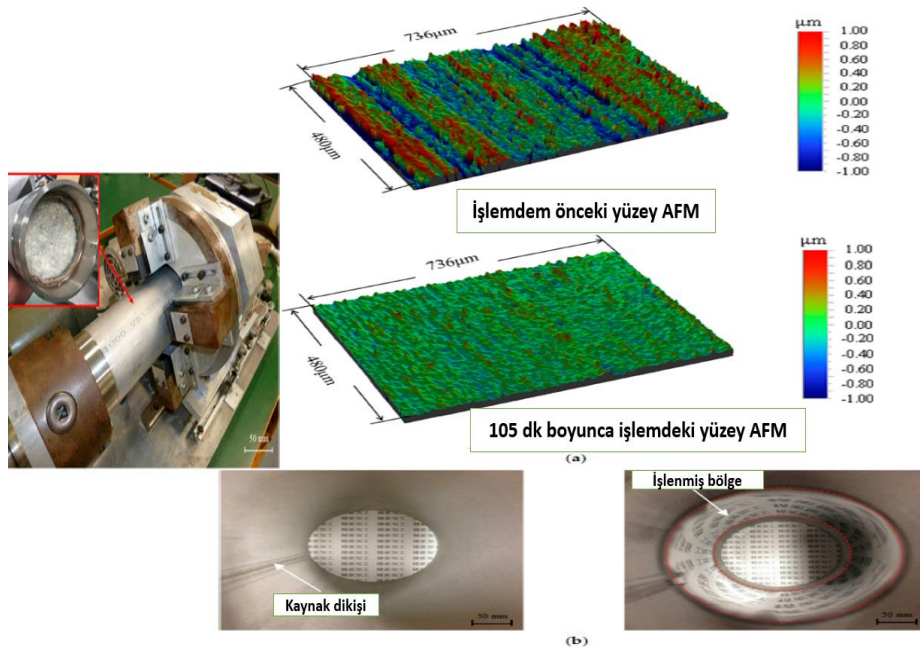
bir seviyede görüntülediğinde pürüzlüdür (Şekil 15 (b)). Yüzey pürüzlülüğü makine sektöründe önemlidir çünkü iş parçalarının sürtünme değerlerini artırarak parçanın ömrünü azaltan bir unsurdur [42, 43].



Şekil 15. Yüzeye göre yansımaya; (a) Düzde yansımaya, (b) Pürüzlüde dağınık yansımaya [42, 43]

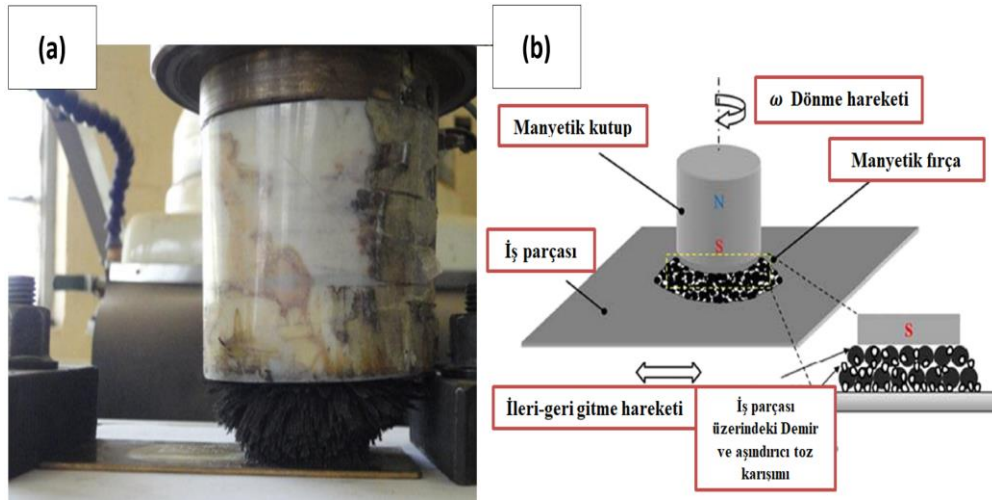
2.2. Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme (MAİ) Kullanım Alanları

Yang ve ark., kalın duvarlı bir SUS 304 çelik uçları kaynak yapılmış Ø89 x Ø79,1 x Ø200 mm tüpün iç yüzeyini işlemek için MAİ yöntemi kullanılmıştır. 120 dk boyunca 1280 mm/dk devrinde yüzeyin parlatılması gerçekleştirmişlerdir. İşlemden önce ve sonra yüzey parlaklık görüntüleri ve bu görüntülerin yüzey pürüzlülüklerini daha net anlamak için atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri verilmiştir. Burada yüzey üzerindeki pürüzlülükler giderilerek yüzeyin daha parlak olması sağlanmıştır (Şekil 16) [44]. Literatürde demir esaslı tozlar (demir oksit (Fe_2O_3)) manyetik toz olarak kullanılmaktadır [45-48].



Şekil 16. MAİ yöntemi; (a) AFM (b) Boru içi yüzey işleme [44]

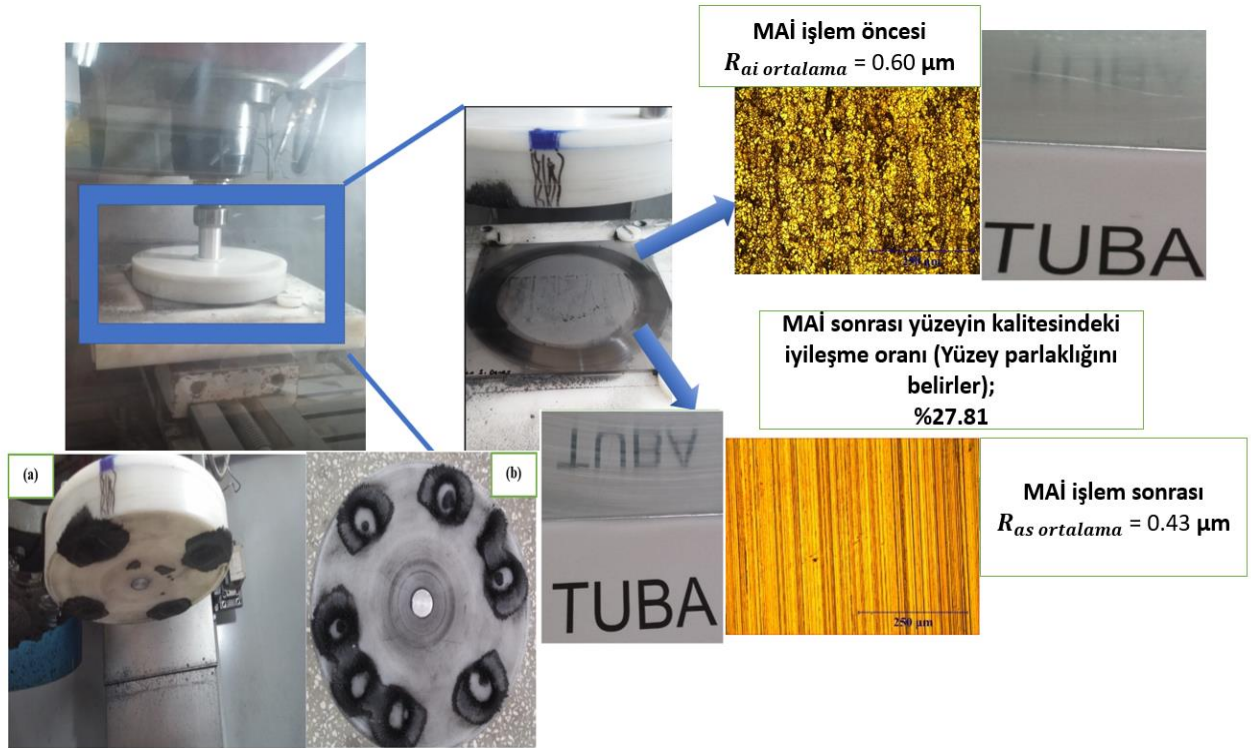
Alkarkhi ve Naif, bir mıknatısın iki kutbu arasında iş parçası konulduğunda manyetik bir alana maruz kalmaktadır. MAİ yönteminde kullanılan takım, esnek bir özelliğe sahip olmaktadır. Mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşabilmesi için aşındırıcı tozlarla birlikte Fe (demir) tozları da kullanılmalıdır. Böylelikle manyetik alanın şiddeti ile esnek bir manyetik aşındırıcı fırça takımı (MAFT) oluşmaktadır. MAFT, farklı noktalardan kesme etkisi olduğundan dolayı çok noktadan kesme yapan bir kesici gibi davranmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesinde ağırlıkça % 40 demir tozu ve % 60 kuvars malzeme karışımı kullanılmıştır. İşlemin dönme hızı 525 dev/dk, işleme boşluğu 2 mm ile manyetik alan oluşturulup mıknatıs ile tozlar çekilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü giderici işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında, iş parçası yüzeyinin daha parlak ve yüzey pürüzlülüğünün 1.046'den 0.131 μm 'ye kadar azaltmıştır (Şekil 17 (a)) [45]. MAİ yönteminde aşındırıcı tozlarda genellikle elmas, silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kübik bor nitrür (BN), bor karbür (B_4C) tercih edilmektedir (Şekil 17 (b)) [48].



Şekil 17. MAİ ile talaş kaldırılması; (a) Deneysel işlemi [45], (b) Teorik gösterimi [48]

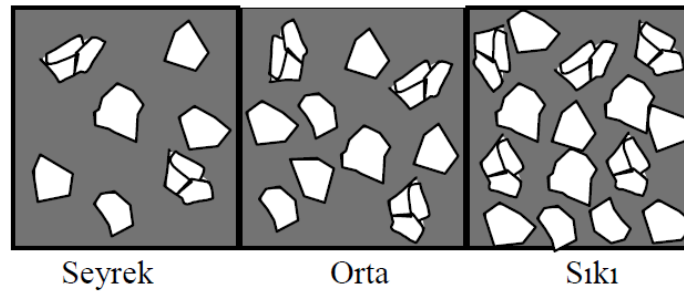
Demirel ve Çaydaş, MAİ yöntemi ile düzlem yüzeylerin işlenmesinde 0,50 Tesla kuvvetinde ve $\text{Ø}50 \times 10$ mm boyutunda mıknatısları tercih etmişlerdir. Mıknatıs tutucu aparatı iş parçası üzerinde 2 mm boşluk sabit yer ve 500 dev/dk dönme hızında kalarak 60 dk boyunca AISI 304 L plaka yüzeylerine MAİ yöntemi uygulanmıştır. Mıknatıs tutucu aparat ile olduğu yerde dönerek yüzeyin daha parlak olma işlemi gerçekleştirilmiştir. Esnek fırça şeklinde yapının oluştuğu gözlenmiştir. Işık sapmasının yansıma açısının miktarı, önemli ölçüde numunelerin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça, yansımalar giderek daha fazla dağınık ve yüzey mat görünmektedir. % Reflektans (yansıma); deney numunesinden

yansıtılan ışığın bir referans malzemedен yansıyan ışığa oranı şeklinde ölçülmektedir. UV-3600 Spektrofotometre cihaz ışının geliş açısı 8 derece olacak şekilde, 200 nm dalga boyunda reflektans (yansıtma) ölçüm sonucuna bakıldığında ise aşındırma tozlar ile işleme öncesinde % 3 yansıtma değeri olurken MAİ işlem sonrasında ise % 15,22 oranında yansıtma değeri olmuştur. Parlaklıktan ziyade yansıtma değerleri değerlendirilmede esas alınmıştır. MAİ sonrası yüzey pürüzlülük (R_a) değerinin azaldıkça yansıtma değerinin arttığını belirlemişlerdir (Şekil 18) [38, 49].



Şekil 18. Numunelerin yansıtma görüntüleri [38, 49]

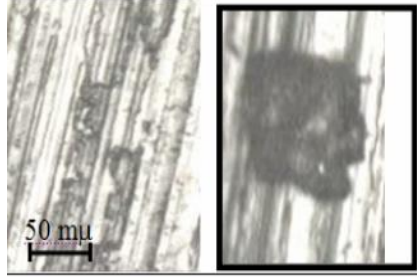
Aşındırıcı tane; seyrek, orta ve sıkı olarak literatürde geçmektedir (Şekil 19) [50-52].



Şekil 19. Aşındırıcı tanelerin durumu [50-52]

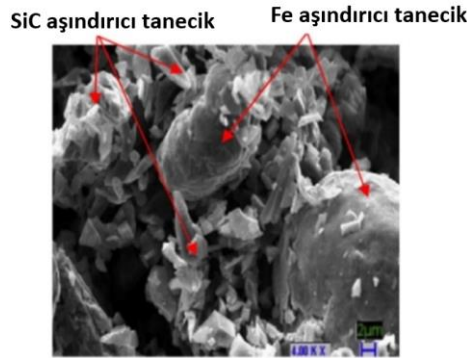
Demir ve Güllü çalışmasında, taşlama işlemi sonucunda ise iş parçası üzerine saplanan

taş tanelerinin $50\ \mu\text{m}$ yüzeyin SEM görüntüsüne yer vermişlerdir. Burada aşındırıcı taneler, iş parçasına $2\ \text{mm}$ 'den daha yakın bulunursa Şekil 20'de görüldüğü gibi metal yüzeyine batık görüntüler ortaya çıkmaktadır. Aşındırıcı tozun üzerine gelen kuvvet sonucunda toz tanesi ile iş parçası yüzeyi bütünleşik halde görünmektedir [53].



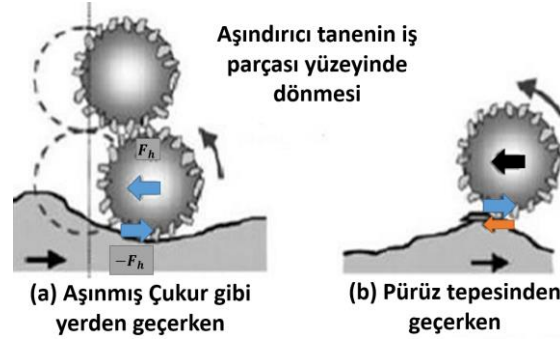
Şekil 20. Yüzeydeki aşındırıcı toz tanesi (Kesme derinliği: $0,02\ \text{mm}$ - $50\ \mu\text{m}$) [53]

Mulik ve Pandey çalışmasında, SiC (silisyum karbür) ve Fe (demir) tozu mekaniksel olarak karışımı Şekil 21'de $2\ \mu\text{m}$ boyutundaki taramalı elektron mikroskopta (SEM) bir arada olduğu fotoğrafı yayınlamışlardır. MAİ yöntemi kullanıldığında, manyetik alan oluşturması için Fe toz taneleri gereklidir. Aşındırıcı toz olarak da SiC kullanılmıştır. Manyetik alanda SiC tozları tutulmaktadır [54].



Şekil 21. Ferro-aşındırıcı kompozit toz içerikleri SEM (X4.00 K) [54]

Mori, Hikota ve Kawashima çalışmasında, demir ve aşındırıcı toz ile oluşturulan karışım bağıl olarak hareket ettiklerinde aşındırıcı tozlar birbirini iterek dengeleme noktasından uzaklaşınca geri dönüş kuvveti (F_h) üreterek pürüzlülüğü azaltmışlardır. Aşındırıcı tane, pürüzlü olmayan alanda talaş kaldıramayarak $-F_h$ kuvvetini oluşturmaktadır (Şekil 22 (a)). Aşındırıcı taneler, pürüzlü tepelerden geçerken sürtünmeler meydana gelir bu durumda tepeleri aşındırarak pürüzlülüğü azaltırlar (Şekil 22 (b)) [46].



Şekil 22. MAİ yöntemi mekanizması [46]

Chang ve ark., SKD11 silindirik soğuk iş çeliğinde elektro-mıknatis yardımıyla aşındırıcı toz tanelerini kullanarak yüzeyin pürüzlülüğünü gidermiştir. Aşındırıcı tanecik olarak SiC kullanılmıştır. R_a değerleri de $0,25 \mu\text{m}$ 'den $0,042 \mu\text{m}$ 'ye düşmüştür [55]. Aşındırıcı toz taneler yardımıyla yüzeyin pürüzlülüğü giderilerek önemli değişkenin işleme boşluğu olduğunu tespit etmiştir. Diğer önemli parametreler ise aşındırıcıların tane boyutu ve devir sayısı olmuştur [56].

MAİ yöntemi ile işlemede aşındırıcı (Al_2O_3 , SiC, CBN) toz karışımı kullanılmıştır, Karışımdaki tozların birbirini tutabilmesini sağlamak için yağlayıcı sıvı kullanılmıştır, Aşındırıcı tozların boyutları ve karışımdaki oranları önemlidir [10, 57].

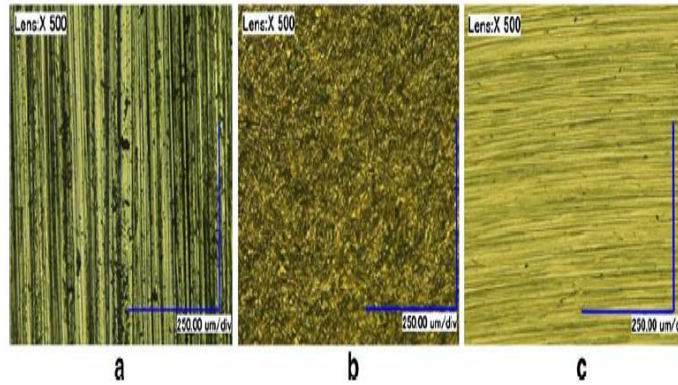
Baron ve Park, alüminyum oksit manyetik tozlarına % 50 oranında hidro-karbon ilave ederek aşındırıcı şeklinde kullanmışlardır ve MAİ işlemi sonucunda daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir [58].

Lin ve ark., SUS 304 paslanmaz çelik malzemesine kaba işleme gerçekleştirmişler daha sonrasında önceki işleme ek olarak ince işleme gerçekleştirmişlerdir. MAİ yönteminden önce SUS 304 çeliğinin R_{max} değeri $2,670 \mu\text{m}$ iken MAİ yöntemi ile birinci aşama işlem sonrası $0,158 \mu\text{m}$ değerine düşerken ikinci aşama işlem sonrasında $0,102 \mu\text{m}$ 'a düşmüştür. Yüzey kalitesini MAİ yöntemi kullanılarak yapılan abrasiv aşınmanın arttırdığı gözlenmiştir [59].

Kang ve ark., $\emptyset 1,27 \times \emptyset 1,06 \times 100$ mm boyutlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği 20 dk boyunca işlemişlerdir. İki kutuplu sistemde, 30000 dev/dk merkezkaç kuvvetinde derin çizikler oluşmuştur. 304 çeliği ise kolay işlenebilme özelliğine sahiptir [60].

Wu ve ark., C5210P pirince MAİ yönteminde, yüzey hassasiyetini artırmak amacıyla elektromıknatisler kullanılarak yüzey pürüzlülüğü $0,55$ 'ten $0,18 \mu\text{m}$ 'a düşmüştür [61].

Liu ve ark., SUS 304 çeliği daha yumuşak çelik olduğu için yüzey üzerinden talaş kaldırmak daha kolay olmuştur. SUS 304 plakası MAİ yönteminin sinterleme ve mekanik karışım yöntemi kullanılarak düzlem yüzey üzerinde aşınma şekilleri SUS 304 düzlem yüzeyinin $\times 500$ büyütme görüntüsü verilmiştir (Şekil 23 (a-c)). Orijinal iş parçasının yüzey dokusunun daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Buradaki karartı kısımlar bize pürüzlü yüzeyleri vermektedir (Şekli 23 (a)). İş parçası yüzeyinde karartı (siyah lekeler) yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni, mekanik yolla karıştırılan aşındırıcı tozlar manyetik alan içerisinde dönme hızının da etkisi ile birbirine tam olarak tutunamayarak yüzey üzerinde batma oluşturmuştur (Şekli 23 (b)). MAİ için gerekli Fe toz boyutu $175 \mu\text{m}$ ile aşındırıcı olarak kullanılan Al_2O_3 toz boyutu $50 \mu\text{m}$ seçilerek (4:1, Fe/ Al_2O_3) Polivinil alkol yapıştırıcı desteği ile 3 sa ve 1200°C sıcaklığında sinterlenmiştir. Sinterlenen tozlar 800 dev/dk, 2 mm kalınlıktaki iş parçası ve 60 dk işleme süresinde $\varnothing 20 \times 40$ mm Nd-B-Fe mıknatısları yardımıyla MAİ yöntemi plakalara hem sinterlenmiş tozlar hem de sinterlenmemiş sadece mekanik yollar ile karıştırılmış tozlar uygulanmıştır. Deney sonucunda sinterlenmiş tozların yüzey pürüzlülük değerlerini düşürdüğü gözlenerek taneler arasında boşluk kalmadığı için daha iyi hareket ettikleri görülmüştür (Şekil 23 (c)). Yüzey üzerindeki siyah lekelerin giderilmesi ile Yüzey pürüzlülüğü (R_a) azalmıştır. Şekil 23 (c)' te görüldüğü gibi iş parçası yüzeyinin daha parlak yüzey elde edilmesi MAİ yöntemi ile sağlanmıştır [62].



Şekil 23. $\times 500$ büyütmede SUS 304 çeliğin yüzey dokusu; a. Orijinal iş parçası yüzey dokusu, b. El ile karıştırılan toz kullanılarak MAİ yöntemi ile 70 dk'da işlenmiş yüzey dokusu, c. Sinterleme toz kullanılarak MAİ yöntemi ile 70 dk işlenmiş yüzey dokusu [62]

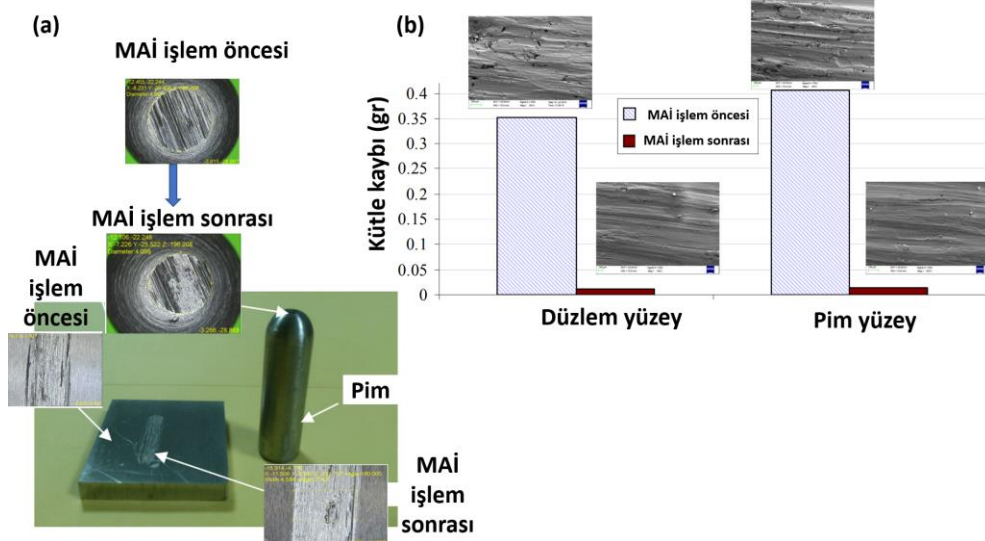
Li ve ark., $\varnothing 30 \times \varnothing 26 \times 50$ mm boyutlarındaki Al 6061 boruların iç yüzeyleri MAİ yöntemiyle işleme sonucunda % 96,67 iyileşme oranı tespit edilmiştir. Elmas aşındırıcı tane boyutu ve elektromıknatıslardaki akım miktarının düşük olduğunda pürüzsüz yüzey tespit

edilmiştir [63].

Kanish ve ark., SS 316L östenitik paslanmaz çelik malzemesinden üretilmiş düzlem ve yuvarlak iş parçalarına geleneksel yöntem olmayan MAİ yöntemi ile yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır (Tablo 1). MAİ işlem ve sonrasında tamamlanmış yüzeylerdeki aşınma davranışını yorumlamak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak mikro yapılar gözlemlenmiştir. Düzlem ve yuvarlatılmış yüzeye olan yüzeyi parlak gösterme etkileri daha detaylı incelendiğinde her iki yüzeyde de aşınmanın etkili olduğu yalnız pim yüzeyinde etki sonucunun daha fazla olduğu gözlenmiştir. İş parçası yüzeyi üzerindeki aşınma sonucunda yüzeyin parlaklığına bakıldığında MAİ yöntemi ile eski haline göre yaklaşık 3 kat üstün olduğu görülmüştür (Şekil 24 (a-b)). Burada, perno denilen yuvarlak iş parçasında aşınma oranı miktarının düz yüzeye göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yuvarlak malzemelerin daha kolay işlenebileceğini bu tabloya göre söyleyebiliriz [64].

Tablo 1. Aşınma testi analizinden önce ve sonra kütle ölçümü [64]

Deney eleman	Deney elemanı tipi	İş parçasının başlangıç kütlesi (gr)	İş parçasının son kütlesi (gr)	Aşınan toz miktarı (gr)	Kütle kaybı (%)	Aşınma oranı (mm ² /N-m)
1.	Düz yüzey (30x30x6)	28.286	28.275	0.012	0.04	2.73x10 ⁻¹¹
2.	Perno (Ø10x25)	17.592	17.578	0.014	0.08	3.26x10 ⁻¹¹

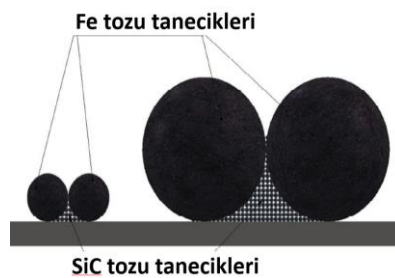


Şekil 24. Aşınma test numuneleri (Pim ve düzlem yüzey) [64]

Kajal ve ark., tabanca namlusunun iç yüzeyi 600-900 nm ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine sahipken MAİ yöntemi kullanılarak 150 nm değerine kadar yüzey pürüzlülük değeri düşürülmüştür [65].

Çelik ve ark., MAİ yönteminde kullanılan toz boyutları ve tozlara etki eden manyetik alan akısı iş parçası yüzeyinden talaşa kaldırmada etkileyen önemli parametrelerdir. Talaş kaldırma işleminde mikron veya nano boyuttaki taneler yüzeye batma işlemi yapmaktadır. Manyetik alan miktarı artmasıyla aşındırıcı tozların iş parçası yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar saplanabildiği görülmüştür. Manyetik alan miktarının artması sonucunda yüzey üzerinde de derin çizikler oluşmaktadır. Diğer önemli husus ise aşındırıcı tane boyutunun artması ile iş parçası-aşındırıcı toz temas açısı artmaktadır. İş parçası yüzeyinde daha derin çizikler oluşturmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranı (% YPIÖ) azalması, aşındırıcı tane boyutunun artmasına bağlı olduğu görülmüştür [66].

Bazı çalışmalarda mıknatıslanma ortamı sağlayan çelik tozları kullanılmasına rağmen genellikle demir tozlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Taneciklerin büyüklükleri manyetik kuvveti doğrudan etkilediğinden dolayı toz seçimi önemli bir parametre olmaktadır. Demir tozu ile kullanılan aşındırıcı tozlarda vardır. Literatürde genellikle silisyum karbür ve alüminyum oksit tozlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Aşındırıcı tanecikler, manyetik demir tozu tanecikleri arasında sıkışacakları için biraz daha küçük boyutlu seçilmelidirler. Şekil 25'te demir (Fe) ve silisyum karbür (SiC) toz karışımı gösterilmiştir [15, 67].

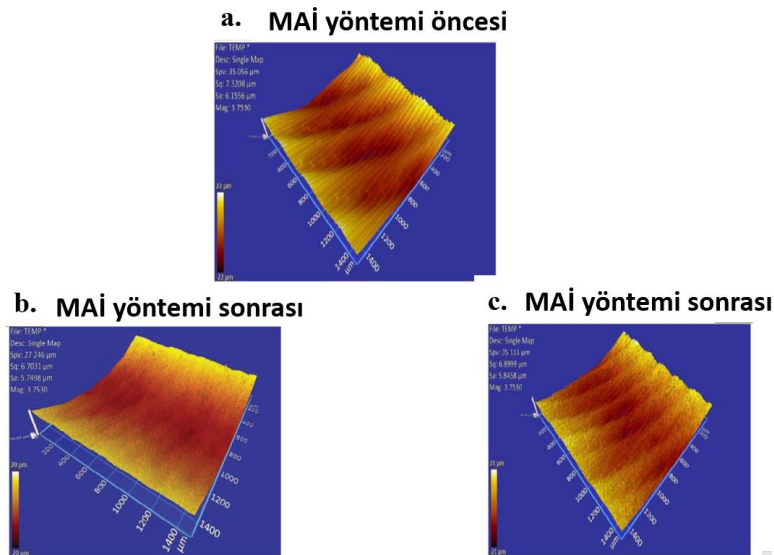


Şekil 25. Toz tanelerinin etkileşimi [15, 67]

Singh ve ark., 1100°C sıcaklığında 50 dk boyunca sinterlenmiş abraziv aşındırıcı tozu (% 20 Al₂O₃ + % 80 Fe) MAİ yöntemi kullanılarak pirinç tüplerin yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi amaçlanmıştır. Dönme hızı 600 dev/dk, 50 dk işleme süresi ve 2 mm iş parçası ile tutucu arasındaki boşluk parametrelerinde tüp içinde sinterlenmiş aşındırıcı tozlar ile MAİ yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğünü azaltma işlemi uygulanmıştır [38]. Pirinç

malzemesinin yüzey pürüzlülük değeri standart olarak 2,5-3,5 μm arasındadır [68]. MAİ yöntemi sonucunda pirinç malzemesinin yüzey pürüzlülük değeri 0,15 μm olarak elde edilmiştir. Aşındırıcı tane boyutlarının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde düşme gözlenmiştir. Manyetik kutup ve pirinç tüp yüzeyi arasındaki boşluğun artması sonucunda yüzey pürüzlülük değerinde azalmaya neden olmuştur. Devir sayısı arttıkça abrasiv aşındırma taneleri yüzey ile teması daha da arttığı için yüzey pürüzlülüğünde azalmalar gözlenmiştir [38].

Çaydaş, U., Çelik, M., çalışmalarında; AISI 304L östenitik paslanmaz boruların iç yüzeylerini aşındırmada Fe ve SiC tozları kullanılmıştır. İşleme zamanı 45 dk, dönüş devri 1200 dev/dk seçilmiştir. Tane boyutları değişkenlik göstermiştir. MAİ öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük (AFM) görüntüleri Şekil 26'da verilmiştir. MAİ öncesi işlenmemiş yüzeyin yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 2,22 μm 'dir (Şekil 26 (a)). Fe (200 μm) + SiC (58 μm) toz karışımı kullanılarak MAİ sonrası işlenmiş yüzeyin R_a değeri 0,72 μm olmuştur. Yüzeyin kalitesinde % 52,75 iyileşme olmuştur (Şekil 26 (b)). Fe (710 μm) + SiC (106 μm) toz karışımı kullanıldığında ise MAİ sonrası işlenmiş yüzeyin R_a 'sı 1,73 μm ve yüzeyde % 21,96 bir iyileşme olmuştur (Şekil 26 (c)). Şekil (26 (b ve c))'de Fe ve SiC aşındırıcı tozların tanecik boyutu büyüdüğünde R_a değerinde artış olurken yüzey kalitesi değerinde ise azalma meydana gelmiştir [15, 40]. MAİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü her iki durumda da iyileştirdiği sonucuna varılmıştır [15, 40, 67].

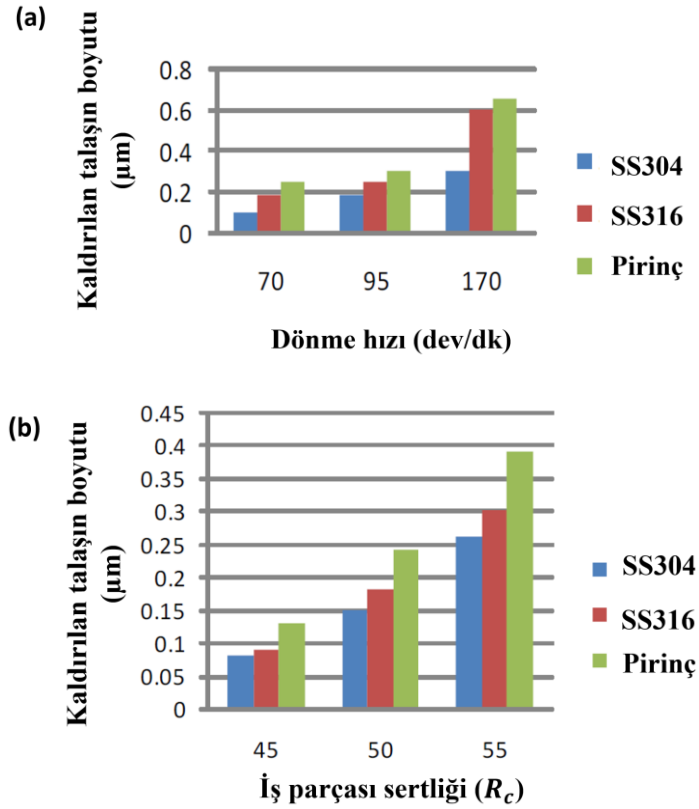


Şekil 26. AFM; (a) MAİ öncesi yüzey topoğrafyası ($R_a = 2,22 \mu\text{m}$), (b) Fe (200 μm) + SiC (58 μm) toz karışımında MAİ sonrası $R_a = 0,72 \mu\text{m}$, (c) Fe (710 μm) + SiC (106 μm) toz karışımında MAİ sonrası $R_a = 1,73 \mu\text{m}$ [15, 40, 67]

Kheelan ve Patel MAİ yönteminde, iş parçasındaki mikro-çatlak yüzey hasarını en aza indirerek neredeyse nanometre aralığına düşürmüştür. Aşındırıcı tozlarındaki küçük boyutlarının yüzey kalitesi daha iyi olmuştur. Taşlamadaki yüzey kalitesinin daha iyi olması için yumuşak yüzeylerde, toz boyutu büyük ve sert sınıf grubundaki en yüksek değerli aşındırıcı tozlar kullanılmalıdır. Sert yüzeylerde ise tane boyutları küçük olmalı ve sert sınıf grubundaki en düşük değerli aşındırıcı tozlar kullanılmalıdır [69].

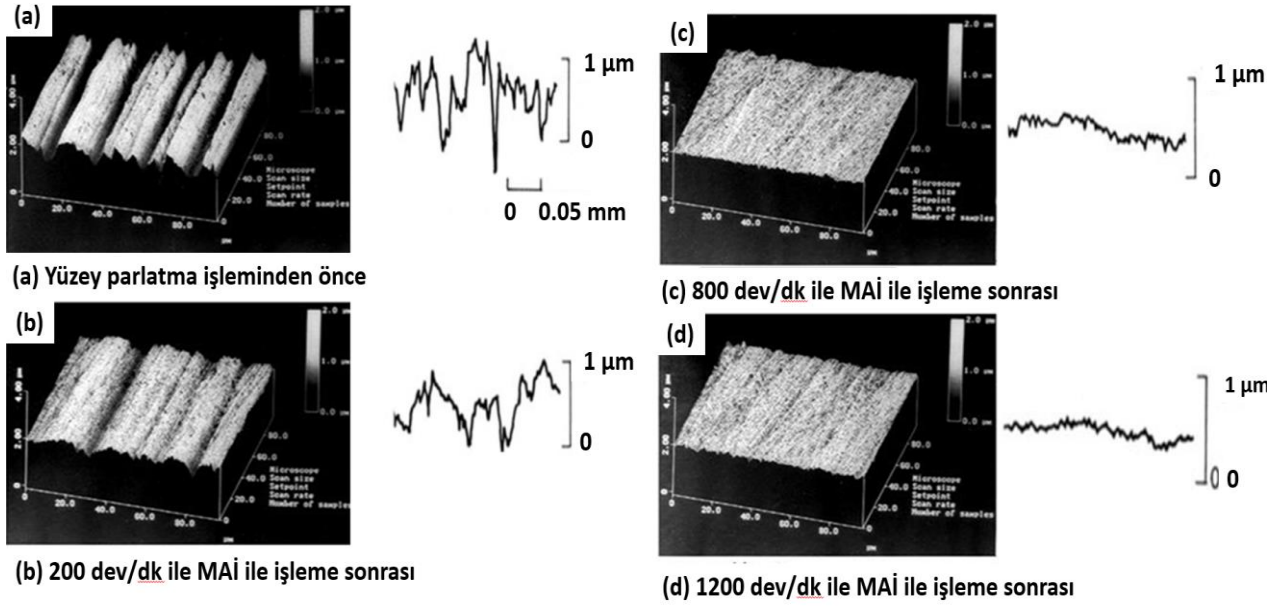
Yüzeyin parlaklığını arttırmak için aşındırıcı tozların aşınma direncinin iyi olması istenmektedir. Taşlama işlemlerinde genellikle çelik ve dökme demirlerde aşındırıcı olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmaktadır. Demir dışı metallere aşındırıcı olarak silisyum karbür (SiC) tercih edilmektedir. Bu aşındırıcı tanesi kırılmaya karşı dirençlidir. Geleneksel aşındırıcı malzemeler SiC, Al_2O_3 'ten daha sert ama onun kadar tok değildir [69, 70].

Sharma ve Pal Singh Al_2O_3 'in, yüksek ısı dayanımı, yüksek modül özellikleri nedeni ile malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık $2050^{\circ}C$ 'ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptirler. SiC daha düşük modül ve dayanıma sahiptir. $1400^{\circ}C$ sıcaklığa kadar mekanik özelliklerini muhafaza edebilmektedirler. Toz halinde SiC; ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme talaşlı işlemlerinin uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu iki aşındırıcı tozun da manyetiklik alan etkisi yoktur. Silindirik SS 305, SS 316 ve pirinç iş parçası borularının ($\varnothing 18 \times 60$ mm) iç kısımlarını MAİ yöntemi ile işlemek için alümina (Al_2O_3) esaslı sinterlenmiş ferro-manyetik aşındırıcılar kullanılmıştır. $74 \mu m$ tane boyutunda alümina tozundan % 10 ve $51,4 \mu m$ tane boyutunda demir tozundan % 90 oranında katılarak $1100^{\circ}C$ 'de sinterlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. İş parçası haricinde, iş parçası sertliği (45; 50; 55 Rc) ve işleme hızı (70; 95; 170 dev/dk) farklı parametreler seçilerek yüzey pürüzlülüğüne ve kaldırılan talaşın boyutunun etkilerine bakılmıştır. İş parçası olarak belirlenen SS304, SS316 ve pirinç malzemeleri arasındaki deney sonuçları değişkenlik gösterirken en iyi işlenebilen malzeme pirinçtir (Şekil 27 (a ve b)) [71].



Şekil 27. İş parçasına uygulanan MAİ yöntemi; (a) Malzeme çeşidine göre talaş boyları- dönme hızı (dev/dk), (b) Malzeme çeşidine göre talaş boyları-işparçası sertliği (R_c) [71]

Yamaguchi ve Shinmura, Ø80 x 1 mm ölçülerinde SUS 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak MAİ yöntemi ile işlem uygulanmıştır. Manyetik alanı oluşturan akım değeri 2 Amper olduğunda manyetik akım yoğunluğu 1,04 Tesla ve 510 µm ortalama boyutlarında 3 mm işleme boşluğu sabit değerler olacak şekilde deneysel parametreler belirlenmiştir. 200, 800 ve 1200 dev/dk işleme hızlarında 4 dk boyunca yüzey aşındırma çalışması yapılmıştır. AFM sonuçlarına bakıldığında yüzeyde yaklaşık 20 µm eğilimli bir dalga boyu bileşeni bulunmaktadır. Şekil 28 (a)'da MAİ işleminden önceki yüzey pürüzlülük grafiğinde tepelerin dalga boylarının inişli-çıkışlı olduğu gösterilmiştir. Şekil 28 (b-d)'de diskin 800 dev/dk hızından sonra (4 dk) yüzeydeki tepeler daha çok azalmaktadır. Daha kısa dalga boyu giderek küçülmüştür. Yüzeydeki derin girintilerin, aşındırıcı tanenin kesici yüzeyinden kaynaklanmış olmaktadır. Aşındırıcı kenarlar, yüzeyden içeri girdiğinde vadilerde aşındırıcı çizikler oluşturmaktadır. Böylelikle yüzeyde tepe görüntüleri kalkarak daha parlak görünmesi sağlanmaktadır. Son yüzey ise mikro çiziklerin birikiminden oluşmuştur. Sonuç olarak, iş parçası yüzeyinden talaş kaldırma ile yüzey düzleştirilmesi yapılabilir (Şekil 28) [72].

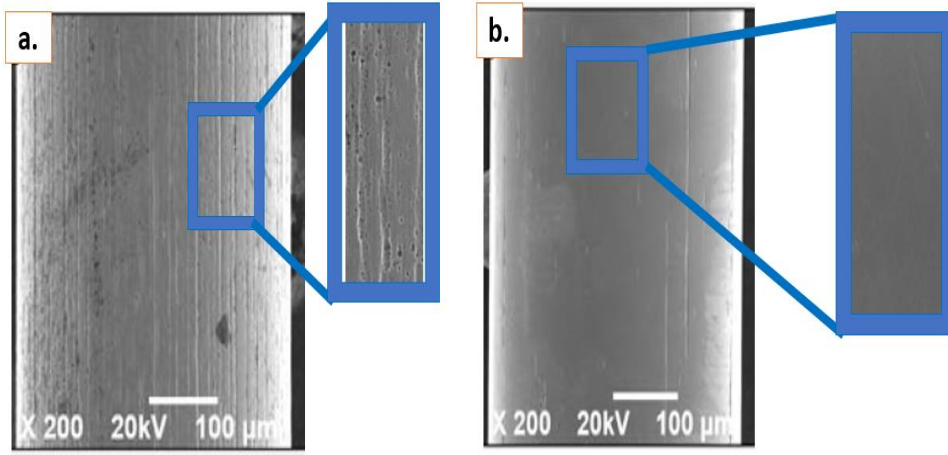


Şekil 28. Yüzey parlatılması sonrasında AFM görüntüleri [72]

Ortamın olumsuz sonuçlarından etkilenerek oluşan hatalar, işlenen malzemeden talaş kaldırma biçimi, işlenen malzemenin çeşidi, takım ucunun rijit olmamasından kaynaklanan hatalar, kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiği zaman malzeme yüzeyindeki yırtılmalar, ilerleme hızında meydana gelen düzensizlikler gibi nedenlerden dolayı malzemenin yüzey kalitesini etkileyerek yüzeyde pürüz meydana getirmektedir [73, 74].

Rim Jang ve ark, Nitinol (NiTi) malzemesi Nikel ve titanyum alaşımı olan diş tellerinde, stentlerde ve diğer cerrahi aletlerde kullanılan önemli bir biyomedikal malzemedir. Bu tür teller insan vücudunun içine geçici veya kalıcı olarak yerleştirildiğinden aşınma, sürtünme ve bakteri yapışmasını önlemek için yüzeylerinin düzeltilmesi ve temizlenmesi gerekir. Mikro ölçekli çaptaki ($\text{Ø}400 \mu\text{m}$) NiTi tel numunelerine manyetik aşındırıcı bitirme (MAF veya MAİ) işlemi ile nano ölçekli aşındırma işlemi yapılmıştır. NiTi tellerin yüzey pürüzlülüğünün bakteri yapışması üzerindeki etkisini değerlendirmek için NiTi tellerin nihai yüzeyleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. NiTi tel yüzeyleri, 1200 dev/dk dönüş hızında, 280 nm (Şekil 27 (a)) başlangıç yüzey pürüzlülük değerlerinden 30 nm'ye kadar düşürülmüştür (Şekil 27 (b)). 1200 dev/dk'lık bir dönüş hızı, 600 dev/dk'lık daha düşük bir dönüş hızına kıyasla daha iyi yüzey pürüzlülükte azalma sağladığını ifade etmiştir. Dönme hızının 1800 dev/dk'ya yükseltilmesiyle NiTi tel malzemelerin yüzey pürüzlülük kalitesi önemli ölçüde azalmamıştır. Sonuç olarak dönme hızındaki daha fazla artış, merkezkaç kuvvetinin artmasıyla beraber aşındırıcı tozların

tam olarak yüzey üzerine etki etmediği görüşüne varılmıştır. Ek olarak, NiTi malzemesinden imal edilmiş diş tellerin pürüzlülük değerinin bakterilerin yaşaması üzerinde nasıl etkilediğini anlamak için in vitro ortamda *S. Aureus* ve *E. coli* bakterileri kullanılmıştır. Telin yüzeyindeki pürüzlülük değeri MAİ işlem öncesinde (Şekil 29 (a)) bakterilerin yapışması yaklaşık % 83,48 civarlarında olurken MAİ işlem sonrasında (Şekil 29 (b)) *S. Aureus* bakterilerin ve *E. coli* bakterilerinin tele yapışması yaklaşık olarak % 70,67 civarlarında olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün azalması, bakteri popülasyonunda da azalma sağlamıştır (Şekil 29) [75].



Şekil 29. MAİ işlem öncesi (a) ve işlem sonrasında (b) X200 büyütme [75]

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemlerle imalatı mümkün olmayan karmaşık geometrili parçaların imalatından sonra yüzeyinin parlatılmasında kolaylık sağlamada aşındırıcı tozlarla yüzeyinin parlatılması yöntemi son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Yüzey kalitesini arttırmada işlem parametreleri önemli olmaktadır. Bu derleme çalışmasında, metal iş parçalarının yüzey kalitelerini arttıran yüzey bitirme işlemlerinin yüzeye olan etkileri incelenmiştir. Talaşlı imalat gibi daha geleneksel yöntemlerin dışında, taşlama ve MAİ yöntemiyle yüzey aşındırma işlemlerinin varlığına da değinilmiştir. Taşlama yöntemi ise karmaşık şekilli iş parçalarının yüzey parlatılmasında etkili bir sonuç çıkaramadığı için MAİ yöntemi daha etkili olmaktadır. Taşlamada kullanılan sert taş yüzeyi olduğundan dolayı yüzey deformasyonlarının MAİ yöntemine göre daha fazla olacağı literatürden görülmüştür. Her iki yöntemde de kullanılan aşındırıcı toz çeşitleri aynıdır. Sadece aralarındaki tek fark, MAİ yönteminde manyetik alan kullanılmaktadır. Aşındırıcı toz olarak SiC ve alümina (Al_2O_3)

tozlarının literatürde en fazla kullanıldığı görülmüştür. Toz boyutlarının küçük olması yüzeyin parlak görülmesini doğrudan etkilemiştir. İş parçasının metal malzemesi de yüzey parlatılmasında etkili olmuştur.

Literatürden yola çıkılarak MAİ yöntemi için uygun optimum parametreler şöyle olabilir; yüzey ile aşındırıcı toz arasındaki iş parçası boşluğu 2 mm'yi geçmemelidir. Devir sayısı çok fazla olursa merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yüzeyde fazla parlaklık etkisi görülmeyecektir. Literatürde 500 ile 1400 dev/dk arasında kullanılmıştır. Aynı zamanda literatürde sert iş parçası yüzeylerinin, 800 ile 1000 dev/dk dönme hızı ile yüzey parlatılmasında uygun olduğu görülmüştür. Aşındırıcı toz kullanımı, insan sağlığını ve çevre kirliliğini tehdit etmediğinden dolayı tercih edilmektedir. İşlem parametreleri kadar işlemi yaparken uygulanacak yöntemin deney sonuçlarının da etki edeceği görülmüştür. İşleme yöntemlerine bakıldığında MAİ yönteminin, endüstride geniş kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür. Düzlemsel ve silindirik şekilli parçaların işlenerek önemli ölçüde iyileşmesi gözlemlenmiştir. Güncel araştırmalar yapılarak imalatın önemli konusuna değinilmiştir. İleride bu konu üzerinde çalışma yapacak bilim insanlarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Talaşlı İmalat, <https://docplayer.biz.tr/4688114-Talasli-imalat-talas-kaldirma-yontemlerinin-siniflandirilmesi-1-geleneksek-talasli-imalat-1a-tornalama-ve-iliskili-operasyonlar.html> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [2] Talaşlı İmalat, <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [3] Jain, V.K., Sidpara, V., Sankar, M.R., Das, M., (2011). Nano-Finishing Techniques: A Review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 226(1), 327-346.
- [4] Groover, M.P., 21. Chapter; (2020). Theory of Metal Machining, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 7th ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, pp. 816.

- [5] Tonshoff, H.K., Karpuschewski, B., Mandrysch, T., (1998). Grinding Process Achievements and Their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities. *Annals of CIRP*, 47(2), 651-668.
- [6] Jha, S., Jain, V.K., (2006). 8. Chapter; Nano-Finishing Techniques, *Micro-manufacturing and Nanotechnology*, Springer Publishing, Berlin, Heidelberg, 171-195.
- [7] Malkin, S., Gao, C., (2008). *Grinding Technology-Theory and Applications of Machining with abrasives*, Industrial Press – 1th ed., USA, South Norwalk, pp. 250-275.
- [8] Gopan, V., Wins, K.L.D., Surendran, A., (2018). Integrated ANN-GA Approach for Predictive Modeling and Optimization of Grinding Parameters with Surface Roughness as the Response. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12133-12141.
- [9] Adıyaman, O., Sönmez, F., (2020). Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 215-225.
- [10] Salman Ö., (2014). Magnetic Abrasives Assisted Finishing. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 11(1), 1-10.
- [11] Hashimoto, F., Yamaguchi, H., Krajnik, P., Wegener, K., Chaudhari, R., Hoffmeister, H.W., Kuster, F., (2016). Abrasive Fine-Finishing Technology. *CIRP Ann.-Manufacturing Technology*, 65(2), 597-620. David Schrank, Bill Eisele, Tim Lomax, “Urban Mobility Report”, The Texas A&M Transportation Institute, Texas Department of Transportation, 2019.
- [12] Askeland, D.R., Çeviri: Erdoğan M., (2002). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri - Cilt 2*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN 975-591-106-5.
- [13] Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R., (2008). Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma ve Mikro Yapı Özelliklerine Etkisi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1 – 8.
- [14] Akkurt, M., (2012). *Makina Elemanları-Cilt 3*, Birsen Yayınevi, Ankara, ISBN975-511-179-4.

- [15] Çelik, M., (2017). Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yönteminde İç Yüzeylerin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] Yamamoto, A., Matsumori, N., (1977). Critical Stone Pressure as a Characteristics Concerned with Finishing Ability in Superfinishing and Its Utilization. Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 11(3), 115–120.
- [17] Evans, C.J., Parks, R.E., Roderick, D.J., McGlaulin, M.L., (1998). Rapidly Renewable Lap: Theory and Practice, Annals of the CIRP, 47(1), 239–244.
- [18] Yaman, K., Başaltın, M., (June 21-23, 2019). Tornalama Operasyonunda Takım Ucu Yığıntı Kenar Oluşumunun Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yığıntı Kenarın Talaş Şekline Etkisi, Presented at the The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automation Engineerings and Technology (IMSMATEC), Cappadocia, 147-153, Nevşehir-Turkey.
- [19] Gondi, P., Mattogno, G., Sili, A., Foderaro, G., (1993). Structural Characteristics at Surface and Barkhausen Noise in AISI 4340 Steel After Grinding. Nondestructive Testing and Evaluation, 10(1), 255-267.
- [20] Zhong, Z.W., Venkatesh, V.C., (2009). Recent Developments in Grinding of Advanced Materials, Int J Adv Manuf Technol, 41(1), 468–480.
- [21] Adıyaman, O., (2015). Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Mekanizması ile Düzlem Yüzey Taşlama İşleminde Kesme Parametrelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- [22] Adıyaman, O., Savaş, V., (2014). İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 11(4), 21-36.
- [23] Hamamcı, M., Topal, E.S., (November 2021). Yüksek Hızlı Talaşlı İşlemede Yüzey Kalitesinin İyileştirilmesi, 1st International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science, Sakarya – Turkey.
- [24] Wang, Y., Chen, X., Gindy, N., (2007). Surface Error Decomposition for Fixture Development, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 31(9), 948–956.

- [25] Anderson, D., (2006). Thermal Modeling and Temperature Measurement of Dry Grinding, MSC Thesis, Dalhousie University, Canada.
- [26] Köklü, U., (2009). Değişik Şekillerde Aralıklı (Kesikli) Yüzeylerin Taşlanması Oluşan Şekil Hatalarının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü, İstanbul.
- [27] Salmon, S.C., (1992). Modern Grinding Process Technology, McGraw-Hill, New York, 103-109.
- [28] Demir, H., Güllü, A., Şeker, U., (2006). Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi, 9(2), 111-118.
- [29] Akkurt, M., (1996). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayıncılık, ss. 23-90.
- [30] Dilipak, H., Gülesin, M, (1997). Torna Operasyonları için Uzman Sistem Tekniklerine Dayalı Kesici Seçimi, Mamkon'97, İ.T.Ü. Makine Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi, 349-357, İstanbul - Türkiye.
- [31] Demir, H., (1998). Alüminyum Oksit Zımpara Taşlarıyla Silindirik Taşlamada Çeşitli Çelikler için Taşlama Oranlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [32] Heo, J.S., Koo, Y., Choi, S.S., (2004). Grinding Characteristics of Conventional and ELID Methods in Difficult-to-Cut and Hardened Brittle Materials. Journal of Materials Processing Technology, 155–156(1), 1196–1200.
- [33] Dressing with PCD, <https://www.ctemag.com/news/articles/dressing-pcd> Erişim Tarihi: 26.02.2023
- [34] Adıyaman, O, Sönmez, F., Savaş, V., 2023. Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11 (1), 21-40.
- [35] Demirel, T., (2017). Manyetik Aşındırıcılarla Düzlem Yüzeylerin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

- [36] Çelik, M., (2021). Elektro-Erozyon Yöntemiyle İşlenmiş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Kalitesinin Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [37] Singh, P., Samra, P.S., Singh, L., (2011). Internal Finishing of Cylindrical Pipes Using Sintered Magnetic Abrasives. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 3(7), 5747-5753.
- [38] Singh, B., Kalra Singh, C., (2015). Optimization of Magnetic Abrasive Finishing Parameters During Finishing of Brass Tube. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2(4), 1810-1817.
- [39] Kang, J., (2012), Development of High-Speed Internal Finishing and Cleaning of Flexible Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing, PhD Thesis, University of Florida, Florida.
- [40] Çaydaş, U., Çelik, M., Köklü, U., (2019). Manyetik Aşındırıcılarla AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Boruların İç Yüzeylerinin Bitirme İşleminde Talaş Kaldırma Oranı ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 34 (3), 1214-1225.
- [41] Girma, B., Joshi, S., Raghuram, M.V.G.S., (2006). An Experimental Analysis of Magnetic Abrasives Finishing of Plane Surfaces. Machining Science and Technology, 10(3), 323–340.
- [42] Singh, D.K., Jain, V.K., Raghuram, V., (2004). Parametric Study of Magnetic Abrasive Finishing Process, Journal of Materials Processing Technology, 149 (1), 22-29.
- [43] Sampling Accessories for Reflection, <https://oceanoptics.com/sampling-accessories-for-reflection> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [44] Yang, Y., Xue, Y., Li, B., (2022). A Magnetic Abrasive Finishing Process with an Auxiliary Magnetic Machining Tool for the Internal Surface Finishing of a Thick-Walled Tube. Machines, 10 (7), 529-549.
- [45] Alkarkhi, N. K., Naif, M., (2012), Study on The Parameter Optimization in Magnetic Abrasive Polishing for Brass CUZN₃₃ Plate Using Taguchi Method, The Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering, 12 (3), 596-615.

- [46] Mori, T., Hikota, K., Kawashima, Y., (2003). Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism. *Journal of Material Processing Technology*, 143-144 (20), 682-686.
- [47] Yamaguchi, H., Shinmura, T., Takenaga, M., (2003). Development of a New Precision Internal Machining Process Using an Alternating Magnetic Field. *Precision Engineering*, 27(1), 51-58.
- [48] Sun, X., Zou, Y., (2017). Development of Magnetic Abrasive Finishing Combined with Electrolytic Process for Finishing SUS304 Stainless Steel Plane. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1), 3373–3384.
- [49] Demirel, T., Çaydaş, U., (19-22 October 2017). Investigation of Flat Surfaces with Magnetic Abrasive Assisted Finishing Process, 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS), 3899-3909, Elazığ Turkey.
- [50] Anonim, (1977). TS 291. Taşlama Taşları, Türk Standartları, Ankara.
- [51] Shaw, M.C., (1994). A Production Engineering Approach to Grinding Temperatures, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, 44(3-4), 59-169.
- [52] Demir, H., Güllü, A., (2001). Taşlamada Parametrelerin Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 189-198.
- [53] Demir, H., Güllü, A. (2008). Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1), 77-83.
- [54] Mulik, S.R., Pandey, P. M., (2011). Ultrasonic Assisted Magnetic Abrasive Finishing of Hardened AISI 52100 Steel Using Unbonded SiC Abrasives, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29(1), 68-77.
- [55] Chang, G.W., Yan, B.H., Hsu, R.T., (2002). Study on Cylindrical Magnetic Abrasive Finishing Using Unbonded Magnetic Abrasives, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42(5), 575-583.
- [56] Singh, D.K., Jain, V.K., Raghuram, V., (2004). Parametric Study of Magnetic Abrasive Finishing Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (1), 22-29.

- [57] Yamaguchi, H., Shinmura, T., Ikeda, R., (2007). Study of Internal Finishing of Austenitic Stainless Steel Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129 (5), 885-892.
- [58] Baron, Yu M., Park, J.L., (2007). Micro Deburring for Precision Parts Using Magnetic Abrasive Finishing Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188 (1), 19-25.
- [59] Lin, C.T., Yang, L.D., Chow, H.M., (2007). Study of Magnetic Abrasive Finishing in Free-form Surface Operations Using the Taguchi Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(1-2), 122-130.
- [60] Kang, J., George, A., Yamaguchi, H., (2012). High-Speed Internal Finishing of Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing. *Procedia CIRP*, 1(1), 414-418.
- [61] Wu J., Zou Y., Sugiyama H., (2013). Study on An Ultra-Precision Plane Magnetic Abrasive Finishing Process by Use of Alternating Magnetic Field, *Applied Mechanics and Materials* 395-396, 985-989.
- [62] Liu, Z.Q., Chen, Y., Li, Y.J., Zhang, X., (2013). Comprehensive Performance Evaluation of The Magnetic Abrasive Particles. *Int J Adv Manuf Technol.*, 68(1-4), 631-640.
- [63] Li, W., Li, X., Yang, S., Li, W. (2018). A Newly Developed Media for Magnetic Abrasive Finishing Process: Material Removal Behavior and Finishing Performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 260(1), 20-29.
- [64] Kanish, T.C., Narayanan, S., Kuppan, P., Denis Ashok, S., (2018). Investigations on Wear Behavior of Magnetic Field Assisted Abrasive Finished SS316L Material. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12734-12743.
- [65] Kajal, S., Jain, V.K., Ramkumar, J., Nagdeve, L., (2019). Experimental and Theoretical Investigations Into Internal Magnetic Abrasive Finishing of A Revolver Barrel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100 (5-8), 1105-1122.
- [66] Çelik, M., Gürün, H., Çaydaş, U., (2021). Tel Erezyon Yöntemiyle İşlenmiş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Kalitesinin Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İyileştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(1), 347-357.

- [67] Çaydaş, U., Çelik, M., (16 - 18 Kasım 2017). Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemi, International Advanced Researches Engineering Congress, Osmaniye, Türkiye, 214-219.
- [68] Minimum Yüzey Pürüzsüzlük Değeri, <http://www.yamato.com.tr/minimum-yuzey-puruzluluk-degeri> Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [69] Kheelan, B.P., Patel, K.M., (2014). Magnetic Abrasive Finishing of AISI52100. International Journal of Trend in Research and Development, 1(1), 1-8.
- [70] Aşındırıcı Performans ve Kalite Hususları, <http://stmcoatech.com/asindirici-secimi-performans-ve-kalite-hususlari> Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [71] Sharma, M., Pal Singh, D., (2013). To Study the Effect of Various Parameters on Magnetic Abrasive Finishing. International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology, 3(2), 213-215.
- [72] Yamaguchi, H., Shinmura, T., (1999). Study of The Surface Modification Resulting from an Internal Magnetic Abrasive Finishing Process. Wear, 225–229(1), 246–255.
- [73] Akkuş, H., (2010). Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [74] Özcan, A.E., (2019). Minimum Miktarda Yağlama Sistemine Katılan Aşındırıcı Toz Miktarının Kesme İşlemine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [75] Rim Jang, S., Suh, W., Heng, L., (2023). Nanoscale Polishing Technique of Biomedical Grade NiTi Wire by Advanced MAF Process: Relationship between Surface Roughness and Bacterial Adhesion, Journal of Functional Biomaterials, 14(4), 2-18.



STRONSIYUM ALÜMİNAT KATKILI KOMPOZİT PİGMENT BİLEŞİMİNİN ÇİMENTO ESASLI FOTOLÜMİNESAN HARCIN PERFORMANSINA ETKİSİ

Lütfullah GÜNDÜZ^{1,a}, Şevket Onur KALKAN^{1,b,*}

¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, MMF, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

^alutfullah.gunudz@ikcu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2487-467X

^bsevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0250-8134

ÖZET

Parlama etkili ürünlerin gündüz güneş enerjisini soğurması ve gece bu enerjiyi açığa çıkarması ile kullanımı, geceleri daha fazla güvenlik ve aydınlatma amaçlı kullanılan enerjide tasarruf sağlayabilmektedir. Bunun yanında, içeriğinde ışık yayan pigmentler kullanılarak üretilen ürünler, yollar, otoparklar, bisiklet yolları, tehlikeli ve kötü aydınlatılmış bölümler vb. için ek bir sinyalizasyon aracı olarak değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda, optimal olarak seçilmiş malzemeler ve pigmentler ile malzemelere ekstra ışık kaynağı özelliği kazandırılabilir. Bu çalışmada, fotolüminesan pigment içeren bir dizi çimento harcı ve pigment içermeyen bir kontrol harcı üretilerek, fotolüminesan pigment içeren ve içermeyen harçların ve değişen pigment miktarının harçların fiziko-mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle kompozit fotolüminesan pigment (KFP), stronsiyum alüminat ($SrAl_2O_4$), titanyum dioksit (TiO_2) ve stiren akrilik kopolimer emülsiyonun (SAKE) belli oranlarda karıştırılması ile elde edilmiştir. Daha sonra KFP çimento harcına eklenerek kompozit fotolüminesan harçlar üretilmiştir. Çalışma bulgularına göre, $SrAl_2O_4$ oranının artışı harçların basınç dayanımının azalmasına sebebiyet vermektedir. KFP katkılı harçlar yaklaşık 13 saat gün ışığına (06:00-19:30 arası) maruz bırakıldıktan sonra, karanlık bir ortamda ışıma süreleri 576 dakika ile 696 dakika (yaklaşık 9,5-11,5 saat) aralığında tespit edilmiştir. Harçların ışık yayma performansları özellikle KFP içerisinde bulunan $SrAl_2O_4$ pigmenti oranı artışına bağlı olarak artmıştır. Bununla birlikte, ışık yayan pigment kompozisyonundaki TiO_2 oranı arttıkça, pigment komponentinin ışık yaymadaki etkisinin daha da iyileştiği görülmüştür. Bu çalışma ile, $SrAl_2O_4$ ve TiO_2 'in birlikte kullanımı ile karanlıkta ışık yayabilen çimento harçlarının üretilmesi tespit edilmiştir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atrf (Citation): Gündüz, L., Kalkan, Ş.O., "Stronsiyum Alüminat Katkılı Kompozit Pigment Bileşiminin Çimento Esaslı Fotolüminesan Harcın Performansına Etkisi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 127-153, 2023.

Geliş (Received): 24/07/2023

Kabul (Accepted): 05/10/2023

Yayın (Published): 31/12/2023

Anahtar Kelimeler: Fotolüminesans, fotolüminesan harç, kompozit, pigment, stronsiyum alüminat.

EFFECT OF STRONTIUM ALUMINATE ADDED COMPOSITE PIGMENT COMPOSITION ON THE PERFORMANCE OF CEMENT-BASED PHOTOLUMINESCENT MORTAR

ABSTRACT

The use of afterglow-effect products, as they absorb solar energy during the day time and release this energy at night, can provide more security and energy savings at night for lighting purposes. In addition, products produced using light-emitting pigments can be considered as an additional signaling tool in the dangerous and worst-lit sections of roads, parking lots, and bicycle paths. In this context, with optimally selected materials and pigments, materials can be provided with an extra light source feature. In this study, a series of cement mortars containing photoluminescent pigment and a control mortar without pigment were produced, and the effects of mortars with and without photoluminescent pigments and the varying amount of pigment on the physico-mechanical properties of the mortars were investigated. In the study, firstly, composite photoluminescent pigment (KFP); strontium aluminate, titanium dioxide and styrene acrylic copolymer emulsion were mixed in certain proportions. Then, composite photoluminescent mortars were produced by adding KFP to the cement mortar. According to the study findings, the increase in the strontium aluminate ratio causes a decrease in the compressive strength of the mortars. After the KFP added, mortars were exposed to sunlight for approximately 13 hours (between 06:00-19:30), the glow times were determined in the range of 576 minutes to 696 minutes in a dark environment. The afterglow performances of the mortars were determined in proportion to the ratio of strontium aluminate pigment in the KFP. Also, as the TiO₂ ratio in the light-emitting pigment composition increased, it was observed that the effect of the pigment component on light-emitting improved. In this study, it was determined that cement mortars that can emit light in the dark can be produced with the use of strontium aluminate and titanium dioxide together.

Keywords: Photoluminescence, photoluminescent mortar, composite, pigment, strontium aluminate.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde enerji talebi kaçınılmaz olup, her geçen gün bu talep giderek artmaktadır. Yerleşim bölgelerinde gece boyunca aydınlatılması gerekli tüm yapı eleman veya birimleri, büyük bir enerji ihtiyacını gündeme getirmektedir. Enerji tüketimini minimize etmek amacıyla, bazı uygulama alanlarında gece karanlığında ilave enerji tüketimine ihtiyaç duyulmaksızın kendinden aydınlanabilen ürünlerin geliştirilmesi ve uygulamalarda kullanılması, günümüzde önemsenen araştırma konuları arasında yerini almaktadır. Bu amaçla, inşaat endüstrisinde, peyzaj ve yol düzenlemelerinde yenilikçi malzemeler bağlamında uygulanabilecek harç ve/veya beton türevi ürünler gelişim göstermektedir [1-6]. Bu bağlamda lüminesan beton türleri yeni ve yeterince incelenmemiş bir malzeme versiyonu olmakla birlikte, inşaat, mimari ve tasarım alanlarında farklı uygulama potansiyeline sahip bir konudur. Gün ışığında uyuyan ve gece ışıldayan bir beton, özellikle talebin en yüksek olduğu gece saatlerinde günlük enerji tüketimini verimli bir şekilde yönetmede etkili olabilmektedir. Bu beton, fosforlu malzemenin gündüzleri güneş radyasyonundan enerjiyi emdiği ve karanlıkta ışık enerjisini yeniden yaydığı temel fosforesans ilkesini uygular. Çevre dostu, uygun maliyetli ve parlaklık oluşturması nedeniyle görsel etkileri de olmaktadır [1].

Fotolüminesan harçlar, gün içerisinde güneş veya yapay ışık enerjisini gündüz yakalayıp gece karanlık ortamda görünür ışığa çevirme özelliğine sahip olan harç kompozisyonlarıdır. Bu özelliğinden dolayı fotolüminesan harçlar, ışık yayan harç veya karanlıkta parıldayan-parlayan harç olarak da bilinir. Bu özelliğe sahip harç karışımları ile yapılmış, üretilmiş ve/veya geliştirilmiş yapı malzemeleri de benzer özellikler göstermekte ve benzer tanımlamalarla adlandırılabilir. Lüminesans genel olarak, ışığın fotonlar şeklinde soğurulması ve elektronların enerji seviyelerinden sıçramasına neden olan ışık emisyonu olarak tanımlanır. Fotolüminesan malzeme, doğal veya yapay yollarla yüklenebilir. Doğal olarak bulunan güneş ışığı, fotolüminesan malzemede daha parlak bir ışıltı elde etmek için kullanılabilir [7-10]. Fotolüminesan harç kullanılarak imal edilen malzeme türevleri, estetik ve yaratıcı kullanım potansiyellerine ek olarak, karayollarında gece aydınlatma ve yol levhalarına kolay yol çözümleri sunabilir. Ayrıca, araç ve yaya güvenliğini artırmak ve enerji yoğun cadde ve sokaklarda çimentolu ve/veya çimentosuz aydınlatma yapı malzemesi ürünlerinin geliştirilmesi, bisiklet yollarının, otoyolların, bina dış aydınlatma ve iç mekanların kaplanmasında uygulamalarında kullanılabilir.

Fotolüminesan harç karışımlarında lüminesan malzeme olarak *stronsiyum alüminat* en yaygın kullanılan materyaller arasında yer almaktadır [11-13]. $SrAl_2O_4$, radyasyonun emilmesinden sonra 14 saate kadar parlama üretebilen en güçlü fosforlu maddedir. $SrAl_2O_4$ 'ın genellikle iki çeşidi vardır: Yeşil bir parlaltı oluşturan *öropiyum katkılı stronsiyum alüminat* ve su parlaltısı üreten *daha yüksek alüminatlar* içeren türüdür. Yeşil tonlar maksimum parlaklığı verir ve su tonları ise daha uzun parlama süresine sahiptir [1].

Işık yayan beton türevleri ve geliştirilmesi üzerine literatürde yer alan araştırma bulgularında özetle; Barghlame ve arkadaşları [14] ışık yayan beton bileşiminin çeşitli düzenlemelerini ve ışık yayan bir beton yapının sentezlenmesi için yeni bir yöntemi patent çalışması olarak öngörmüşlerdir. Bu çalışmada ışık yayan beton bileşimi, ışık yayan pigmentler kullanılarak geliştirilmiş olup, ışık yayan pigmentler titanyum tozu, sülfid tozu ve reçinelerin karışım kombinasyonu ile elde edilmiştir. Işık yayan pigment karışımı beton karışımına eklenerek, kalıplama yöntemiyle ışık yayan beton ürünlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu örnekler üzerinde yapılan test bulgularının uzun süre betonun karanlık ortamda ışık yaydığı gözlenmiştir [14]. Wiese ve arkadaşları [15] beton yüzeylerde kullanım için soya bazlı bir lüminesan dolgu macununun geliştirilmesi ve parlaklığın artırılması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada ışıldayan dolgu macunu, soya metil ester polistiren ve fosforlu bir toz olan $SrAl_2O_4$ kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında kaplanmış beton yüzeyinin parlaklığının büyüklüğü ve süresini ölçmek için yeni bir test prosedürü de öngörülmüş olup, daha büyük $SrAl_2O_4$ parçacıklarının, daha küçük parçacıklardan daha uzun süre parıldadığı rapor edilmiştir [15]. Saleem ve arkadaşları [16] çimento esaslı kum gibi ince agregaların ana agrega olarak kullanıldığı ve $SrAl_2O_4$ 'ın fosfor özelliği değerlendirilerek ışıldayan beton bileşimi ve beton üretim yöntemi üzerine patent ArGe çalışması yürütmüşlerdir. Geliştirilen karanlıkta parlayan beton ürünlerin, iyi mekanik dayanım (örn. basınç dayanımı) ve kayma direnci sergilediği rapor edilmiştir. Fosforlu $SrAl_2O_4$ ilavesi ile beton ürünlerde 10 saate kadar devam eden parlaklık sağlanmış olup [16], $SrAl_2O_4$ kullanımının ışık yayma sürelerindeki etkinliği tartışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada $SrAl_2O_4$ kullanımının çimento ile uyumlu olduğu ve çimentonun hidratasyonunda da olumlu etkiler sağladığı belirtilmiştir. Dipika ve arkadaşları [17] betonda foto lüminesans özelliğinin tanıtılması üzerine bir araştırma projesinin bulgularını tartışmışlardır. Önerilen konsept, koyu renkli betonda parlaltı oluşturmak için camda ışık yayan pigmentleri indüklemektir. Betona dahil edilen fotolüminesan pigmentler, lantanid serisinden nadir alkalın toprak

elementlerinden oluşmakta ve bu nedenle inert olduklarını kanıtlanmışlardır. Çevreye minimum düzeyde zarar verici bir etkisi olduğu rapor edilmiştir. Geliştirilen beton malzemenin önemli bir basınç dayanımına ve ışık yayma özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Fotolüminesans kaynaklı betonun uygulanması, gelecekte sürdürülebilir kalkınmaya değerli bir katkı yapma konusunda yüksek bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır [17].

İnşaat sektöründe son yıllarda giderek önem kazanan çimentolu ve ışık yayan fotolüminesan harç ürünlerin fiziksel, mekanik ve lüminesans özelliklerinin iyileştirilmesi önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada $SrAl_2O_4$, TiO_2 ve akrilik reçine malzemelerin farklı oranlarda harmanlanmasıyla elde edilen bir seri ışık yayan pigment bileşimlerinin çimento esaslı fotolüminesan harç özelliklerine etkisi bir dizi deneysel analizlerle incelenmiştir. Elde edilen veriler detaylı bir şekilde tartışılmış olup, çimento bağlayıcılı kompozit yapıda fotolüminesan harç üretimi üzerine yapılan ArGe çalışmalarında ışık yayan pigment bileşimlerin harca katkı miktarları ve etkileri bağlamında karakterize edilebilecek bazı teknik tecrübeler paylaşılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Harç Tasarımlarında Kullanılan Malzemeler

Çimento esaslı fotolüminesan harç (ÇEFH) tasarımında iki ayrı grupta malzeme bileşimi hazırlanmıştır. Birinci grup malzeme bileşimi 5 ayrı farklı malzemedен oluşmaktadır. Bunlar; CEM I-42.5R tipi Portland çimentosu, 2 ayrı tane boyutunda sınıflandırılmış doğal mika, boyutlandırılmış kuvars tozu ve selüloz malzemedен oluşmaktadır. İkinci grup malzeme bileşimi ise ışık yayan pigment bileşimidir. Bu gruptaki pigment bileşimi ise 3 ayrı malzeme türünden oluşmaktadır. Bunlar, $SrAl_2O_4$, TiO_2 ve akrilik reçinedir.

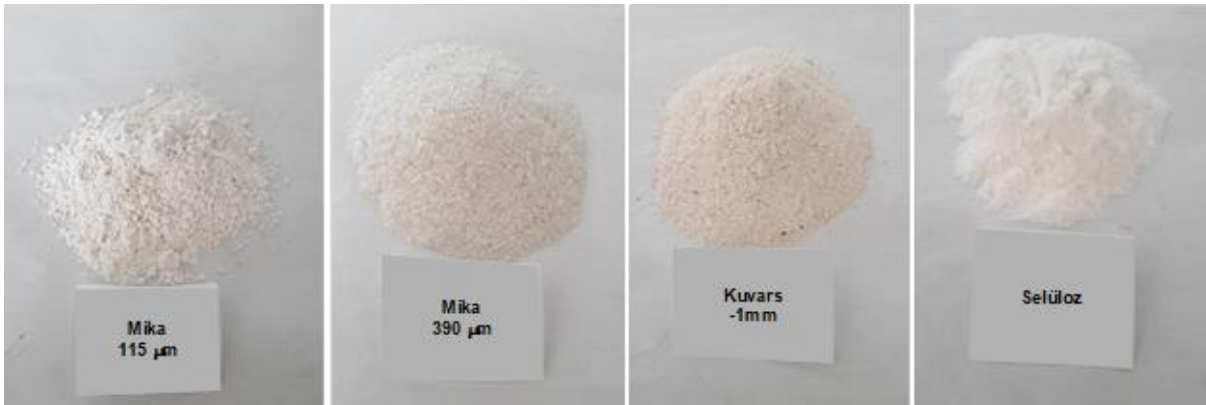
ÇEFH test örneklerinin hazırlanmasında özgül ağırlık değeri ortalama $3,0 \text{ g/cm}^3$ olan CEM I-42.5R tipi Portland çimentosu bağlayıcı ana malzeme olarak kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan çimentonun kimyasal majör bileşenleri Tablo 1’de verilmiştir.

ÇEFH test örneklerinin hazırlanmasında ana agrega malzeme olarak $115 \mu\text{m}$ ve $390 \mu\text{m}$ tane boyutlarında sınıflandırılmış 2 ayrı boyutta doğal mika Kaltun Madencilik A.Ş. (Çine-Aydın)’dan temin edilmiştir. Mika malzemelerin özgül kütle değerleri $2,85 \text{ g/cm}^3$, Mohs sertlik değerleri 2.5 ve nem içerikleri ise ortalama %0,30’dur. $115 \mu\text{m}$ boyutlu mikanın

yığın yoğunluğu ortalama 310 kg/m^3 olup, $390 \mu\text{m}$ boyutlu mikanın yığın yoğunluğu ise ortalama 380 kg/m^3 'tür [18, 19]. Ayrıca, Malvern (Mastersizer 2000) partikül boyut ölçüm cihazı ile tanımlanmış boyut dağılım değeri $115 \mu\text{m}$ boyutlu mika malzemede $D/10=4,5 \mu\text{m}$, $D/50=15 \mu\text{m}$ ve $D/97=47,5 \mu\text{m}$ olarak tanımlanmıştır [18]. Benzer şekilde, $390 \mu\text{m}$ boyutlu mika malzemede ise tanımlanmış boyut dağılım değeri $D/10=13 \mu\text{m}$, $D/50=55 \mu\text{m}$ ve $D/97=290 \mu\text{m}$ olarak tanımlanmıştır [19]. Karışımlarda kullanılan mika malzemelerin kimyasal majör bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir.

ÇEFH test örneklerinde ana dolgu materyali olarak 0-1 mm boyut aralığında sınıflandırılmış kuvars tozu hazır boyutlandırılmış malzeme olarak piyasa koşullarından temin edilmiştir. Kuvars tozunun ortalama yığın yoğunluğu $1480 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte ÇEFH test örneklerinin hazırlanmasında özel kıvam arttırıcı etkiler için geliştirilerek modifiye edilmiş metil hidroksietil selüloz (MHEC) piyasa koşullarından toz formda tedarik edilerek tüm karışımlara katkı olarak ilave edilmiştir. MHEC standart eterifikasyona sahip, suda çözünür, iyonik olmayan, çok hızlı tutarlık gelişimi, orta derecede sarkma direnci ve su talebi sergileyen, çimento hidrasyonu üzerinde düşük etki değerine sahip özelliklerdedir. Test örneği karışımlarında kullanılan metil hidroksietil selülozun yığın yoğunluğu ortalama 420 kg/m^3 , vizkozite değeri 55000 – 60000 mPa.s ve pH değeri 5-8 aralığındadır. Metil hidroksietil selüloz türleri genellikle, çimento esaslı tamir tarama harç imalatları, örgü harçları, yapıştırıcı türleri, kire-çimento harçları ve alçı bağlayıcı harç uygulamalarında yaygın kullanımları görülmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan mika, kuvars ve selüloz malzemelerin genel görünüşleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mika, Kuvars ve Selüloz Malzemelerin Genel Görünüşleri

Tablo 1. Karışımlarda kullanılan bazı malzemelerin kimyasal majör bileşenleri

Bileşen	CEM I-42.5R (%)	Mika (115µm)* (%)	Mika (390 µm)** (%)
SiO ₂	20,26	52,41	56,10
Al ₂ O ₃	3,65	29,67	27,20
Fe ₂ O ₃	4,38	1,14	0,98
TiO ₂	-	0,35	0,32
CaO	64,37	0,10	0,39
MgO	1,37	1,72	1,55
Na ₂ O	0,25	0,88	1,52
K ₂ O	0,49	9,65	8,20
P ₂ O ₅	-	0,07	0,25
Kızdırma Kaybı	-	4,00	3,50

*Kaltun Madencilik A.Ş., SMW.115 (KM.01.M.0015) Mika Ürünü Teknik Föyü [18]

**Kaltun Madencilik A.Ş., SMW.390 (KM.03.M.0090) Mika Ürünü Teknik Föyü [19]

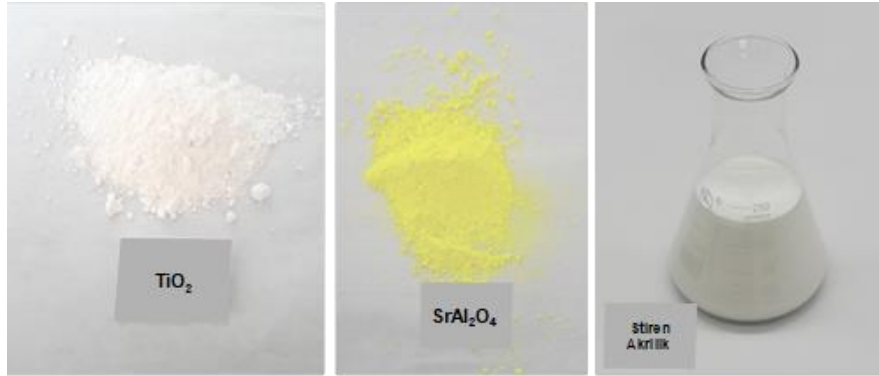
Çimento esaslı fotolüminesan harç tasarımlarında ışık yayan pigment bileşimi, SrAl₂O₄, TiO₂ ve reçine malzemelerin farklı oranlarda harmanlanmasıyla kompozit formda bir pigment olarak elde edilmiştir. Fotolüminesan betonlarda TiO₂ ve reçinenin sıklıkla kullanıldığı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [7]. Çalışma kapsamında kullanılan SrAl₂O₄ (SrO·Al₂O₃) kimyasal formülüne sahip bir alüminat bileşiği olup, kokusuz ve soluk sarı renk tonunda fosforesans özellik gösteren monoklinik kristal bir toz olarak piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. Fosforesans pigmentler uygun bir katkı maddesi ile aktive edildiğinde, uzun süreli fosforesans kalıcılığı olan bir fotolüminesan fosfor görevi görürler. Genellikle teknik özellik olarak, gün içerisinde almış oldukları ışığı depolayarak karanlık ortamda soğurmuş oldukları ışığı parlayarak ve ışıdayarak ortama veren ve belirli bir süre ortamı aydınlatan özel olarak geliştirilmiş pigmentler olarak bilinmektedir [6, 8, 12, 17].

Tüm karışımlarda ışık yayan kompozit pigment bileşiminin hazırlanmasında SrAl₂O₄ kristal tozunu aktive etmek amacıyla rutil esaslı TiO₂ toz formda piyasa koşullarından temin edilerek aktivasyon katkı materyali olarak kullanılmıştır. Titanyum, bitkilerde ve hayvanlarda yaygın olarak bulunan yer kabuğundaki en yaygın elementlerden biridir. Titanyum doğal olarak oksijenle etkileşime girerek titanyum oksitler oluşturur. TiO₂ doğada farklı kristal yapılar halinde, maden olarak bulunabilen bir kimyasaldır. Doğada rutil, anatas ve brookit olmak üzere üç şekilde bulunur, ancak genellikle endüstriyel olarak anatas ve rutil formları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Maden olarak çıkarıldığında genelde siyahtır, ancak saf halde beyaz bir tozdur. Titanyum metalinin oksitlenmiş halidir ve kırılma indisi yüksektir. Bu yüzden boya yapımında, pigmentlerde kullanılır. Dünyadaki tüm pigmentlerin üçte ikisinde

kullanıldığı tahmin edilmektedir. TiO_2 rutilin kırılma indisi anatasa göre daha yüksektir. Anatasa göre daha sert yapıdadır. Bu nedenle TiO_2 rutil pigment olarak daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır [20-23].

Işık yayan kompozit pigment bileşiminin hazırlanmasında kullanılan bir diğer üçüncü bileşen, stiren akrilik esaslı kopolimer emülsiyon piyasa koşullarından temin edilerek pigment bağlayıcı materyali olarak kullanılmıştır. SAKE, stiren akrilik kopolimerin su bazlı bir dispersiyon emülsiyonudur. Stiren akrilik kopolimerleri, üstün pigment bağlama özelliklerinden dolayı iç ve dış cephe boyalarında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. İdeal parlaklık, film kuvveti, dayanıklılık ve deterjanlar tarafından çıkarılmaya karşı direnç, yüksek UV stabilitesi, suya ve alkalilere karşı yüksek direnç gösterirler. Stiren akrilik kopolimerleri, parlak boyaların ve zemin cilalarının önemli bir bileşeni olarak kabul edilmekle birlikte, çimento esaslı iç ve dış duvar kaplama malzemelerinin imalatında da kullanılabilir. Çalışma kapsamında viskoz sıvı formunda, az kokulu, beyaza yakın renkte, suda çözünebilir özellikte, yoğunluğu $1000-1100 \text{ kg/m}^3$ aralığında, vizkozitesi $5000-12000 \text{ cP}$ ve pH değeri 7-9 olan SAKE kullanılmıştır [24, 25].

DeneySEL çalışmalarda kullanılan $SrAl_2O_4$, rutil TiO_2 ve SAKE malzemelerin genel görünüşleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Titanyum Dioksit, Stronsiyum Alüminat ve Stiren Akrilik Kopolimer Emülsiyon Malzemelerin Genel Görünüşleri

Tüm harç karışımlarının hazırlanmasında karma işlemi normal şebeke suyu ile yapılmıştır.

2.2. Kompozit Pigment Bileşenlerin Hazırlanması

Çimento esaslı fotolüminesan harç karışımlarında ışık yayan pigment bileşimi için 6 farklı karışım oranında $SrAl_2O_4$, TiO_2 ve SAKE kompozit bileşimde ayrı ayrı hazırlanmış olup, çalışma kapsamında kullanılan karışım kombinasyonları Tablo 2’de verilmiştir. Kompozit Fotolüminesan Pigment (KFP) bileşiminde yer alan her bir malzeme, karışım tasarımında kullanılan çimentonun (*tüm karışımlarda çimento oranı ağırlıkça %24 oranında sabit değer olarak uygulanmıştır*) ağırlıkça oranları nispetinde kullanılarak pigment versiyonları hazırlanmıştır. KFP hazırlamada öncelikle SAKE ağırlıkça %10 distile edilmiş bir su ile seyreltilmiş ve sonrasında rutil esaslı TiO_2 belirlenen miktarda bu seyreltilmiş emülsiyona ilave edilerek 10 dakika düşük devirli bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra, bu karışıma belirlenen miktarda toz formdaki $SrAl_2O_4$ ilave edilerek 20 dakika süreyle düşük devirli bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandığında emülsiyon şeklinde harç karışımlarında kullanılmak üzere KFP bileşimi hazır hale getirilmiş olup, uygulama için cam beherlerde etiketlenerek bekletilmiştir.

Tablo 2. Kompozit fotolüminesan pigment (KFP) bileşimleri (çimento ağırlığının % değeri olarak)

	Stronsiyum Alüminat (%)	Titanyum Dioksit (%)	Stiren Akrilik Kopolimer Emülsiyon (%)
KFP1	3	3	6
KFP2	5	3	6
KFP3	7	3	6
KFP4	3	4	6
KFP5	5	4	6
KFP6	7	4	6
KFP7	3	5	6
KFP8	5	5	6
KFP9	7	5	6

Tablo 2 irdelendiğinde görüldüğü üzere, KFP bileşimleri 3 ayrı grup olarak tasarlanmıştır. 1. grup KFP bileşimlerinde (KFP₁-KFP₃) %3 nispetinde TiO_2 kullanılmış olup, 2. ve 3. grup KFP bileşimlerinde sırasıyla (KFP₄-KFP₆) %4 nispetinde ve (KFP₇-KFP₉) %5 nispetinde TiO_2 kullanılmıştır. Bununla birlikte her bir grup KFP bileşiminde sırasıyla %3, %5 ve %7 $SrAl_2O_4$ kullanılmış olup, tüm KFP bileşimlerinde %6 nispetinde SAKE sabit

değer olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bu serilerin hazırlanmasında $SrAl_2O_4$ ve aktive edici bileşen olarak rutil esaslı TiO_2 oran değişimlerinin çimento esaslı harcın gerek fiziko-mekanik gerekse ışık yayma süreleri gibi özelliklerine ne ölçütlerde etki ettiğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2.3. Harç Tasarımları ve Numune Hazırlama

$SrAl_2O_4$ katkılı kompozit pigment bileşiminin çimento esaslı fotolüminesan harcın özelliklerine etkisinin analizi amacıyla 9 ayrı karışım tasarımı yapılmıştır. Çalışma kapsamında tasarılan karışım kombinasyonları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. ÇEFH test örneklerinin hazırlanmasında karışım kombinasyonları (ağırlıkça %)

Karışım	115			390			0-1			Stiren	
	OPC (%)	µm Mika (%)	µm Mika (%)	mm Kuvars (%)	Selüloz (%)	KFP (%)	TiO_2 (%)	$SrAl_2O_4$ (%)	Akrilik (%)	Su (%)	
M0	24,00	19,04	12,69	31,73	0,30	0	0,00	0,00	0,00	12,24	
M1	24,00	18,17	12,12	30,29	0,30	2,88	0,72	0,72	1,44	12,24	
M2	24,00	18,03	12,02	30,05	0,30	3,36	0,72	1,20	1,44	12,24	
M3	24,00	17,89	11,92	29,81	0,30	3,84	0,72	1,68	1,44	12,24	
M4	24,00	18,10	12,07	30,17	0,30	3,12	0,96	0,72	1,44	12,24	
M5	24,00	17,96	11,97	29,93	0,30	3,60	0,96	1,20	1,44	12,24	
M6	24,00	17,81	11,88	29,69	0,30	4,08	0,96	1,68	1,44	12,24	
M7	24,00	18,03	12,02	30,05	0,30	3,36	1,20	0,72	1,44	12,24	
M8	24,00	17,89	11,92	29,81	0,30	3,84	1,20	1,20	1,44	12,24	
M9	24,00	17,74	11,83	29,57	0,30	4,32	1,20	1,68	1,44	12,24	

ÇEFH karışımların hazırlanmasında öncelikle KFP bileşimi içermeyen ve M0 olarak kodlanmış bir kontrol karışımı tasarlanmıştır. M0 kontrol karışımında ağırlıkça %24 oranında çimento ve %0,30 oranında selüloz malzeme kullanılmış olup, bu iki karışım bileşeni çalışma kapsamındaki diğer tüm karışım oranlarında da sabit değer olarak uygulanmıştır. Bununla birlikte, sırasıyla ağırlıkça %19,04 oranında 115 µm mika, %12,69 oranında 390 µm mika ve %31,73 oranında 0-1 mm kuvars tozu agrega+dolgu bileşenleri olarak kullanılmıştır. Bu karışım tasarımında agrega+dolgu bileşenlerin toplam değerinde ağırlıkça %30'u 115 µm mika, ağırlıkça 20'si 390 µm mika ve ağırlıkça %50'si ise 0-1 mm kuvars tozu olarak tasarlanmış olup, bu oransal dağılım diğer tüm karışımlar da korunmuştur. Tüm karışımlarda su/çimento (S/Ç) oranı 0,51 olarak sabit tutulmuştur. Karışım tasarımlarında M1 – M3 serisi 1. grup KFP bileşimlerin yer aldığı, M4 – M6 serisi 2. grup KFP bileşimlerin ve

M7 – M7 serisi ise 3. grup KFP bileşimlerin yer aldığı karışım oranlarını temsil etmektedir. Çalışma kapsamında kontrol örneği de dahil olmak üzere toplamda 10 ayrı seri ÇEFH test örnekleri hazırlanmıştır.

ÇEFH test örneklerinin hazırlanmasında öncelikle agrega+dolgu malzemeleri ve selüloz belirlenen malzeme oranlarında toz formda karıştırıcı mikserin karma kabında homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmış ve daha sonra karışımdaki çimento miktarı ilave edilerek ortalama 5 dakika düşük devirde karıştırma ile toz formda homojen bir karışım elde edilmiştir. Daha sonra önceden solüsyon şekilde hazırlanmış olan KFP bileşimi karma kabına ilave edilerek 3 dakika kadar ön bir karıştırma yapılmıştır. Sonrasında karışımın S/Ç oranı 0,51 olacak şekilde karma kabına su ilave edilerek düşük devirde karıştırma işlemine ortalama 5 dakika süreyle devam edilerek homojen yaş karışımlar elde edilmiştir. Homojen taze yaş harç 7 dakika kadar dinlendirildikten sonra tekrar 40 saniyelik ilave karışım işlemi uygulanmış olup, bu işlemden sonra yaş harç test örneklerin kalıplanması için uygun forma getirilmiştir. Tüm test örnekleri karıştırma işlemi sonrası 15 dakikalık bir sürede ortalama 20°C sıcaklığa sahip bir ortamda kalıplanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen test örnekleri ilk 24 saat boyunca olumsuz dış koşullardan korunmuş olup, hızlı buharlaştırma gibi işlemler için özel bazı uygulamalar yapılmamıştır [26].

Taze harç numunelerinin yayılma özelliği TS EN 1015-3 [27] standardına uygun olarak yayılma tablası aparatı kullanılarak belirlenmiştir. Test örnekleri için hazırlanan her bir karışımdan 12 adet olmak üzere 50x50x50 mm³ boyutlarında toplamda 120 adet küp numune dökülmüştür. Bununla birlikte KFP bileşiminin ışık yayma potansiyeli özelliklerini incelemek amacıyla ortalama çapı 4 cm, yüksekliği 3 cm olan silindirik formda olan ve her bir karışımdan 6 adet test örnekleri silikon kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Test örneklerinin kalıplama işleminden 24 saat sonra sertleşmiş numuneler kalıplardan çıkartılmış ve laboratuvar ortamında oda sıcaklığı hava koşullarında test tarihinden bir gün öncesine kadar üzerleri ıslak ve nemli bir tekstil örtü altında muhafaza edilerek atmosfer ortam koşullarında kür işlemi uygulanmıştır. Kürleme işlemi tamamlanan test örnekleri muhafaza edildikleri ortamdan alınarak değişmez kütle değerine ulaşana kadar havalandırılmalı bir etüv içerisinde kurutma işlemine tabi tutularak, sertleşmiş birim hacim kütle değerleri belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlardan 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanım analizleri ASTM C109 (2017) standardında öngörülen prensiplere göre yapılmıştır [28]. Her bir kür süresinde yapılan basınç dayanımı için her seride 3'er numune üzerinden ortalama değer alınmıştır. ASTM C642

(2017) standardına göre tüm test örneklerin yoğunluk ve gözeneklilik değerleri analiz edilmiştir [29]. 50 mm boyutlu küp test örnekleri kullanılarak, ortalama 72 saat süreyle su içerisinde bırakılarak doygun hale getirilmiş test örneklerinin atmosfer ortamında kütlece su emme değerleri incelenmiştir. Su emme değerleri, her bir seri için 28 gün kürlenmiş 3 adet numune üzerinde test edilmiştir.

Ayrıca yapılan basit maliyet hesaplarında, güncel malzeme birim bedelleri değerlendirildiğinde, çalışma kapsamındaki stronsiyum alüminat katkı kompozit pigment bileşimli fotolüminesan harç karışımlarına ait yaklaşık maliyet değerleri (1 USD = 26.8 TL baz alınarak) M0 karışımı için 0,17 USD/kg olarak belirlenmiştir. M1-M9 karışımlarının maliyet değerleri ise karışımlarda yer alan kompozit pigment bileşenlerin değişimine göre ortalama 0,40 USD/kg – 0,60 USD/kg aralığında değişim göstermektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Farklı alternatif karışım tasarımlarında hazırlanan ÇEFH test örneklerinin bazı teknik bulguları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. ÇEFH test örneklerinin analiz bulguları

Karışım	KFP Bileşimi	Yaş Harç Yoğunluğu (kg/m ³)	Sertleşmiş Harç Yoğunluğu (28. gün) (kg/m ³)	Yayıllma Değeri (mm)	Gözeneklilik Oranı (%)	Su Emme Oranı (%)
M0	-	1178	1020	154	4,89	5,22
M1	KFP1	1114	998	158	5,79	5,18
M2	KFP2	1115	996	156	5,96	5,20
M3	KFP3	1113	994	153	6,08	5,24
M4	KFP4	1111	997	159	5,80	5,13
M5	KFP5	1112	994	157	5,92	5,15
M6	KFP6	1115	992	155	6,12	5,21
M7	KFP7	1109	995	162	5,93	4,97
M8	KFP8	1110	993	160	5,98	5,04
M9	KFP9	1112	991	158	6,15	5,09

3.1. Harç Karışımlarının Özellikleri

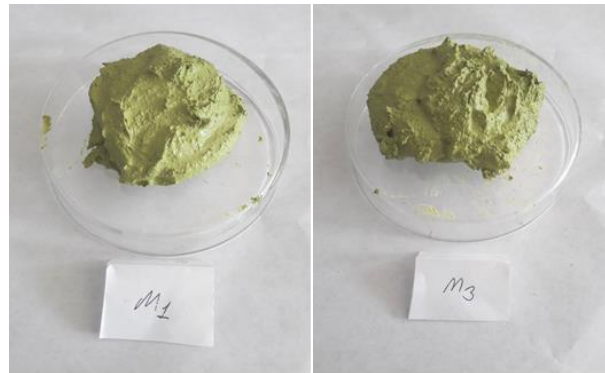
Çimento esaslı fotolüminesan harcı testleri için öncelikle bileşiminde SrAl₂O₄ katkı kompozit pigment bileşimi yer almayan M0 kodlu kontrol test örneği amaçlı hazırlanan harcın

karma işlemi sonrası yaş harç yığın yoğunluk değeri ortalama 1178 kg/m^3 ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç yoğunluğu %15,48 nem atımıyla birlikte ortalama 1020 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kontrol harcının yaş formunda genel görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. M0 Karışımına Ait Taze Yaş Harç Formu Görünümü

Karışım tasarımlarında M1 – M3 serisi 1. grup KFP bileşimlerin yer aldığı test örneklerinin karma işlemi sonrası yaş harç yığın yoğunluk değerleri ortalama $1113 - 1115 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim göstermekte ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç yoğunluğu değerleri ise ortalama %11,62- %12,03 nem atımlarıyla birlikte $994 - 998 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bulgulardan görüldüğü üzere, KFP bileşimindeki SrAl_2O_4 oranı arttıkça yaş harcın priz süresinde kurumadaki nem atım miktarı görece artarak daha minimum bir oranda da olsa harcın birim hacim kütle değerinin düşmesine neden olmaktadır. M1 ve M3 harç karışımlarının yaş formdaki genel görünümleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. M1 ve M3 ÇEFH Test Örnekleri Karışımlarına Ait Taze Yaş Harç Formu Görünümleri

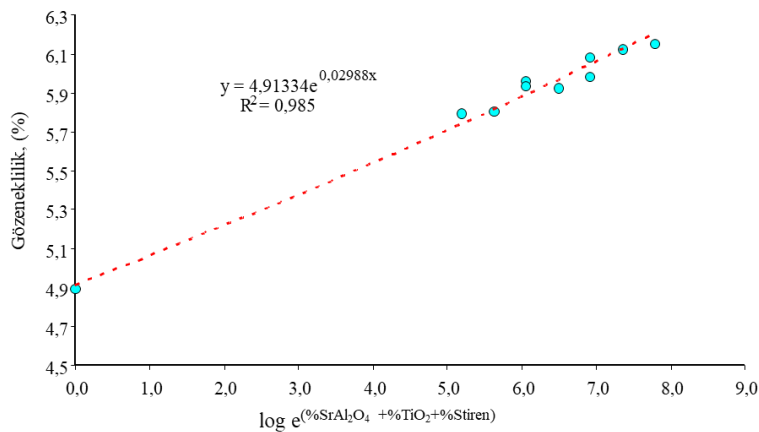
Karışım tasarımlarında M4 – M6 serisi 2. grup KFP bileşimlerin yer aldığı test örneklerinin karma işlemi sonrası yaş harç yığın yoğunluk değerleri ise ortalama 1111 - 1115 kg/m³ aralığında değişim göstermekte ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç yoğunluğu değerleri ise ortalama %11,47- %12,38 nem atımlarıyla birlikte 992 - 997 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde M7 – M9 serisi 3. grup KFP bileşimlerin yer aldığı test örneklerinin karma işlemi sonrası yaş harç yığın yoğunluk değerleri ise ortalama 1109 - 1112 kg/m³ aralığında değişim göstermekte ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç yoğunluğu değerleri ise ortalama %11,42- %12,23 nem atımlarıyla birlikte 991 - 995 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu bulgulardan incelendiğinde, KFP bileşimindeki TiO₂ oranı arttıkça, elde edilen harcın kuruma sonrası yüzeyinde oluşan titanyum etkili film tabakası katman kalınlığındaki artış sebebiyle kuruma sürecinde görece daha düşük düzeyde nem atımı özelliği sergilediği gözlenmiştir. M6 ve M9 harç karışımlarının yaş formdaki genel görünümleri sembolik olarak Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. M6 ve M9 ÇEFH Test Örnekleri Karışımlarına Ait Taze Yaş Harç Formu Görünümleri

ÇEFH karışımlarında kontrol harcının yayılma tablası deneyinde yayılma değeri ortalama 154 mm olarak belirlenmiştir. KFP bileşimli ÇEFH karışımların yaş harç formundaki yayılma değerleri ise 153 mm – 162 mm aralığında değişim göstermiştir. Genel bir eğilim olarak her bir grup serideki SrAl₂O₄ oranı arttıkça, harcın yayılma değerinin düştüğü görülmekle birlikte TiO₂ oran artışının ise yayılma değerini arttırdığı görülmüştür. Diğer bir deyişle, karışımda SrAl₂O₄ varlığı, sabit karma suyu oranında su tutucu bir görev üstlenerek harcın kıvamını düşürücü bir etki gösterirken, TiO₂ varlığının ise sabit karma suyu oranında su azaltıcı ve kısmi bir akışkanlaştırıcı rol üstlendiği görülmüştür.

Tablo 4'ten görüldüğü üzere, kontrol harcı kapalı ve açık gözeneklerin oluşturduğu toplam gözeneklilik oranı %4,89 olarak belirlenmiştir. ÇEFH karışımlarında KFP bileşimleri ilave edildiğinde harcın matris yapısında gözeneklilik oranının da değiştiği görülmektedir. Özellikle KFP bileşiminde her bir grupta yer alan serilerde, pigment karışımındaki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, harcın gözeneklilik oranının da arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, üç grup seri arasında pigment karışımındaki TiO_2 oranı arttıkça, harcın gözeneklilik oranının da arttığı belirlenmiştir. Örneğin 1. grup seride (M1-M3) $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişim gösterdiğinde, sertleşmiş harcın matris yapısındaki gözeneklilik oranı kontrol harcına göre %24,34 artış göstererek daha gözenekli bir form oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer bir şekilde, aynı seri içerisinde $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişiminde sırasıyla gözeneklilik oran değişimi kontrol harcına göre %18,40, %21,88 ve %24,34'tür. KFP bileşimlerinde harcın gözeneklilik oranına etken bir diğer faktörün TiO_2 oranındaki artış miktarı olduğu belirlenmiştir. Örneğin her üç grup KFP serisinde %5 $SrAl_2O_4$ oranlı harç örneklerinin kontrol harcına göre gözeneklilik oran değişimi sırasıyla %21,88, %21,06 ve %22,29'dur. Genel bir eğilim olarak, sertleşmiş ÇEFH harcın gözeneklilik oranı yoğunluk değerinin bir fonksiyonu olarak da değişmektedir. Sertleşmiş harcın yoğunluk değeri azaldıkça, matris yapının gözeneklilik oranının artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgulardaki sayısal değişimlerin detayda irdelenmesi amacıyla, KFP bileşimlerindeki 3 ana malzemenin birbiriyle etkileşimi ve harcın matris yapıya etkisini temsil etmesi bağlamında, harç örneklerinin toplam karışımındaki $SrAl_2O_4$, TiO_2 ve Stiren akrilik emülsiyon oranlarının toplamı ile harcın toplam gözeneklilik değişimi arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 6'da verilmiştir. Grafiksel analizden de görüldüğü üzere, karışım tasarımında KFP bileşimleri miktarı arttıkça, sertleşmiş harcın toplam gözeneklilik oranı artmaktadır.



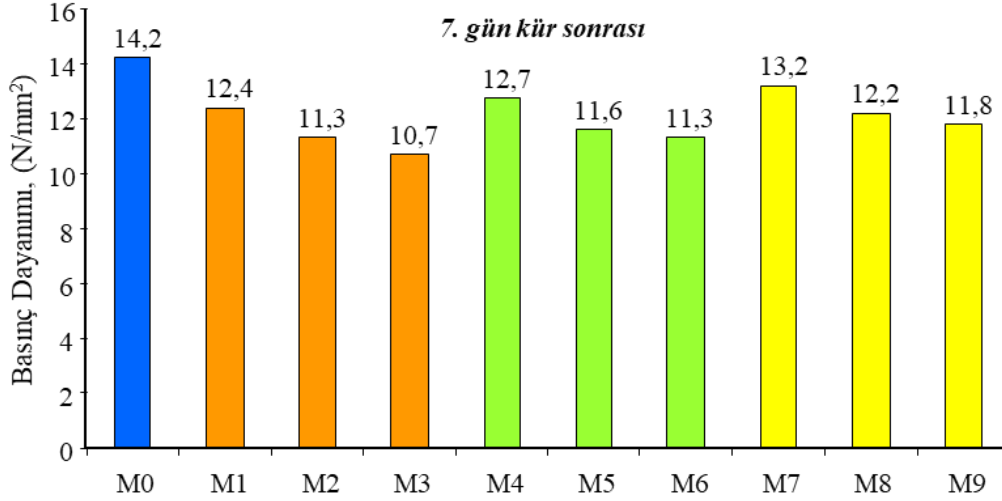
Şekil 6. KFP Bileşim Malzeme Oranları – Harcın Gözeneklilik Oranı İlişkisi

Çalışma kapsamında fiziksel bir özellik olarak incelenen bir diğer parametre ise sertleşmiş harcın atmosfer basıncı altında su emme değeridir. Elde edilen teknik bulgulara göre (Tablo 4), ÇEFH karışımlarına KFP bileşimleri ilave edildiğinde harcın su emme değerlerini azaltıcı bir rol oynadığı belirlenmiştir. Kontrol harcının su emme değeri %5,22 olup, diğer tüm KFP bileşenli ÇEFH karışımlarının su emme oranları %4,97 - %5,24 aralığında değişim göstermiştir. Özellikle KFP bileşiminde her bir grupta yer alan serilerde, pigment karışımındaki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, minimal düzeyde kabul edilebilecek oranlarda harcın su emme oranlarında artış olmasına rağmen, genel eğilim kontrol harcına göre daha düşük su emme oranına sahip olunmasıdır. Örneğin 2. grup seride (M4-M6) $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişim gösterdiğinde, sertleşmiş harcın su emme oranı kontrol harcına göre %5,22'lik değerden sırasıyla %5,13 ve %5,21 değerine değişmiştir. Harç gözenekliliğinde olduğu gibi, KFP bileşimlerinde harcın su emme oranına etken bir diğer faktörün TiO_2 oranındaki artış miktarı olduğu belirlenmiştir. Örneğin her üç grup KFP serisinde %5 $SrAl_2O_4$ oranlı harç örneklerinin kontrol harcına göre su emme oran değişimi %5,22'den sırasıyla %5,20, %5,15 ve %5,04'tür. Genel bir eğilim olarak, sertleşmiş ÇEFH harcın su emme oranı gözeneklilik değerinin bir fonksiyonu olarak da değişmektedir. Sertleşmiş harcın gözeneklilik değeri arttıkça, matris yapının su emme oranının düştüğü belirlenmiştir. Su emme oranına etkileyen faktörler detayda irdelendiğinde, $SrAl_2O_4$ miktarı, matris yapıda taneler arası bağ dokuda küçük kılcal boşlukların oluşmasına sebebiyet verdiği için yapıyı kısmen daha gözenekli bir forma büründürmekte ve buna bağlı olarak da su emme oranında kısmi artışlar oluşmaktadır. Ancak, KFP bileşimde TiO_2 miktarı arttıkça, matris yapıda ve test örneğinin kuruma yüzeyinde oluşan titanyum film tabakası, kısmi bir su geçirimsizlik özelliği kazanmakta olup, harç örneklerinin daha düşük su emme özelliğine sahip olmasını sağlamaktadır. TiO_2 miktarına ve karışımda kullanılan SAKE bağlı oluşan film tabakası kalınlığı arttıkça, bu etkileşimin daha da belirginleştiği gözlemlenmiştir.

3.2. Basınç Dayanımı Özelliği

Bileşiminde $SrAl_2O_4$ katkılı kompozit pigment içermeyen çimento esaslı fotolüminesan harcının M0 kodlu kontrol test örneklerine ait basınç dayanım değerleri kür sürelerine göre 7. gün sonrası basınç dayanımı ortalama $14,2 N/mm^2$, 14. gün sonrası basınç dayanımı ortalama $18,1 N/mm^2$ ve 28. gün sonrası basınç dayanımı ise ortalama $22,3 N/mm^2$ olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında KFP katkılı her üç grup seri için hazırlanan test

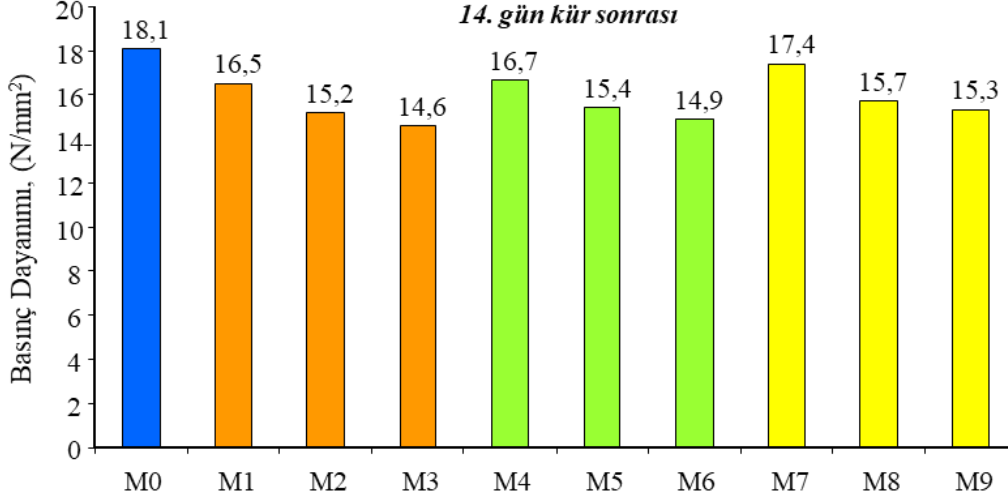
örneklerinin 7, 14 ve 28.gün kür süreleri sonrası basınç dayanım değerleri değişimi Şekil 7 – Şekil 9’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



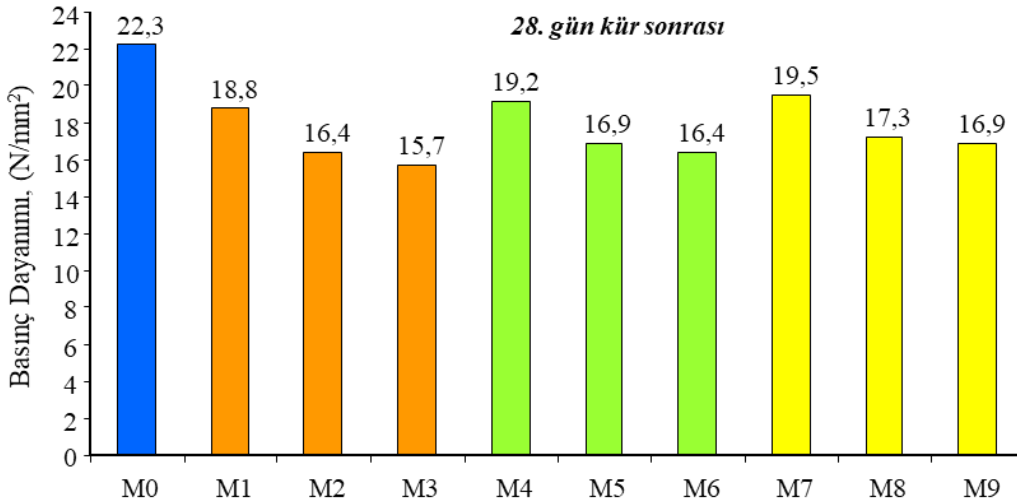
Şekil 7. ÇEFH Test Örneklerinin Basınç Dayanım Analiz Bulguları (7. Gün Kür Sonrası)

Şekil 7 irdelendiğinde görüldüğü üzere, KFP bileşiminde her bir grupta yer alan serilerde, pigment karışımındaki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, harcın 7 gün kür sonrası basınç dayanımı değerleri düşmektedir. Bununla birlikte, üç grup seri arasında pigment karışımındaki TiO_2 oranı arttıkça da harcın basınç dayanımı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Örneğin 1. grup seride (M1-M3) $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişim gösterdiğinde, 7 gün kür sonrası sertleşmiş harcın basınç dayanım değeri kontrol harcına göre %24,65 oranında düşüş göstererek dayanım kaybetmektedir. Benzer bir şekilde, diğer iki grup seri içerisinde $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişiminde sırasıyla dayanım değerleri değişimi kontrol harcına göre %20,42 ve %16,90'dır. Bu bulgular, KFP bileşimindeki $SrAl_2O_4$ ve TiO_2 oranlarının çimento esaslı fotolüminesan harcın dayanım değerlerinin değişiminde etken bir rol aldığını göstermektedir. KFP bileşimindeki $SrAl_2O_4$ oranı artışı basınç dayanım değerinin azalmasına, TiO_2 oranının artışı ise basınç dayanım değerinin iyileşmesine olanak sağlamaktadır. Ancak, her bir durumda çimento esaslı fotolüminesan harcın karışımında KFP bileşiminin yer alması, harcın basınç dayanım değerini kontrol harcına göre azalmasına neden olmaktadır. Çimento esaslı fotolüminesan harcın hidrasyonunda matris yapıda $SrAl_2O_4$ varlığı bağ dokunun zayıflamasına ve $SrAl_2O_4$ oranına bağlı olarak gelişen gözeneklilik artışının da dayanım değerini zayıflattığı düşünülmüştür. Kontrol örneği de dahil olmak üzere tüm ÇEFH test örneklerinin 7. gün kür sonrası basınç dayanım değerleri, TS EN 998-1 standardında [30] 28 gün kür sonrası için öngörülen CS IV

(≥ 6 N/mm²) değerini kolaylıkla sağladığı ve yüksek dayanımlı harç kategorisinde yer alabildiğini göstermektedir.



Şekil 8. ÇEFH Test Örneklerinin Basınç Dayanım Analiz Bulguları (14. Gün Kür Sonrası)



Şekil 9. ÇEFH Test Örneklerinin Basınç Dayanım Analiz Bulguları (28. Gün Kür Sonrası)

Şekil 8 ve Şekil 9 irdelendiğinde de görüldüğü üzere, 7 gün kür sonrası tüm test örneklerinin dayanım değişim karakteristiği benzer şekilde 14 ve 28. gün kür sonrası dönemde de sergilendiği açıkça görülmektedir. ÇEFH karışım tasarımında KFP bileşiminin yer alması, test örneklerinin kür süresine bağlı dayanım artışına dezavantaj oluşturan bir etki göstermemiştir. Kür süresinin 28 gün boyunca devam eden sürecinde, tüm test örneklerinin

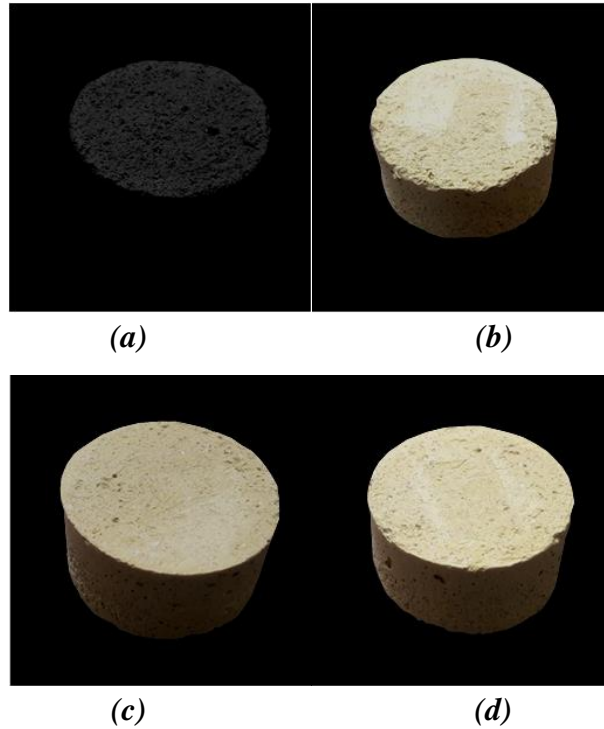
dayanım kazandığı görülmektedir. 14 günlük kür süresinde KFP bileşenli ÇEFH test örneklerinin kontrol harcına göre basınç dayanım kaybı her bir grup için ayrı ayrı sırasıyla $SrAl_2O_4$ oran değişimine bağlı şu şekilde elde edilmiştir: 1. grup seride (M1-M3) %8,84, %16,02 ve %19,34'tür. 2. grup seride (M4-M6) %7,73, %14,92 ve %17,68'dir. 3. grup seride ise (M7-M9) %3,87, %13,26 ve %15,47'dir. Benzer bulgu 28 günlük kür süresinde KFP bileşenli ÇEFH test örneklerinin kontrol harcına göre basınç dayanım kaybı her bir grup için ayrı ayrı sırasıyla $SrAl_2O_4$ oran değişimine bağlı olarak; 1. grup seride (M1-M3) %15,70, %26,46 ve %29,60'tır. 2. grup seride (M4-M6) %13,90, %24,22 ve %26,46'dır. 3. grup seride ise (M7-M9) %12,56, %22,42 ve %24,22'dir. Bu bulgular bağlamında genel bir eğilim olarak KFP bileşimindeki $SrAl_2O_4$ ve TiO_2 oranlarının çimento esaslı fotolüminesan harcın hidratasyon süreci devam ettikçe basınç dayanım değerlerinin değişimindeki etkinliğini koruduğu görülmektedir. 7 gün süreli kür dönemi için elde edilen bulgulara paralel olarak, KFP bileşimindeki $SrAl_2O_4$ oranı artışı basınç dayanım değerinin azalmasına, TiO_2 oranının artışı ise basınç dayanım değerinin iyileşmesine benzer şekilde olanak sağlamıştır. Ancak, her bir durumda çimento esaslı fotolüminesan harcın karışımında KFP bileşiminin yer alması, harcın basınç dayanım değerini kontrol harcına göre azalmasına neden olmuştur. Çimento esaslı fotolüminesan harcın 28 günlük kür dönemindeki hidratasyonunda matris yapıda $SrAl_2O_4$ varlığı bağ dokunun giderek daha fazla zayıflatmasına ve $SrAl_2O_4$ oranına bağlı olarak dayanım değerinin azalmasına sebep olmuştur. Solís ve ark. [31] benzer sonucu elde etmiş ve çimentolu ürünlerin hidratasyonu sırasında $SrAl_2O_4$ varlığında CSH üretiminin azaldığını öne sürmüşlerdir. Ancak, bu çalışma kapsamında üretilen ve kontrol örneği de dahil olmak üzere tüm ÇEFH test örneklerinin 28. gün kür sonrası basınç dayanım değerleri, TS EN 998-1 standardında [30] öngörülen CS IV ($\geq 6 \text{ N/mm}^2$) değerini yaklaşık 3 katlık bir değerle sağladığı ve yüksek dayanımlı harç kategorisinde yer aldığı belirlenmiştir.

3.3. Işık Yayma – Parlaklık Özellikleri

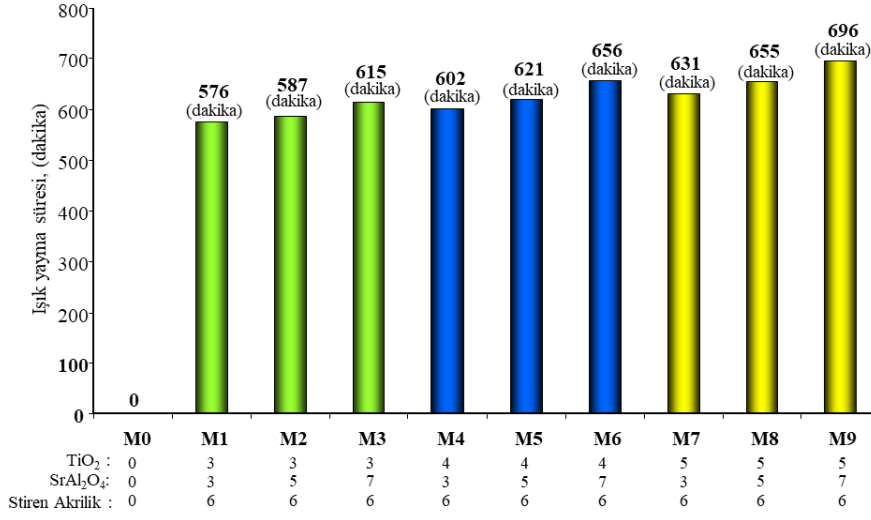
Çimento esaslı fotolüminesan harcın ışık yayma ve parlaklık performansının belirlenebilmesi için hazırlanan test örneklerinin bir ışık kaynağı tarafından uyarılması gerekmektedir. Bunun için belirli süre ve periyotta, eşdeğer bir ortamda test örneklerinin ışık kaynağı bulunan bir ortamda tutulması ve ışık soğurmasının sağlanması gerekir. Bu ortamın sağlanması amacıyla çalışma kapsamında hazırlanan tüm ÇEFH test örnekleri açık bir alanda ve ışığa bütünüyle maruz kalabilecek bir pozisyonda 24 saatlik zaman diliminde saat 06:00'dan saat 19:30'a kadar gün ışığında bırakılmış olup, bu süre sonunda ışık soğurmuş

örnekler daha sonra dışarıdan ışık sızdırmayan karanlık bir odaya alınarak örneklerin ışık yayma-parlaklık durumları süre olarak kontrol edilerek kaydedilmiştir. Bu basitleştirilmiş değerlendirme yöntemi, test örneklerinin parlaklığını gözlemlemek amacıyla temel ölçme metodu olarak uygulanmıştır. Işık yayan beton örnekleri üzerinde benzer uygulama ve ölçme metodolojisi Sundari ve Shriswarnambigai [7] tarafından yapılan analizlerde de uygulanmıştır.

Kontrol harcı (M0) karışımı da dahil olmak üzere çimento esaslı fotolüminesan silindirik geometrik formda hazırlanmış tüm harç örneklerinin 24 saatlik zaman diliminde saat 06:00'dan saat 19:30'a kadar gün ışığına maruz kalması sonrası karanlık bir oda ortamında ışık yayma-parlaklık oluşturma özelliği saat cinsinden özenle incelenerek her bir test karışımı için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Test örneklerinin ışık yayma özelliklerinin karanlık oda ortamında ışık yayma performanslarına sembolik örnekler Şekil 10'da gösterilmiştir. Elde edilen ışık yayma süresi bulguları Şekil 11'de grafiksel olarak verilmiştir.

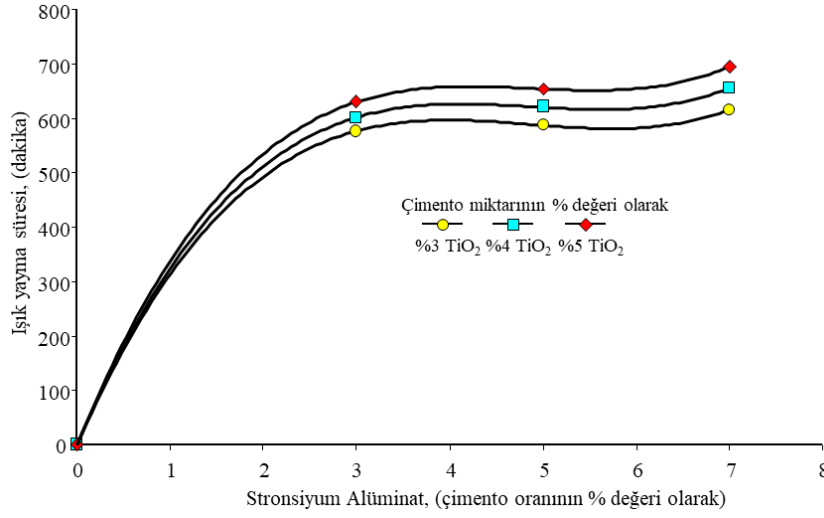


Şekil 10. (a) M0, (b) M1, (c) M5 ve (d) M9 ÇEFH Test Örneklerinin Işık Yayma Süreleri Analizi Sembolik Görünümü



Şekil 11. Çimento Miktarına Oranla KFP Bileşenli ÇEFH Test Örneklerinin Işık Yayma Süreleri Analizi

KFP bileşimi içermeyen kontrol amaçlı tasarlanan ÇEFH test örneklerinin yaklaşık 13 saat boyunca gün ışığına maruz kalmalarına rağmen, karanlık ortamda herhangi bir ışık yayma ve parlaklık özelliğinin oluşmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, farklı oranlarda ve kompozisyonlarda KFP bileşimi içeren ÇEFH test örneklerinin yaklaşık 13 saat boyunca gün ışığına maruz kaldıktan sonra, karanlık ortamda ışık yayma etkinliği sergiledikleri gözlenmiş olup, elde edilen ışık yayma-parlaklık sürelerinin 576 dakika – 696 dakika aralığında değiştiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Naeem ve ark. [32] stronsiyum alüminat öropiyum ve disprosyum dopingi katkılı harçların maksimum 10 saate kadar lüminesans etkisini verebildiğini tespit etmişlerdir. Test örneklerinde 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç örneklerinin KFP bileşimine bağlı ışık yayma süreleri, pigment kombinasyonunda yer alan SrAl₂O₄ ve TiO₂ miktarına göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle pigment kombinasyonunun SrAl₂O₄ içeriği ışık yayma süresine en etken faktör olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkinin daha detay irdelenebilmesi amacıyla test örneklerinin SrAl₂O₄ miktarına bağlı ışık yayma süreleri grafiksel olarak irdelenmiş olup, Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. SrAl₂O₄ Oranı – Işık Yayma Süresi İlişkisi

Şekil 12’de gösterilen grafik, KFP bileşiminde sabit değer olarak kullanılmış olan %6 SAKE (çimento yüzdesi) katkılı karışımların ışık yayma süreleri analizini göstermektedir. Sabit oranda SAKE (%6) kullanım oranında hazırlanan pigment kombinasyonunda pigment bileşiminde kullanılan SrAl₂O₄ ve TiO₂ miktarının tüm test örneklerinin ışık yayma sürelerinin karşılaştırmalı olarak irdelendiğinde, SrAl₂O₄ yüzdesi arttıkça sertleşmiş harç örneklerinin ışık yayma süreleri artmaktadır. Bununla birlikte, ışık yayan pigment kompozisyonundaki TiO₂ oranı arttıkça, pigment bileşimindeki TiO₂ oranının ışık yaymadaki etkisinin daha da iyileştiği görülmüştür. Örneğin; %3 SrAl₂O₄ karışım oranlı pigmentin bileşiminde TiO₂ oranı %3’ten %4’e arttığında test örneklerinin ışık yayma süresinde %4.51’lik bir artış görülmüştür. Benzer şekilde TiO₂ oranı %4’ten %5’e arttığında ise test örneklerinin ışık yayma süresinde %9.55’lik bir artış görülmüştür. Bu artışın sebebi, pigment bileşimindeki TiO₂’nin harcın sertleşmesi süreci sonrasında harç yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturarak, gün içerisinde SrAl₂O₄’ın soğurduğu ışık miktarını görece daha uzun bir süre ışığa yapmasına olanak sağlaması olarak yorumlanmıştır. Benzer etkileşim, test örneklerindeki SrAl₂O₄ miktarı arttıkça daha da belirginleşmiştir. %5 ve %7 SrAl₂O₄ oranlı pigment bileşiminde TiO₂ oranları %3’ten %4 ve %3’ten %5’e artırıldığında harcın ışık yayma sürelerindeki değişim sırasıyla %5,79, %11,58, %6,67 ve %13,17 olarak belirlenmiştir. Bu test bulgularından elde edilen genel eğilim, çimento esaslı fotolüminesan harcın ışık yayma ve parlaklık performansının daha da iyileşmesi için karışım bileşimindeki SrAl₂O₄ miktarının artırılması önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, harcın matris yapısında ışık yaymada ışığın taşınımı ve/veya

parlaklığının daha belirginleşmesini sağlamak amacıyla karışımda ilave bir katkı materyali olarak fiber optik lifler takviye elemanı olarak düşünülebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, $SrAl_2O_4$ pigment katkıli fotolüminesan harçlar üretilmiştir. Bu harçların fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Ayrıca, harçların fotolüminesans özelliklerini tespit etmek amacıyla, harçların karanlık ortamda ne kadar süre boyunca ışık yaydıkları gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre:

1. KFP bileşimindeki TiO_2 oranı arttıkça, elde edilen harcın kuruma sonrası yüzeyinde oluşan titanyum etkili film tabakası katman kalınlığındaki artış sebebiyle kuruma sürecinde görece daha düşük düzeyde nem atımı özelliği sergilediği gözlenmiştir.
2. Genel bir eğilim olarak her bir grup serideki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, harcın yayılma değerinin düştüğü görülmekle birlikte TiO_2 oran artışının ise yayılma değerini arttırdığı görülmüştür.
3. Özellikle KFP bileşiminde her bir grupta yer alan serilerde, pigment karışımındaki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, harcın gözeneklilik oranının da arttığı belirlenmiştir. Örneğin, 1. Grup KFP'li harçlarda, $SrAl_2O_4$ oranı %3'ten %7 oranına değişiminde sırasıyla gözeneklilik oran değişimi kontrol harcına göre %18,40, %21,88 ve %24,34'tür.
4. ÇEFH karışımlarına KFP bileşimleri ilave edildiğinde harcın su emme değerlerini azaltıcı bir rol oynadığı belirlenmiştir. Kontrol harcının su emme değeri %5,22 olup, diğer tüm KFP bileşenli ÇEFH karışımlarının su emme oranları %4,97 - %5,24 aralığında değişim göstermiştir. Özellikle KFP bileşiminde her bir grupta yer alan serilerde, pigment karışımındaki $SrAl_2O_4$ oranı arttıkça, minimal düzeyde kabul edilebilecek oranlarda harcın su emme oranlarında artış olmasına rağmen, genel eğilim kontrol harcına göre daha düşük su emme oranına sahip olunmasıdır.
5. 28 günlük kür süresinde KFP bileşenli ÇEFH test örneklerinin kontrol harcına göre basınç dayanım kaybı her bir grup için ayrı ayrı sırasıyla $SrAl_2O_4$ oran değişimine bağlı şu şekilde elde edilmiştir: 1. grup seride (M1-M3) %15,70, %26,46 ve %29,60'dır. 2. grup seride (M4-M6) %13,90, %24,22 ve %26,46'dır.

6. Farklı oranlarda ve kompozisyonlarda KFP bileşimi içeren ÇEFH test örneklerinin yaklaşık 13 saat boyunca gün ışığına maruz kaldıktan sonra, karanlık ortamda ışık yayma etkinliği sergiledikleri gözlenmiş olup, elde edilen ışık yayma-parlaklık sürelerinin 576 dakika – 696 dakika aralığında değiştiği belirlenmiştir.

SrAl₂O₄ yüzdesi arttıkça sertleşmiş harç örneklerinin ışık yayma süreleri artmaktadır. Bununla birlikte, ışık yayan pigment kompozisyonundaki TiO₂ oranı arttıkça, pigment komponentinin ışık yaymadaki etkisinin daha da iyileştiği görülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] M. Mageswari, A. R. Rinisha, and Y. Monisha, “Glowcrete: A Modern Phosphorescent Concrete,” *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, vol. 8, no. 4, pp. 213-218, Apr. 2021.
- [2] M. Kostic, and L. Djokic, “Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting,” *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1565–1572, Oct. 2009, DOI: 10.1016/j.energy.2009.06.056.
- [3] T. Subramani, R. Sathiyaraj, M. N. Suhail, M. Jestin, and T. S. Sreehari, “Transparent Concrete Concept By Replacing Fine Aggregate Of Waste Glass By Using Admixture In Optical Fibre,” *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, vol. 7, no. 2, pp. 108-115, Apr. 2018.
- [4] X. Yu, C. Zhou, X. He, Z. Peng, and S. Yang, “The influence of some processing conditions on luminescence of SrAl₂O₄:Eu²⁺ nanoparticles produced by combustion method,” *Materials Letters*, vol. 58, no. 6, pp. 1087– 1091, Feb. 2004, DOI: 10.1016/j.matlet.2003.08.022.
- [5] N. R. Nagdive, and S. D. Bhole, “To evaluate properties of translucent concrete/mortar & their panels,” *International Journal of Research in Engineering & Technology*, vol. 1, no. 7, pp. 23-30, Dec. 2013.
- [6] G. Ashok, B. Jose ravindraraj, S. Ramesh, and R. Ramkumar, “Perfomance Evaluation On Light Transmitting Concrete (Translucent Concrete),” *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 515-521, Mar. 2016.

- [7] S. Sundari, and A. Shriswarnambigai, “Experimental study on Luminescent Concrete,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 8, no. 6, pp. 4188-4196, 2021.
- [8] R. E. Rojas-Hernandez, F. Rubio-Marcos, A. Serrano, A. Del Campo, and J. F. Fernandez, “Precise tuning of the nanostructured surface leading to the luminescence enhancement in SrAl₂O₄ based core/shell structure,” *Scientific Reports*, vol. 7, no. 462, pp. 1-9, Mar. 2017, DOI: 10.1038/s41598-017-00541-w.
- [9] R. E. Rojas-Hernandez, M. A. Rodriguez, and J. F. Fernandez, “Role of the oxidizing agent to complete the synthesis of strontium aluminate based phosphors by the combustion method,” *RSC Adv.*, vol. 5, no. 4, pp. 3104–3112, 2015, DOI: 10.1039/C4RA10460A.
- [10] M. P. Anesh, S. K. H. Gulrez, A. Anis, H. Shaikh, M. E. A. Mohsin, and S. M. Al-Zahrani, “Developments in Eu⁺²-doped strontium aluminate and polymer/strontium aluminate composite,” *Advances in Polymer Technology*, vol. 33, no. S1, 21436(E1-E9), 2014, DOI: 10.1002/adv.21436.
- [11] M. Pagden, K. Ngahane, and M. S. R. Amin, “Changing the colour of night on urban streets - LED vs. part-night lighting system,” *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 69, no. 100692, Mar. 2020, DOI: 10.1016/j.seps.2019.02.007.
- [12] A. N. Bone, “Optimization of a Strontium Aluminate,” Oak Ridge National Lab. (ORNL), Oak Ridge, TN (United States), 2017. Available: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1376499>
- [13] Y. Karabulut, A. Canımoğlu, Z. Kotan, O. Akyüz, and E. Ekdal, “Luminescence of dysprosium doped strontium aluminate phosphors by codoping with manganese ion,” *J. Alloy. Compd.*, vol. 583, pp. 91–95, 2014, DOI: 10.1016/j.jallcom.2013.08.172.
- [14] H. Barghlame, and H. H. Gavvani, “Light Emitting Concrete Composition and Method of Synthesizing Light Emitting Concrete Structure,” U.S. Patent US20170029696A1, Feb., 2, 2017.
- [15] A. Wiese, T. Washington, B. Tao, and J. Weiss, “Assessing the Performance of Glow in the Dark Concrete,” Article in *Transportation Research Record Journal of the*

- Transportation Research Board, vol. 2508, no. 1, pp. 31-38, 2015, DOI: 10.3141/2508-04.
- [16] M. Saleem, and N. I. A. Blaisi, “Luminescent concrete composition and product,” U.S. Patent, US20200109089A1, Apr., 9, 2020.
<https://patents.google.com/patent/US20200109089A1/en>
- [17] G. Dipika, S. Kaaviya, S. Kavitha Karthikeyan, and S. Indhumathi, “Exploratory Study On Photo Luminescence Induced Concrete,” International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), vol. 10, no. 3, pp. 622–628, 2019.
- [18] Kaltun. (2023). SMW.115 (KM.01.M.0015) Mika Ürünü Teknik Föyü. [Online]. Available: <http://www.kaltun.com.cn/images/Dosyalar/8299a0e4.pdf>, Erişim Tarihi: 13.02.2023.
- [19] Kaltun. (2023). SMW.390 (KM.03.M.0090) Mika Ürünü Teknik Föyü. [Online]. Available: <http://www.kaltun.com.cn/images/Dosyalar/79ec5093.pdf>, Erişim Tarihi: 13.02.2023.
- [20] MikroTeknik. (2023). TiO₂ Rutil Ürünü Teknik Föyü. [Online]. Available: <http://www.mikroteknik.com.tr/urunler/titan-dioksit-rutil/> Erişim Tarihi: 13.02.2023.
- [21] N. Berik, “Possible Harmfull Effects of Titanium Dioxide and Nano Titanium Dioxide Use on Aquatic Products,” COMU Journal of Marine Science and Fisheries, vol. 1, no. 2, pp. 59-65, 2018.
- [22] A. J. Haider, Z. N. Jameel, and I. H. M. Al-Hussaini, “Review on: Titanium diokside Applications,” Enrgy. Proced., vol. 157, pp. 17–29, Jan. 2019, DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.159.
- [23] L. M. Anaya-Esparza, Z. Villagrán-de la Mora, J. M. Ruvalcaba-Gómez, R. Romero-Toledo, T. Sandoval-Contreras, S. Aguilera-Aguirre, E. Montalvo-González, and A. Pérez-Larios, “Use of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles as Reinforcement Agent of Polysaccharide-Based Materials,” Processes, vol. 8, no. 11, pp. 1395, 2020, DOI: 10.3390/pr8111395.
- [24] T. Huang, and S. Gong, “Preparation of Emulsifier-Free Styrene–Acrylic Emulsion via Reverse Iodine Transfer Polymerization,” Polymers, vol. 13, no. 19, pp. 3348, 2021, DOI: 10.3390/polym13193348.

- [25] H. Zhang, H. Yang, J. Lu, J. Lang, and H. Gao, “Study on Stability and Stability Mechanism of Styrene-Acrylic Emulsion Prepared Using Nanocellulose Modified with Long-Chain Fatty Acids,” *Polymers*, vol. 11, no. 7, pp. 1131, 2019, DOI: 10.3390/polym11071131.
- [26] K. K. Boğazkesen, “PVA lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, TR.
- [27] Kâğır harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), TS EN 1015-3 , 2000.
- [28] Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM C109, 2020.
- [29] Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM C642, 2017.
- [30] Kâğır harcı - Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, TS EN 998-1, 2011.
- [31] C. G. Solís, M. Vallejo, M. Sosa, J. J. B. Alvarado, T. Fraga, G. Fajardo, and L. M. Torres-Martínez, “Development of Photoluminescence White Cement Based Materials and Physic-Mechanical Study,” *Research in Computing Science*, vol. 149, no. 2, pp. 61-70, 2020.
- [32] M. Naeem, S. Khan, I. Zekker, F. Subhan, M. Salman, ... and A. Khan, “Application of Strontium Aluminate Europium and Dysprosium Doped in Cement Mortar as a Luminescent Material for the Maintenance of Green Environments,” *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, vol. 27, no. 1, 04022032, 2023, DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000716.