



## Sosyal Ağ Verilerinin Kullanım Alanları Üzerine Kapsamlı Bir İnceleme

M. Sedef DEMİRCİ<sup>1,\*</sup>, Şeref SAĞIROĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

### Öz

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 25/08/2016  
Kabul: 28/02/2017

#### Anahtar Kelimeler

Sosyal Ağlar  
Sosyal Ağ Verisi  
Sosyal Veri  
Sosyal Ağ Verilerinin  
Kullanım Alanları

#### Keywords

Social Networks  
Social Networking Data  
Social Data  
Usage Fields of Social  
Networking Data

Bu makale çalışmasında sosyal ağlarda yapılan çalışmaları daha iyi anlamak ve gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutmak amacıyla, sosyal ağ verilerinin kullanım alanları ve amaçları üzerine kapsamlı bir araştırma yapılarak dünya literatüründe ilk kez bu alanlar sınıflandırılmış ve 11 farklı başlık altında toplanmıştır. Yapılan sınıflandırmada akademik çalışmalar ve hayata geçmiş projeler değerlendirilmiş ve bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutacak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın gerek endüstri gerekse üniversitelerin beraber çalışması ve sosyal ortamlardan daha iyi faydalanmasına katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

### A Comprehensive Review on Usage Fields of Social Networking Data

#### Abstract

In this study, usage fields of social networking data are classified as a first time in the world literature and handled in 11 different titles in order to understand existing studies that use social data better and also creating new horizons for further studies. In this context, academic and sectoral studies that use social data are examined and important assessments are made for enlightening the future study fields. Finally, it is evaluated that this study will contribute to new projects which will be conducted by university and industry together and also utilizing from social media more.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde insan hayatının her alanına girerek aktif bir rol oynamaya devam eden internet, birçok amaçla kullanıldığı gibi insanların sosyal ilişkiler kurmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Kişilerin internet üzerinden uzak mesafelerdeki aile bireyleri ve arkadaşlarıyla iletişim kurma, ilişkilerini koruma ve güçlendirme ve sosyal ilişkilerini çevrimiçi ortamda da yürütme gibi gereksinim ve teşebbüslerinden dolayı sosyal ağ kavramı ortaya çıkmıştır. “İnsanların kendilerini tanımlayarak oluşturdukları profil bilgilerinin internet ortamında paylaşılmasına imkân sağlayan, bireylerin çevrimiçi olarak birbirlerini tanımalarına ve sosyal ilişkiler kurmalarına izin veren ve aynı zamanda sisteme kayıtlı bulunan tüm kullanıcıların birbirlerinden haberdar olmasını sağlayan sanal topluluklar” olarak tanımlanan sosyal ağlar hayatımıza girerken birçok avantaj ve kolaylıkları da beraberinde getirmişlerdir [1]. Bu iletişim platformlarını kullanan kullanıcı sayısı arttıkça bu platformlar üzerinden yapılan paylaşımların içerdiği veriler de her geçen gün biraz daha önem kazanmaktadır. Konunun önemini daha iyi anlatmak için yapılan bu çalışmada Türkiye ve dünya çapında internet ve sosyal ağ kullanımına ilişkin 2014 ve 2015 istatistiksel verileri Tablo 1’de sunulmuştur.

\*İletişim yazarı, e-mail: sedefgunduz@gazi.edu.tr

**Tablo 1.** İnternet ve sosyal ağ kullanımına ait Türkiye ve Dünya istatistikleri [2] (Statistics about Internet and social media usage in Turkey and the World)

Yer	Türkiye		Dünya	
	2014	2015	2014	2015
<b>İnternet Kullanıcı Sayısı</b>	35.990.932	37.700.000+	2.484.915.152	3.010.000.000+
<b>Sosyal Medya Kullanıcı Sayısı</b>	36.000.000 +	40.000.000 +	1.856.680.860	2.078.000.000+

Tablodan da görüldüğü üzere sosyal ağ kullanımının internet kullanımına paralel olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca 2014 ve 2015 yılları arasında ülkemizde en çok tercih edilen sosyal ağın Facebook ve Twitter, dünyada ise Facebook ve Google+ olduğu raporlanmıştır [2]. Dolayısıyla sosyal ağ verisi de bu platformları kullanan kişi sayısı arttıkça her geçen gün biraz daha büyümektedir. Böylesine büyük bir veri kaynağının içerdiği verilerin elde edilmesi, doğru şekilde doğru alanlarda kullanılması ve bilgiye dönüştürülmesi ise çok büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, sosyal ağ verilerinin günümüz şartlarında en çok hangi alanlarda kullanıldığı ve teknolojik altyapının ilerlemesiyle birlikte sosyal ağların içerdiği paylaşımların gelecekte hangi amaçlara hizmet edebileceği vizyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada kapsamlı bir araştırma yapılarak bu vizyonun geliştirilmesine katkılar sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışma 4 bölümden oluşmaktadır. II. Bölümde sosyal ağ verilerini kullanan akademik çalışmalar ve sektörel projeler verilerin kullanım amacı doğrultusunda sınıflandırılmış, III. Bölümde, yapılan sınıflandırma ışığında mevcut durum görsel bir şekilde sunulmuş ve sosyal ağ verisini kullanarak yapılabilecek çalışmaların hangi alanlara yönelmesi gerektiği konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. IV. ve son bölümde ise elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

## 2. SOSYAL AĞ VERİLERİNİN KULLANIM ALANLARI (USAGE FIELDS OF SOCIAL NETWORKING DATA)

Sosyal veri olarak da ifade edilen sosyal ağ verileri günümüzde çok çeşitli alanlarda birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında sosyal ağ paylaşımlarının içerdiği verilerin kullanım alanları; literatürde sosyal ağ verisini kullanarak yapılan çalışmalar ışığında detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Ayrıca bu kapsamda hayata geçmiş projeler de değerlendirilerek akademik ve sektörel anlamda sosyal ağ verisi ile yürütülebilecek çalışmalar anlamında yeni ufukların açılması amaçlanmıştır. Sosyal ağ verisini kullanarak gerçekleştirilen akademik çalışmalar ve sektörel projeler dünya literatüründe ilk kez sınıflandırılarak 11 farklı başlık altında ele alınmıştır.

Ayrıca, her bir alanda sayıca en çok çalışmaya sahip olan kategori belirlenerek (akademik veya sektörel) bu kategorilerde yapılan çalışmalar referansları ile birlikte; kullandıkları sosyal ağ türü, sosyal ağ adı, veri türü, veri büyüklüğü ile veri toplama ve analiz araçları bakımından incelenmiştir ve Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Akademik ve sektörel çalışmaların sınıflandırılması (Classification of academic and sectoral studies)

Alan	Çalışma Türü	Kaynak	Sosyal Ağ (SA) Türü	Sosyal Ağ (SA) Adı	Veri Türü	Veri Büyüklüğü	Veri Toplama Aracı	Veri Analiz Aracı
1	Sektörel proje/ Sosyal Medya Analiz Aracı	[3-6], [9-10]	Genel, İş ve Kariyer, Mülimedya Paylaşımı	Twitter, Facebook, Google + LinkedIn, Youtube	Metin ve Mülimedya	-	Twitter API, Facebook API, Google + API, LinkedIn API, Youtube API	Geliştirilen Sistem
2	Akademik / Konferans Bildirisi	[13, 14], [20, 24]	Genel	Twitter, Facebook	Metin	10.000 tweet, 2.522 Facebook Paylaşımı	Twitter API, Facebook API	Geliştirilen Sistem
3	Sektörel Proje	[25, 28]	Genel	Twitter	Metin	400 Twitter Gündem Konusu (Trending Topic)	Twitter API	Geliştirilen Sistem
4	Akademik / Konferans Bildirisi	[33-39]	Konum Tabanlı, Genel	Foursquare, Gowalla, Twitter, Echofon, Gravity	Konum	220.000 - 1.89 Milyon Kullanıcı Hesabı, 12 - 22 Milyon Konum Paylaşımı	Arama Botu (Crawler), Foursquare API, Twitter API, Anket	Geliştirilen Sistem
5	Akademik / Konferans Bildirisi	[39-42]	Konum Tabanlı	Foursquare	Konum	10 Milyon Kullanıcı Hesabı	Foursquare API	Geliştirilen Sistem
6	Sektörel Proje	[44-47]	Suç Bilgisi Paylaşımı, Genel, Mülimedya Paylaşımı	WikiCrimes, Facebook Youtube	Metin ve Mülimedya	-	Geliştirilen SA, Manuel Veri Toplama	Geliştirilen SA
7	Sektörel Proje	[54-56]	Eğitim, Genel	Eğitim Bilişim Ağı, Dijital Yerliler, Smile, Facebook	Metin ve Mülimedya	-	Geliştirilen SA, Facebook Polls, SurveyMonkey	Geliştirilen SA
8	Sektörel Proje	[60-62]	Genel	Facebook Twitter	Metin	-	Geliştirilen SA, Facebook API, Twitter API	Geliştirilen SA, Geliştirilen Sistem
9	Sektörel Proje	[64-66]	Genel	Facebook Twitter	Metin ve Mülimedya	-	Twitter API, Facebook API	Geliştirilen Sistem
10	Akademik / Konferans Bildirisi	[67, 68]	Genel	Facebook	Metin	1.67 Milyon Kullanıcı Hesabı	Arama Botu (Crawler)	Geliştirilen Sistem
11	Akademik / Konferans Bildirisi	[69, 71]	Genel	Twitter	Çizge (graf)	3000 Kullanıcı Hesabı, 5256 tweet	Twitter API	Geliştirilen Sistem

Literatürdeki makaleler ve gündemdeki çalışmalar gözden geçirildiğinde [1-71], yapılan çalışmalar farklı açılardan değerlendirilmiş ve temel olarak 11 alana ayrılmıştır. Bu değerlendirmeler günümüzde sosyal ağ verisinin en çok kullanıldığı alanlar ve kullanım amaçları temel alınarak yapılmıştır.

## 2.1. Marka satış ve pazarlama stratejilerinin belirlenmesi

Sosyal ağ paylaşımlarından veri çıkarımı, markaların satış ve pazarlama kriterlerinin belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Günümüz dünyasında, kişilerin kendi ürünleri ve servisleri hakkında ne düşündüklerini önemseyen markalar sosyal ağları takip etmek zorundadırlar. Çünkü sosyal ağ hesapları

kişilerin herhangi bir konu hakkındaki fikir ve düşüncelerini özgürce beyan edebilecekleri ortamlar olarak algılanmaktadır [1]. Markaların sosyal ağ hesaplarına ait sayfaların gösterim sayısı, bu sayfalara kayıtlı üye sayısı, e-posta ve e-bülten okunma oranları ve takipçi ve beğeni sayıları, markaların satış ve pazarlama stratejilerini belirlerken kullanabilecekleri sosyal ağ verileri arasında yer almaktadır [3].

Bu kapsamda sektörde, özellikle büyük şirketlerin kullandığı sosyal medya analizi ve ölçümlemesi yapan birçok yazılım aracı bulunmaktadır [3-6]. Google Analytics, BoomSocial, AddServer, BrandWatch ve Dekatlon Buzz bu araçlara verilebilecek örneklerden sadece birkaçıdır. Örneğin Google Analytics hizmetleri ile markalar, isimlerinin Twitter'da kaç kez ve nasıl geçtiğini bilerek kampanya faaliyetlerine yön verebilmektedirler. Bu tür raporlama ve ölçüm araçlarını kullanarak yapılan kampanyaların performansını ölçmek veya sosyal ağlarda markayı ve kampanyaları diğer kullanıcılara tanıtan "alakalı etkileycilerin" metriklerini çıkarmak markaların sosyal ağ paylaşımlarından veri çıkarımını uygulayabilecekleri alanlar arasındadır. Sosyal ağ verilerinden gerekli çıkarımlar yapıldıktan sonra elde edilen bilgiler ise markanın rakiplerine Pazarlamanın kollarından biri olan ağızdan ağza yayılma (word of mouth marketing) stratejisi için en uygun ortamlardan biri sosyal ağlardır. Çünkü ağızdan ağza yayılma müşterileri marka hakkında olumlu yönde konuşturmak için ürünler ve servisler hakkında önerilen çözümler olarak tanımlanmaktadır ve günümüzde müşterilerin satın aldıkları ürünler hakkında en çok konuştukları platform sosyal ağlardır. Bu nedenle sosyal ağlardan veri çıkarımı, pazarlama stratejilerine yön vermek adına uygulanabilecek en akılcı yöntemler arasındadır [7, 8].

Bunun yanı sıra sosyal ağlardaki veri, kullanıcıların niyetini anlayarak kriz yönetiminde proaktif olma amacıyla kullanılmaktadır. Markalar sosyal ağlardaki veriyi kullanarak analiz ve raporlama yazılımları ile ürünleri veya hizmetleri hakkındaki olumsuz paylaşımlardan zamanında haberdar olarak kriz durumunu doğru kampanyalar ile fırsata dönüştürebilmektedirler [9, 10].

Aynı şekilde markalar sosyal ağ paylaşımlarını dikkate alarak ürünleri neden satıyor ya da neden satmıyor sorularına cevap bulabilmektedirler. Örneğin, bir markanın Twitter sosyal ağında paylaştığı satış kanalı linkinin o markanın online satışlarını ve satış hacmini ne kadar artırdığı bu kapsamda değerlendirilmesi gereken veriler arasındadır. Bunlara ek olarak, sosyal ağ verileri sayesinde markalar kalıcı müşteri sayılarını ve hangi müşterilerin markaya yeni müşteriler kazandırdığını da tespit edebilmektedirler [3-6, 9, 10].

Sosyal ağlardaki verilerin kurum ve şirketler için satış ve pazarlama amacıyla bir diğer kullanım alanı da iş planlarının oluşturulmasıdır. İş planı aşamaları; amaçları belirleme, hedef kitlesine ulaşma, etki alanını belirleme, marka hakkındaki duygu ve düşünceleri saptama, harekete geçme, yapılan yorumları ve etkileri dinleme ve sonuçlara ulaşma olmak üzere 7 ayrı başlık altında ifade edilmektedir [11, 12]. Bu aşamaların her birinde de sosyal ağ paylaşımlarındaki mevcut verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak sosyal ağ paylaşımlarından çıkarılan veriler, satış ve pazarlama alanında hedef kitlenin marka hakkındaki düşünce, niyet ve yorumlarını öğrenme, kriz oluşumuna engel olma veya krizlere anında müdahale etme, kurum itibarının ne durumda ve seviyede olduğunu tespit etme, müşterinin dikkatini çekebilecek etkili kampanyalar düzenleme ve müşteri profili çıkarma amaçlarıyla kullanılabilir [3-12].

## 2.2. Devlet stratejilerinin belirlenmesi ve yürütülmesi

Devlet stratejilerinin belirlenmesi ve yürütülmesi alanında sosyal ağların kullanımı günümüzde büyük önem taşımaktadır. Dijitalleşen dünyada, devletlerin ve hükümetlerin de bu gelişime ayak uydurması ve vatandaşları ile geleneksel medya aracılığıyla iletişim kurduğu kadar sosyal medya üzerinden de vatandaşlarını bilgilendirmesi, takip etmesi ve onların görüşlerini alması kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir.

Devletin vatandaşlarına sunduğu kamusal hizmetlerin elektronik ortama taşınmasına olanak sağlayan yapılara e-devlet platformları denilmektedir [13]. E-devlet sistemleri ile kamu hizmetlerinin çevrimiçi, yüksek bilgi işleme kapasitesine sahip, kolay, hızlı, etkin, kaliteli ve kesintisiz bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir [14]. Sosyal ağların kişilerin günlük yaşantısında bu denli etkili olduğu bir dijital çağda ise bireylere sundukları içerik yaratma, etkileşim kurma ve ortak hareket etme özellikleri, ülke vatandaşlarının bu yapıları e-devlet uygulamalarında da aramasına ve talep etmesine yol açmıştır [13]. Bu kapsamda, sosyal ağların e-devlet uygulamalarına iki farklı alanda katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Bunlardan birincisi; sosyal ağların e-devletin idari boyutu yönü ile kamusal bilgi ve hizmet sunumuna olan katkısı, ikincisi ise; sosyal ağların e-devletin siyasi boyutu yönü ile demokratik katılım, denetim, şeffaflık ve hesap verilebilirliğin artırılmasına olan katkısı olarak değerlendirilmektedir [15]. Bu sayede e-devlet kullanıcıları olan vatandaşlar pasif katılımdan aktif katılıma geçerek yönetime katılım ve yönetim ile işbirliği aşamalarına gelebileceklerdir.

Bu kapsamda, Avrupa CELTIC Araştırma ve Geliştirme Programı tarafından desteklenen ve Türkiye’yi TÜBİTAK desteği ile SAMPAS A.Ş.’nin temsil ettiği CRUMBS isimli projede sosyal ağlar ve e-devlet uygulamaları bir araya getirilmiş ve bu proje ile Sosyal Ağ Temelli Arttırılmış Gerçeklik ile Yeni e-Devlet ve Turizm Uygulamaları geliştirilmiştir. Sosyal ağlara erişim için mobil cihazlarını kullanan kişi sayısının artmasından yola çıkılarak geliştirilen bu proje ile bir sosyal ağ üzerinden konum tabanlı kullanıcı verilerini toplayan ve bu verileri turizm alanında kullanılmak üzere organize eden ve hizmet veren bir artırılmış gerçeklik platformu oluşturulmuştur. CRUMBS uygulaması ile mobil kullanıcı, herhangi bir koordinat üzerinde herhangi bir zaman diliminde oluşturulmuş sosyal ağ paylaşımı kırıntılarına (crumbs) erişerek bulunduğu yerde artırılmış gerçeklik ile etkileşim kurabilmekte ve geriye dönük içerik taraması yapabilmektedir. Aynı zamanda, kullanıcının mobil cihazını doğrulttuğu obje ile ilgili olan internetteki bütün veriler ve bu objenin 360 derece çevresinde oluşturulmuş tüm sosyal içerikler kullanıcıya sunulmaktadır [16].

Devlet stratejilerinin yürütülmesi adına sosyal ağ kullanımına önem verilmesine örnek olabilecek bir olay da Avustralya’da yaşanmıştır. Avustralya hükümeti, devlet kurumları ile halk arasındaki iletişim kopukluğunu sosyal ağ kullanımı ile telafi etmeyi planlamaktadır. Devlet memurlarını Facebook, Myspace veya Twitter gibi sosyal ağları kullanmaları yönünde teşvik ederek, sosyal ağları devlet ve halk arasındaki ilişkileri geliştirme ve sağlamlaştırma adına uygun bir yöntem olarak gördüklerini ispat etmişlerdir. Bu kapsamda, devlet birimleri, sosyal ağlar üzerinden vatandaşları gelişmeler hakkında haberdar etmekte ve planlanan tasarıları yoruma açmaktadırlar. Vatandaşlar da devletin verdiği hizmetler hakkında geri bildirimler sunarak sosyal ağ kullanımı ile devlet stratejilerinin yürütülmesinde yardımcı olmaktadır [17].

Türkiye Cumhuriyeti Devleti’nin sosyal ağlar üzerinden belirlediği, yürüttüğü ve denetlediği devlet stratejileri arasında ülke içerisinde yaşanan karışıklıkları ve ayaklanmaları tespit etme ve önleme politikaları yer almaktadır. Bu kapsamda verilebilecek en güzel örnek Gezi Parkı olaylarıdır. Gezi Parkı olaylarında sesini devlet yetkililerine duyurmak üzere bir grup ülke vatandaşı sosyal medya üzerinden gruplaşarak protestolarını gerçekleştirmişlerdir. Bu durum, günümüzde devlet yönetimi ile vatandaş arasında ülke konuları hakkında iletişim kurulabilecek en güçlü yolun sosyal ağlar olduğunu ispatlar niteliktedir. Türkiye Cumhuriyeti Devleti’nin bu kapsamda gerçekleştirdiği bir “Mavi Oda” projesi mevcuttur [18]. Takip edilecek olan sosyal ağların ortak rengi maviden adını alan bu özel birim, daha önce yayınlanan eylem planı doğrultusunda devletin siber saldırıları önleme ve yalan bilgilerle toplumu yanlış yönlendirmekle suçladığı sosyal medya üzerinde bazı izleme ve denetim ekipleri oluşturma hedefine sahiptir. Bu proje kapsamında, Facebook ve Twitter gibi sosyal ağlarda suç unsuru taşıyan mesajlar ve bunları paylaşan kişilerin ortaya çıkarıldığı bilinmektedir. Ayrıca aynı proje kapsamında Ankara Emniyet Müdürlüğü bünyesinde bulunan Siber Suçlarla Mücadele Daire Başkanlığı’nda yapılan sosyal medya takibi sonucunda Gezi Parkı protestoları boyunca devlet yetkililerine küfür veya hakaret içerdiği düşünülen 170 bin mesaj tespit edilmiştir [19].

Devlet stratejilerinin yürütülmesinde sosyal ağ kullanımını inceleyen akademik çalışmalar da literatürde mevcuttur. Bu kapsamda ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada sosyal ağ kullanıcılarının bu platformlar üzerinden hızlı bir şekilde organize olabileme durumları dikkate alınmıştır. Twitter kullanıcılarının hesapları üzerinden yayınladıkları tweetler analiz edilerek herhangi bir durum veya olay karşısında o kişi için ‘destekçi’ veya ‘destekçi değil’ çıkarımı yapılmaktadır. Geliştirilen sistem Türkiye’de yaşanan Gezi Parkı protestoları ile ilişkilendirilerek bu kapsamda %90 oranında doğru sonuçlar ürettiği görülmüştür [20].

Hoffman ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [21], devletlerin vatandaşları ile sosyal medya üzerinden nasıl iletişime geçtiği araştırılmıştır. Bu kapsamda, Almanya’nın en büyük 3 şehrinde yaşayan vatandaşların Facebook hesapları incelenmiş ve bunlar arasından 2.522 Facebook paylaşımı değerlendirilmiştir. Sosyal ağ analizi tekniklerinden biri olan içerik analizi yönteminin kullanıldığı çalışmada, sosyal ağlar üzerinden yapılan iletişimin çevrimdışı iletişime göre çok daha fazla fırsat sunması

ve kolaylık sağlamasına rağmen henüz daha tam anlamıyla gerçekleştirilemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, Almanya hükümetinin vatandaşlarıyla iletişim kurma adına sosyal ağları etkin bir şekilde kullanamadığı görülmüştür.

Amerika ve Kore devletlerinin devlet stratejileri adına sosyal ağ kullanımını inceleyen bir diğer çalışmada [22], her iki devletin vatandaşlarıyla etkileşime geçmek adına yaptıkları sosyal ağ kullanımları ve politikalar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Kore devletinin sosyal ağları vatandaşlarıyla iletişime geçmek için yeni bir ortam olarak değerlendirdiği ve bu alanda sosyal ağ kullanımına yatkın olduğu görülmüştür. Amerika’da ise pek çok sosyal ağın kullanıldığı fakat bu kullanımın gizlilik ve güvenlik boyutunda kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, devletlerin sosyal ağları nasıl etkili ve yararlı bir şekilde kullanacaklarına dair çalışmaların yapılması gerekliliğine işaret edilmiştir.

Mossberger ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada [23], Amerika’nın en büyük 75 şehrinin 2009 ve 2011 yılları arasındaki sosyal ağ kullanımları değerlendirilmiştir. Vatandaşların sosyal ağ kullanımlarının artmasıyla birlikte, devletle bu platformlar üzerinden yürüttükleri ilişkilerinin daha açık bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Vatandaşların devlet kurumları, yöneticileri ve çalışanları ile olan etkileşimlerinin sosyal ağ kullanımı ile birlikte %11’den %96’ya çıktığı görülmüştür.

Abdelsalam ve arkadaşları tarafından [24] Mısır devletinin web sayfalarındaki sosyal ağ kullanımını incelemek üzere bir çalışma gerçekleştirilmiş ve devletin kullandığı sosyal ağların sırasıyla mevcudiyetleri, kullanımları ve etkinlik değerleri araştırılmıştır. Devlete ait bütün kayıtlı alan adlarının (domain) incelendiği araştırma sonucunda, Mısır devletinin web sayfaları üzerinden kurulan sosyal ağ iletişimlerinin çok düşük boyutlarda olduğu görülmüştür.

Çalışmaların eksik yönleri değerlendirildiğinde daha büyük boyutlu verilerle çalışılarak doğruluk oranının artırılması ve elde edilen hipotezlerin genellenebilir olması için toplumun daha büyük kesimleri üzerinde test edilmesi gerektiği görülmektedir. Ayrıca paylaşımların semantik analizine daha fazla ağırlık vererek içeriğin anlam tespitini daha doğru yapan sistemlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

### 2.3. Ülkelerin tartıştığı konuların tespiti

Günümüz dünyasında ülke vatandaşlarının hangi konuları tartıştığı, neler üzerinde kafa yordığı ve yorum yaptığı sorularının cevabı sosyal ağlarda saklıdır.

Bu kapsamda Twitter ağının ana sayfasında yer alan “Trend Topic” yani “Gündem” bölümü ülke yöneticilerine ve vatandaşlarına fikir verebilecek niteliktedir. Twitter’ın özel algoritmaları tarafından belirlenen ve sürekli olarak güncellenen Gündem, tartışılan diğer konulara göre daha kısa sürede hakkında daha çok kişinin konuştuğu yani tweet attığı konular olarak tanımlanmaktadır. Tartışmaya açılmak istenen bir konu # (hashtag) işareti ile etiketlendiğinde Gündem listesine girmeye aday haline gelmektedir. Özel algoritmalar sayesinde yapılan hesaplamalar doğrultusunda, belirlenen konu hakkında atılan tweet hacmi gittikçe artıyor ve en kısa sürede en fazla tweete ulaşıyor ise, o konu en çok konuşulan konu yani “Trend Topic” olmuş demektir [25]. Dolayısıyla, Twitter’ın kullanıcılarına sunduğu bu hizmetin takip edilmesiyle, belirli bir zamanda belirli bir ülkede hangi konular tartışılıyor ve insanlar o konu hakkında ne düşünüyor gibi sorulara cevap bulmak mümkündür. Bu da ülkenin o anki ve gelecekteki durumu hakkında yorum yapma ve fikir sahibi olma yetisini kişilere kazandırmaktadır.

Lee ve arkadaşları tarafından yürütülen bir çalışmada [26] ise Twitter’ın sağladığı gündem konuları daha genel kategorilerde sınıflandırılarak sosyal ağlardan veri çıkarımı işleminin kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma Twitter gündem konuları; spor, politika, eğitim gibi 18 genel kategoride sınıflandırılarak metin ve ağ tabanlı olmak üzere iki farklı yaklaşımla değerlendirilmiştir. Metin tabanlı sınıflandırma metodunda gündem listesindeki konular hakkında atılan tweetler kullanılarak kelime vektörleri oluşturulmuştur. Daha sonra, tf-idf ağırlıkları kullanılarak Naive Bayes ile sınıflandırılmıştır. Ağ tabanlı sınıflandırma işleminde ise, en çok konuşulan 5 benzer konu belirlenerek C5.0 karar ağacı ile sınıflandırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 18’den fazla kategoriye ait olan 768 gündem konusunun metin tabanlı sınıflandırma işleminde %65, ağ tabanlı sınıflandırma işleminde ise %70 başarı oranıyla sınıflandırıldığı görülmüştür. Bu tür sınıflandırma işlemleri, ülkeler genel olarak hangi konularda konuşuyor ya da belirli zamanlarda hangi kategoriye ait konular daha fazla tartışılıyor gibi soruların cevabını vererek kişilere kolaylık sağlamaktadır.

Literatürde, bu tür çalışmaları daha da özelleştirerek ve ileriye götürerek ülkelerin tartışabileceği konularının tespitini daha önceden yapabilen çalışmalar da mevcuttur. Bu kapsamda Nikolov ve Shah tarafından yapılan çalışmada [27], Twitter'ın sahip olduğu Gündem özelliği kullanılarak gündem konularının önceden tahmini için parametrik olmayan bir metot önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında, tartışılan konularda atılan tweet sayısı ve tweet sayısındaki artış sürekli olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra hesaplanan rakamlar ile konular arasında ilişki kurularak ağ eğitilmektedir. 200 örnek gündem konusunun kullanıldığı bu çalışmanın gündem olabilecek konuları birkaç saat önceden %95 doğrulukla tespit edebildiği görülmüştür. Geliştirilen bu sistem sayesinde bir ülkede gündem olabilecek konuların tahmin edilmesi; çıkabilecek ayaklanmalara karşı önceden önlem alınması veya ülkelerin birbirleriyle olan ilişkilerinin yürütülmesi açısından hayati bir öneme sahiptir [27, 28]. Ayrıca Twitter üzerinden yapılan bu takip ve tahminlerin diğer sosyal ağlar üzerinden de yapılarak ülke gündeminin nabzının tutulması yürütülmesi gereken projeler arasındadır.

Ma ve arkadaşları [29], gündemi konularını tespit edebilmek için yeni çıkan etiketlerin (hashtag) popüleritesinin önceden tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. 2 milyon kullanıcıdan alınan toplam 31 milyon tweetle yapılan çalışmada, gündemin belirlenmesinde, etiketlerin kaç farklı kullanıcı tarafından ne zaman paylaşıldığı gibi bağlamsal özelliklerin içerikten daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Ishikawa ve arkadaşları ise [30], öncelikle kelimeler arasındaki anlamsal ilişki doğrultusunda kelimeleri konulara göre gruplandırmışlardır. Daha sonra önerdikleri yöntem ile belirli bir periyot içerisinde bir konunun tartışılma sıklığını tespit etmişlerdir.

Cataldi ve arkadaşları [31] içerik analizinin yanı sıra herhangi bir konu hakkında yapılan paylaşımın kaynağının da önemli olduğunu söylemişlerdir. Bu amaçla sosyal ağ analizi yöntemi ile arkadaşlık ağlarını analiz ederek paylaşımı ilk yapan otorite hesabı da tespit etmişlerdir. Sonuç olarak önerdikleri yöntem ile belirli bir zaman aralığında konuşulan konuları gündem olma derecesine göre sıralayabildiklerini göstermişlerdir.

#### 2.4. Kullanıcı profillerinin çıkarılması ve kişilik analizi

Kişilik özellikleri insanların sosyal ilişkilerini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Günümüzde sosyal ağlar, kişilerin sosyal yaşamının en önemli parçalarından biri haline geldiğinden farklı amaçlarla kullanıcı profillerinin çıkarılması ve kişilik tahminlerinin yapılabilmesi için oldukça önemli birer veri kaynağı haline gelmişlerdir.

Li ve Chen tarafından yapılan bir çalışmada [32] konum bildirimleri yapılmasına olanak sağlayan mekanizmalar tanımlanarak sosyal ağ paylaşımları tartışılmıştır. Kullanıcıların gerçek ve sanal dünyaları arasında köprü görevi gören bu servisler tanımlanarak konum algılama ve paylaşma özellikleri arasında kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca kullanıcılar tarafından yapılan sosyal konum bildirimleri ticari amaçlı bir sosyal ağ şirketinden alınarak analiz edilmiştir. Yazarlar çalışma sonucunda, kişilerin özel hayatın gizliliği konusundaki hassasiyetlerinin yaş, cinsiyet, hareketlilik ve coğrafi bölge gibi etkenlerle yakından ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

He ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [33] Foursquare ve Gowalla gibi konum tabanlı sosyal ağlarda kişilerin bilinçli olarak yaptıkları sahte konum bildirimleri incelenmiştir. Yazarlar, kişilerin sahte konum bildirimleri yapmalarına sebep olan davranışların büyük oranda, daha fazla kullanıcıya sahip olmak isteyen ve yer bildirimlerine sanal veya gerçek ödüller sunan servis sağlayıcılarının etkili olduğunu değerlendirmiştir. Ayrıca, sahte konum bildirimlerine karşı sistemlerin konum doğrulama mekanizmalarının iyileştirilmesine yönelik öneriler sunularak profil tarama analizleriyle sınırlandırma yöntemlerinin kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Noulas ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [34] ise, araştırmacıların hareketlilik (mobility) konusunda daha kapsamlı bir anlayış kazanabilmeleri için konum tabanlı sosyal ağlardan elde edilen verilerden nasıl faydalanabileceği araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında sosyal ağlarda geniş bir kullanıcı kitlesi bulunan Foursquare ağının veri seti kullanılmıştır. Yazarlar, önerdikleri metot ile kullanıcı konum bildirimlerini analiz ederek kişilerin günlük ve haftalık rutinlerini göstermişlerdir.

Cheng ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada [35], insanların konum tabanlı sosyal ağ kullanımının sosyal ve zamansal özellikleri incelenmiştir. Gelecekte mobil ve lokasyon tabanlı servislerin oluşturulmasında,

trafik tahminlerinde ve kent planlamasında kullanılmak üzere, kişilerin hareketlilik rutinlerinin (Mobility Pattern) nasıl olduğu, konum tabanlı sosyal ağlardan elde edilen veriler yardımıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, coğrafi ve ekonomik kısıtların kişilerin hareketlilik rutinlerini ve sosyal statülerini etkilediği görülmüştür. Ayrıca, kişilerin yer bildirimleriyle birlikte buldukları mekân hakkında yaptığı yorumlar, bağlamsal ve duygusal açıdan değerlendirildiğinde insanların bu servisleri neden kullandıkları ve nasıl etkileşim halinde oldukları konusunda daha detaylı bilgi elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Fusco ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [36] ise, konum tabanlı sosyal ağların toplumdaki rolü ve arkadaşların birbirlerine duydukları güven duygusu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada gerekli olacak veriyi toplamak için belirli bir insan grubu üzerinde anket çalışması yapılmıştır ve verileri analiz etmek için nitel bir yöntem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, konum tabanlı sosyal ağların kişilerin birbirlerine duydukları güven üzerinde tehdit teşkil ettiği ve kullanıcıların güvenliği açısından bu hizmetlerin daha güvenilir ve gübüz geliştirilmesi gerektiği yönündedir.

Quercia ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [37], kullanıcıların anlık iletiler yayınlatabildikleri bir sosyal paylaşım sitesi olan Twitter'daki veriler kullanılarak bu servisin kullanıcılarının karakteristik özellikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. 335 Twitter kullanıcısının yayınladığı tweetler değerlendirilerek bu tweetlerin taşıdığı kişisel bilgiler analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Twitter'daki popüler ve etkili kullanıcıların çoğunun duygusal olarak dışa dönük ve hayal gücü kuvvetli insanlar oldukları yönündedir. Ayrıca, bir kullanıcının 'takip edilen', 'takipçi' ve 'tweet' listesinin bilinmesiyle o kişinin açıklık, dürüstlük, dışa dönüklük, geçimlilik ve sinirlilik gibi 5 önemli karakteristik özelliğinin tahmin edilebileceği elde edilen sonuçlar arasındadır.

Hamburger ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [38] ise, kişilerin karakterleri ile sosyal ağ kullanımları arasında nasıl bir ilişki olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Kişilerin Facebook üzerinden yayınladığı temel bilgiler, (cinsiyet, doğum tarihi, yaşadığı yer, vb.) kişisel bilgiler (ilgi alanları, kitaplar, müzikler, hakkında, vb.) iletişim bilgisi (e- mail, telefon, web sitesi, vb.) ve eğitim ve iş bilgileri (lise, üniversite, kurum, unvan, vb.)'nin değerlendirilmeye alındığı çalışmada, bu bilgileri paylaşma ile içe-dönük ve dışa-dönük karakterlere sahip olma arasındaki ilişki saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dışa-dönük kişilerin daha çok arkadaşına sahip oldukları ve daha fazla grubun üyesi oldukları görülmüştür. Duygusal bozukluk yaşayan kişilerin ise, özel mesajları kullanmaktansa açık mesaj paylaşımına daha yatkın oldukları gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, yapılan bu çalışma kişilerin sosyal ağ kullanım alışkanlıkları ile karakterleri arasında güçlü bir bağ olduğunu göstermiştir.

Bu alanda yapılan çalışmaların çoğu yalnızca kişilik özelliklerinin sosyal ağ kullanımı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bunlara ek olarak kişilerin yaşadığı toplumun özellikleri, standartları ve sosyal normları da göz önünde bulundurularak bunların hem kişisel özelliklere hem de sosyal ağ kullanımına olan etkisi araştırılmalıdır.

## 2.5. Tavsiye sistemlerinin geliştirilmesi

Tavsiye sistemleri, belirli bir kullanıcının alışkanlıkları, beğenileri ya da rutinleri ışığında o kişinin belirli bir alanda ilgisini çekebilecek durumların ya da varlıkların belirlenerek sunulması mantığını taşıyan kişiselleştirilmiş bilgi filtreleme teknolojisi olarak tanımlanmaktadır [39]. Bu sistemler sayesinde çevrimiçi ortamda seçim yapması her geçen gün biraz daha zorlaşan çok fazla içerik arasından kullanıcı için en anlamlı olanlar otomatik ayrıştırılarak kullanıcının işi kolaylaştırılmaktadır ve harcanan zamandan tasarruf edilmektedir. Tavsiye sistemlerinin geliştirilmesinde kişiler hakkında bilgi taşıyan birçok veri kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların başında e-ticaret siteleri (amazon.com vb.) gelmektedir. Tavsiye motorları genellikle e-ticaret sitelerinde kişilerin yaptığı alışveriş alışkanlıkları göz önünde bulundurularak bu veriler ışığında tasarlanmaktadır. Sosyal ağ verileri ise, bu kapsamda oldukça fazla veri taşımaya rağmen pek kullanılmayan bir alandır. Literatürde geleneksel tavsiye sistemlerinden farklı olarak, farklı türdeki sosyal ağ verilerini kullanarak geliştirilmiş tavsiye sistemleri mevcuttur.

Feitosa ve arkadaşları [40], konum tabanlı sosyal ağların içerdiği verileri kullanarak metin madenciliği yöntemi ile sosyal tavsiyeler veren bir sistem tasarlamışlardır. Foursquare kullanıcılarının buldukları mekânları, mekân ismini kullanarak etiketleme özelliğinin kullanıldığı bu çalışmada, metin madenciliği yöntemi ile etiketin içerdiği kelimeler ayrıştırılarak o mekânın yakınında bulunan mekânlar, semtler ve bölgeler kullanıcıya tavsiye olarak sunulmaktadır.



Kwoon ve arkadaşları [41] tarafından yapılan bir çalışmada ise, mobil sosyal ağ verileri kullanılarak kişilere uygun gerçek zamanlı yer etiketli içerikler tavsiye olarak sunulmaktadır. Geliştirilen tavsiye sistemi, kullanıcının bulunduğu yer bilgilerini GPS ile alarak uzaklık ve mekân tercihleri verilerini filtreleme metotları ile eşleştirmektedir ve bu şekilde kullanıcıya tercih edebileceği yer tavsiyesini uzaklık bilgisi ile birlikte sunmaktadır.

Özcan ve Ögüdücü tarafından yapılan bir çalışmada [42], sosyal ağ verileri kullanılarak mobil telefonlar için bir tavsiye sistemi örneği geliştirilmiştir. Özcan ve Ögüdücü, mobil servis sağlayıcıların kullanıcılarına arama yapma veya mesaj atma gibi özelliklerden çok daha fazlasını sunmaları gerektiğinden yola çıkarak, sunabilecekleri bir özelliğin de tavsiye sistemleri olduğunu tartışmışlardır. Bu kapsamda, kullanıcının tavsiyeye ihtiyaç duyduğu anda o kişinin tercihlerini dikkate alarak ve içerik filtreleme (content filtering), işbirlikçi filtreleme (collaborative filtering) ve kişinin sosyal ağ kullanımını temel alarak kullanıcıya mekân tavsiyesi yapan bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemin performansı bir mobil servis sağlayıcısından alınan veriler ışığında değerlendirilmiştir.

Tavsiye sistemleri ile sosyal ağ verilerini birleştirerek bu alanda farklılık yaratmış ve ACM tarafından düzenlenen “Strands Call for Recommender Start-ups” yarışmasında birincilik ödülünü kazanan bir Türk projesi mevcuttur. “İletken” olarak isimlendirilen projenin diğerlerinden farkının tavsiye sistemlerini sosyal ağ verileriyle birleştirdiği noktalar olduğunun ifade edildiği proje, e-ticaret, medya içeriği, mobil içerik ve kurumsal ve kişisel tavsiyeler veren bir sistemdir [43].

Bu alanda yapılan çalışmalar cep telefonu uygulamaları, araba navigasyon sistemleri, IPTV ve Web tabanlı harita sistemleri gibi farklı mobil platformlara taşınarak genişletilmeli ve uygulanabilir hale getirilmelidir.

## 2.6. Suçların çözülmesi ve aydınlatılması

Günümüzde sosyal ağ verilerinin kullanıldığı alanlardan biri de suçların çözülmesi ve aydınlatılması için polis ofisleri olarak değerlendirilmektedir. Brezilya’da sosyal suçlar ve suçun önlenmesi ve azaltılması gibi konularda polis ofislerine destek veren Igarape Enstitü müdürü Robert Muggah “sosyal ağların geleneksel suç tespiti yöntemlerine nazaran daha hızlı, daha şeffaf, ölçeklenebilir ve spesifik” veri sunduğundan bahsetmiştir [44]. Bu kapsamda, 2007 yılında Fortaleza Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri öğretim üyesi Prof. Dr. Vasco Furtado tarafından “WikiCrimes” isimli bir sosyal ağ geliştirilmiştir [45]. Suçların tespit edilmesinin önündeki en büyük engelin kişilerin başına gelen kötü olayların suç kapsamına girmediğini düşünmeleri ve polise bu nedenlerden dolayı bildirmemeleri olduğunu ifade eden Brezilya Polisi, geliştirilen bu yazılım ile kişilerin çevrimiçi olarak hangi bölgede başlarına ne geldiklerini paylaşabileceklerini ifade etmiştir. Bu kapsamda sosyal ağ özelliğinin yanı sıra haritalandırma ile görsel bir suç haritalama metodu olarak da düşünülebilecek olan WikiCrimes suçların çözülmesi için sosyal ağ kullanımına önem veren en büyük projeler arasında yer almaktadır. Kullanıcıların, yanlış bilgi vermemesi için ya da suçluların hedef şaşırtmak üzere sistemi kötüye kullanmasının önüne geçmek için de birden fazla önlem alınmıştır. Örneğin, herhangi bir kullanıcı bir yeri bir suç ile ilişkilendirirken video, fotoğraf veya bağlantı (link) paylaşımı ile tezini destekleyebilmektedir. Aynı zamanda bir suçun onaylanabilmesi için, en az iki kişi tarafından onaylanması gerekmektedir.

LexisNexis tarafından yapılan bir araştırmaya [46] göre ise, ABD’de 1,221 kolluk kuvveti üyesinin %80’inin suç aydınlatmada sırasıyla Facebook ve Youtube başta olmak üzere sosyal ağ yapılarını kullandıkları ifade edilmiştir.

ABD’de polis departmanları artık bir şüpheliyi ararken sosyal ağ hesapları üzerinden paylaştıkları yazı, resim, video vb. içerikleri kontrol etmektedirler. Herkese açık olan bilgilere erişim yapıp kişi hakkında bilgi toplanırken, erişime kapatılmış özel bilgilere de farklı tekniklerle ulaşılmaktadır. Örneğin, aranan kişinin bilgileri saklıysa arkadaş listesinden kişilere erişilerek bilgi vermeleri istenmektedir. Ya da sahte hesaplar açılıp, aranan kişiyle ortak ilgi alanları varmış gibi gösterilerek arkadaşlık istekleri gönderilmektedir. Kabul edilen arkadaşlıklar sayesinde kişinin paylaşımlarına erişilerek suç tespiti konusunda gerekli olan kanıtlar sosyal ağlar üzerinden toplanmaktadır. Bu duruma örnek teşkil edebilecek bir olay “Melvin Colon” örneğinde yaşanmıştır. Cinayet ve narkotik suçlarından aranan şüpheli çete üyesi Melvin Colon, Facebook hesabı üzerinden çete üyesi olduğunun sinyallerini veren bir fotoğraf yayınlamıştır. Polis bu fotoğrafla birlikte sadece arkadaşlarının görmesine izin verdiği daha anlamlı fotoğrafları da ele geçirmiştir. Bu kapsamda şüphelinin arkadaşlarıyla iletişime geçerek onların

hesaplarından da gerekli olan kanıtları toplayan New York polisi, sosyal ağ verileri ile Melvin Colon'u yakalamayı başarmıştır [47]. ABD'nin Cincinnati şehrinde 71 çete üyesinin tutuklanması da yine sosyal ağlardaki veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ABD'de yaşanan örnekler Darrin Anderson ve Ronnie Tienda gibi durumlarla artırılabilir. Dolayısıyla, sosyal ağların acil durumlarda ve devlet yetkilileri tarafından suç kapsamında araştırılması gerektiğinde paylaşılan veriler açık olsun ya da olmasın ele geçirilerek suçların çözümlenmesi ve aydınlatılması alanında kullanılmaktadır.

Özellikle Amerikan polisinin sosyal ağlardaki verileri kullanmasından sonra, bu başlık altında incelenebilecek bir durum da ülkemizde yaşanmıştır. Gezi Parkı olaylarından sonra suç takibinde sosyal medyanın büyük önem taşıdığını fark eden hükümet Mavi Oda isimli bir birim kurarak sosyal ağları takip etme kararı almıştır. Bu kapsamda başlatılan projeye Twitter ve Facebook ağları dâhil edilerek bu yapılar üzerinden tertip edilen illegal faaliyetlerin deşifre edileceği bildirilmiştir [19].

Sosyal ağ verilerini kullanarak suçların açığa çıkarılması, günümüzde artık yaygın bir şekilde pratik edilirken bu alanda yapılmış akademik çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bu kapsamda Zainudin ve arkadaşları [48] tarafından yapılan bir çalışmada bu eksiklikten bahsedilerek yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Araştırmacılar çalışma ortamlarını fiziksel ve dijital ortam olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Fiziksel ortamda yetkili birimler tarafından suç duyurusunda bulunulması, gerekiyorsa özel bilgilere erişim için sosyal ağ şirketinden izin alınması ve yeterli bilginin fiziksel dünyadan toplanması gibi adımlar yer almaktadır. Dijital ortamda ise elde edilen bilgiler taranmak istenen sosyal ağda otomatik olarak aratılarak sosyal ağ verileri toplanmaktadır. Daha sonra bu veriler arasından alakasız veriler ayrıştırılarak odak veriler belirlenmektedir. Belirlenen veriler üretilen hipotezler ışığında analiz edilerek suç araştırmasında sosyal ağ verilerinin nasıl kullanılacağına dair bir yaklaşım sunulmuştur.

Tarafımızdan yürütülen bir çalışmada ise hakkında suç duyurusu bulunan bir kişinin teknik takibinin yapılabilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile kolluk kuvvetleri, savcılık tarafından hakkında teknik takip talebi bulunan kişiyi yazılımsal olarak izleyebileceklerdir. Ayrıca geliştirilen yöntem sayesinde, kolluk kuvvetlerinin suçlu profili belirlemede yaşadığı zorluklar azaltılarak bu süreçte harcanan zamanın en aza indirgenmesi de hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen uygulamanın teknik takip sürecinde kullanılabilmesi için kişinin kullandığı bir Twitter hesabının olması gerekmektedir. Çalışmamızda teknik takibe alınacak kişinin Twitter üzerinden yayınladığı Foursquare konum bildirimleri değerlendirmeye alınmıştır. Hakkında teknik takip talebi bulunan kişinin Twitter sosyal ağında kullandığı kullanıcı adına erişildikten sonra, bu bilgi geliştirilen yazılıma girdi olarak verilerek o kişinin belirli zaman aralıklarında bulunduğu yerler gerçek zamanlı haritalandırma ile görsel bir biçimde yetkililere sunulmaktadır [1].

Tarafımızdan yürütülen ve [1] no'lu çalışmanın devamı niteliğinde değerlendirilebilecek bir diğer çalışmamızda ise hakkında teknik takip talebi bulunan kişilerin bir sonraki adımında bulunması muhtemel olan yerlerin tahmini yapılarak, o kişinin hangi bölgede aranmasının daha makul olacağı öngörülerek yetkili kişilere görsel bir sonuç sunulmaktadır [49].

Bu alandaki en büyük eksiklik, suç araştırması için sosyal medya verilerine özel araçların sayıca az olmasıdır. Bu nedenle sosyal ağlarda adli bilişim yapılabilmesi için standart haline gelebilecek yazılımlara, akademik ve sektörel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2.7. Eğitim alanında değerlendirmelerin yapılması

Sosyal ağların ve sosyal ağlar üzerinden yapılan paylaşımların içerdiği veriler günümüzde eğitim amaçlı ve eğitim alanında değerlendirmelerin yapılabilmesi için sıklıkla kullanılmaktadır.

Kendilerini bir öğrenim şirketi olarak tanımlayan Pearson, eğitim alanındaki çalışmaları kapsamında sosyal ağlar ve eğitim arasındaki ilişkiyi de incelemeye almıştır. Bu kapsamda 2013 yılı için yükseköğretimde sosyal medya kullanımı isimli bir çalışma gerçekleştirip, çalışma bulgularını bir rapor halinde sosyal medya ve eğitim alanındaki ilgililere sunmuşlardır. 8 bin üniversiteden akademisyenlerin katılımıyla yürütülen çalışmada, öğretim üyelerinin %41'i sosyal ağları eğitim amaçlı kullandıklarını belirtmiştir. 2012 yılı itibarıyla ise bu oranın %34'lerde olduğu görülmektedir [50]. Dolayısıyla, sosyal ağ kullanımının eğitim alanında da büyük ölçüde etkili olduğu ve rakamların her geçen yıl artış gösterdiği görülmektedir.

Bu alanda literatürde var olan çalışmalar incelenecek olursa, Koç ve Karabatak tarafından yapılan bir çalışmada [51], Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği Bölümü öğrencilerinin

sosyal ağları kullanma seviyeleri ve öğrencilerin eğitimi üzerinde ne gibi etkileri olduğu incelenmiştir. Çalışma kapsamında toplanmak istenen veriler anket yoluyla sağlanmış ve veri madenciliği tekniklerinden biri olan birliktelik kuralı ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, öğrencilerin %61,07'si sosyal ağları dersleri için kullandıklarını ifade etmiştir. Ayrıca öğrencilerin %66,41'i sosyal ağlar sayesinde diğer öğrenciler ve öğretmenleriyle ders ile ilgili konularda daha kolay iletişime geçtiklerini söylemiştir. Bu da sosyal ağların eğitim alanında öğrenci-öğrenci, öğrenci-ders ve öğrenci-öğretmen arasındaki bağları daha da sağlamlaştırdığını ve öğrencilerin sosyal ağlarda öğretmenleri ile arkadaş olma fırsatını yakalayarak kendilerini daha rahat ifade etme olanağına sahip olduklarını kanıtlar niteliktedir [52].

Ajan ve Harsthone tarafından yapılan bir çalışmada [53], ABD'de bulunan büyük bir üniversitenin sosyal ağ kullanımını derslerine entegre etmelerinin altında yatan gerçek sebep araştırılmıştır. Yöntem olarak Planlanmış Davranış Teorisinin (Theory of planned behavior) kullanıldığı çalışmada, akademik personelin sosyal ağ kullanımının öğrencilere pozitif etkilerinin olduğunu bildikleri gözlemlenmiştir. Akademik personel, özellikle blog türü sosyal ağların öğrencilerin öğrenme yeteneklerini geliştirdiğini, profesör-öğrenci ilişkilerini yakınlaştırdığını ve öğrencilerin derse olan ilgilerini artırdığını düşünmektedir.

Ülkemizde bu kapsamda Milli Eğitim Bakanlığı'nın yürürlüğe sunduğu bir proje mevcuttur. "MEB'e özel sosyal medya" olarak da bilinen bu proje eğitim bilişim ağı (eba) ismini taşımaktadır. FATİH (Fırsatları Artırma ve Teknolojiyi İyileştirme Hareketi) projesi kapsamında öğretmen ve öğrenciler için geliştirilmiş olan bu sosyal eğitim platformu, öğrenciler için öğretici videolar izleyip görselleri tarayabilecekleri, dergi indirip okuyabilecekleri, ses dosyalarını dinleyip haberleri görebilecekleri ve öğretmenleriyle iletişim kurarak bilgilerini artırıp öğrendiklerini pekiştirebilecekleri bir sosyal ağıdır [54]. Aynı amaçla İzmir Bayraklı Nedret İlhan Ketten Ortaokulu öğrencileri için düzenlenmiş bir sosyal ağ da mevcuttur. Öğrencilerin Facebook kullanımına olan alışkanlıklarından dolayı Facebook'un açık kaynak kodları kullanılarak geliştirilen proje, bahsedilen ortaokulun eğitim süreçlerine sosyal ağları da dâhil ederek daha etkileşimli bir öğrenme modeline sahip olmaları için geliştirilmiştir. Ayrıca bu proje Milli Eğitim Bakanlığı ve Microsoft işbirliği ile gerçekleştirilen Yenilikçi öğretmenler Türkiye forumunda ve Fas'ta düzenlenen Orta Doğu ve Afrika forumunda içeriğin kalitesi dalında birincilik ödülü kazanmıştır. Aynı zamanda Prag'da yapılan Dünya forumunda da ülkemizi temsil etmiştir [54, 55].

Ayrıca, dünya çapında da sosyal ağların eğitimdeki yerini araştırmak ve gerekli destekleri sunmak üzere SMILE (Social Media in Learning and Education) isminde bir araştırma projesi başlatılmıştır. Bu proje kapsamında, okulların sosyal ağ politikaları, pedagojik prensipler, profesyonel sosyal ağ geliştiricileri, internet ve sosyal ağ güvenliği gibi birçok konu üzerinde çalışılmaktadır [56].

Bu alanda yapılan akademik çalışmalar ve deneyler genellikle sınırlı sayıda eğitim kurumu üzerinde test edilmiştir. Çalışmaların daha geniş kitleler üzerinde uygulanması ve eğitim alanında ülke modellerinin çıkarılması gelecek çalışmalara ilham olacak fikirler arasındadır.

## 2.8. Duygu ve düşünce analizi

Günümüzde sentiment analizi, düşünce analizi veya düşünce çıkarımı gibi birçok farklı isimle anılan duygu analizi çok yeni bir kavram olmasına rağmen ihtiyaç duyduğu veriyi, yaygın olarak kullanılan sosyal ağlardan temin etmektedir. Dolayısıyla günümüzde sosyal ağ verilerinin kullanıldığı en önemli uygulama amaçlarından biri de duygu ve düşünce analizidir.

Bir diğer ismiyle sentiment analizi, "kişilerin birbirlerine veya objelere karşı kalıcı olarak eğilimleri ve duyguları" olarak tanımlanan tavırların tespiti olarak tanımlanmaktadır [57]. Sentiment analizi ile genel olarak, metin halinde olan içeriklerin taşıdığı duygu ve düşüncelerin pozitif, negatif veya nötr yönde olup olmadığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Sentiment analizi yapılırken sosyal ağ üzerinden yapılan metin paylaşımları alınarak kelime bazında ayrıştırılmaktadır (isimler, hashtagler, büyük harfle başlayan kelimeler, surat ifadeleri, vb.). Daha sonra farklı türdeki her bir kelime (sıfat, isim, zarf, vb.) taşıdığı anlam bakımından pozitif, negatif veya nötr olarak işaretlenmektedir, ve belirlenen paylaşım, içerdiği kelimelerin ağırlığına göre pozitif, negatif veya nötr olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat bu işlem oldukça zordur, çünkü kelimelerin anlamı, kullanıldığı içeriğe, dile ve kültüre göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, bir kelime bir cümlede olumlu anlamda kullanılırken bir diğerinde olumsuz anlam taşıyabilmektedir, ya da bir kelime bir kültürde pozitif anlama sahipken farklı bir kültürde iyi bir anlam taşıyamıyor olabilir. Bu nedenle, sentiment analizi karmaşık ve zor bir problemdir ve hala üzerinde çalışmalar devam etmektedir [57].

Sentiment analizi genellikle şirketler tarafından müşterilerinin ürünler, servisler ve şirket hakkında ne düşündüklerini analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, oyuncular veya yazarlar gibi ünlü kişiler tarafından da kullanılarak belirlenen toplulukların duygu ve düşünceleri hakkında fikir edinilebilmektedir.

Sentiment analizi, endüstri tarafından kullanıldığı gibi akademinin de ilgisini çekmiştir. Bu konuda farklı amaçlarla yapılmış birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Ceron ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [58], sentiment analizi ile sosyal ağ verileri, İtalya ve Fransa’da yaşayan vatandaşların politik görüşlerini öğrenmek amacıyla kullanılmıştır. Yazarlar sentiment analizi ile farklı senaryoları analiz etmeye çalışmışlardır. Bunlar İtalyan liderlerin 2011 yılı içerisindeki çevrimiçi popülerliğinin analizi ve Fransız internet kullanıcılarının 2012 yılındaki başkanlık seçimlerinde ve sonraki yasal seçimlerdeki oylarının analizi olarak sıralanmaktadır. Yöntem olarak denetimli HK (Hopkins-King) metodunun kullanıldığı çalışmada Twitter sosyal ağı üzerinden yapılan paylaşımlar ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sosyal ağ üzerinden yapılan sentiment analizinin geleneksel anketlerle aynı sonuçları ürettiği ve bu yöntem ile seçim sonuçlarının doğru bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür.

Bir başka çalışmada ise, farklı araba markalarına ait araba modelleri hakkında sosyal ağ kullanıcılarının fikirlerini analiz edebilen bir sentiment analizi yazılım prototipi önerilmiştir [59]. Bu kapsamda öncelikle arabalar için sıklıkla kullanılan kelimeler belirlenerek bir sözlük oluşturulmuştur. Daha sonra, sosyal ağ kullanıcılarına yöneltilen “hangi araba daha güzel?” veya “hangisinin motoru daha güçlü?” gibi sorulara verilen cevapları analiz ederek, araba marka ve modelleri hakkındaki görüşleri pozitif ve negatif olarak sınıflandıran bir sistem tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçların markalarla paylaşarak üretim ve pazarlama stratejilerine yön vermelerini sağlamak ve bu sistemi daha geniş ürün yelpazesine uygulamak çalışmanın planlanan sonuçları arasında yer almaktadır.

Sosyal ağ verilerini kullanarak sentiment analizi yapmak üzere geliştirilmiş birçok araç bulunmaktadır. Bunlar arasından Standford Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Bölümü lisansüstü öğrencileri tarafından geliştirilen Sentiment140, herhangi bir marka, ürün veya konu hakkında Twitter verilerini tarayarak sentiment analizi yapmaktadır. Ayrıca programcılar da kullanarak yeni projeler geliştirebilmeleri için ücretsiz Uygulama Programlama Arayüz (API)’ü mevcuttur [60].

Repustate isimli bir başka sistem ise birçok dil desteği (İngilizce, Fransızca, İtalyanca, Almanca, İspanyolca, Arapça ve Çince) ile herhangi bir konuda sentiment analizi yapabilmektedir. Ayrıca, belirlenen duygu ve düşüncelere göre ileriye dönük tahminler de geliştirilen bu sistemin alanları arasındadır [61].

Bu kapsamda başka bir proje de ülkemizde geliştirilmiştir. 2007 yılında kurularak doğal dil işleme teknolojileri üreten bir AR-GE şirketi olan Botego ülkemizde kullanılmak üzere Türkçe sentiment analizi yapan bir sistem geliştirmiştir [62]. Bu sistem ile herhangi bir konuda analiz edilecek metin belirlenen sosyal ağdan çekildikten sonra ilk öğretim adı verilen sınıflandırma işlemi Botego editörleri tarafından el ile (manuel) yapılmaktadır. Sistem öğrendikten sonra ise, kelimeler pozitif, negatif ve nötr olarak belirlenir. Metinde hem olumlu ve olumsuz hem de nötr ifadelerin bulunduğu durumda ağırlıklarına göre ağır basan taraf metnin genel sentimentini olarak seçilmektedir. Daha sonra sınıflandırılan sonuçlar standart raporlarla ilgili birimlere sunulmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, toplanan veriler içerdikleri duyguya göre genellikle operatörler tarafından manuel bir şekilde etiketlenmektedir. Fakat günümüzde veri boyutu oldukça hızlı bir şekilde arttığı için bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle veri etiketleme sürecinin de otomatize edilmesi ve işlem süresinin azaltılması gerekmektedir.

## 2.9. Kişiyeye uygun reklamların üretilmesi

Sosyal ağ verilerinin sıklıkla kullanıldığı alanlardan birinin pazarlama ve reklam stratejilerinin belirlenmesi olduğu daha önceki başlıklarda detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu bölümde ise sosyal ağ verilerinin kişiyeye uygun reklamlar üretilmesindeki rolü açıklanacaktır.

Sosyal ağların en büyük gelir kaynaklarından biri olan standart reklamlar yerini, günümüzde kişiyeye özel reklamlara bırakmıştır. Kişiyeye özel reklam stratejisi, sosyal ağlar üzerinden yapılan paylaşımların alınarak bu verilerin yorumlanması ve böylelikle kullanıcıların kişisel tercihlerine, ülkelerine, dillerine, internet

kullanım alışkanlıklarına, siyasî ve dinî görüşlerine ve hatta belirli bir zamanda sosyal ağ üzerinden paylaştığı ürün içerikli bir cümleye göre yine sosyal ağlar üzerinden reklam yapma anlamına gelmektedir.

Bu kapsamda yapılan bir çalışmada, internet üzerinden ikili ilişkiler kurmaya çalışan orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı kesime sunulması gereken çevrimiçi reklamların neler olabileceği analiz edilmiştir. “Yahoo Personals” üzerindeki 450 kişisel reklamın incelendiği çalışmada belirlenen yaş gruplarındaki kişilerin ikili ilişkiler hakkında yayınlanan reklamlara yaptığı yorumlar analiz edilmiştir ve sonuç olarak orta yaşlı ve yaşlı kesime sunulması gereken reklamlar arasında pek fazla fark olması gerekmezken, yaşlı ve çok yaşlı kesime sunulması gereken reklamlar arasında oldukça büyük fark olması gerektiği saptanmıştır. Çok yaşlı kesim ile karşılaştırıldığında orta yaşlı ve yaşlı kesime sunulması gereken çevrimiçi reklamların macera, romantizm ve ruh eşi arama konularında daha net olması gerektiği belirtilmiştir. Çok yaşlı kesime sunulan reklamlarda ise sağlık içerikli ibarelerin daha fazla yer alması gerektiği ifade edilmiştir [63].

Bu kapsamda Twitter ve Facebook sosyal ağlarının, bu yapılar üzerinden paylaşılan verileri kullanarak kişiye uygun reklam projeleri de mevcuttur. Örneğin Facebook, kişiye özel reklam yayınlama stratejisini 3 farklı yolla gerçekleştirmektedir. Bunlardan ilki “Facebook Power Editor Chrome” eklentisidir. Bu eklenti sayesinde şirketler sahip oldukları müşteri verilerini kullanarak Facebook reklamlarını doğrudan kişi bazlı olarak yayımlayabilmektedirler. Herhangi bir reklam için hedeflenen kişilerin Facebook ID, telefon numarası veya e-posta adresleri Facebook Power Editor’e yüklenerek bu kişilere gösterilmek istenen reklamlar Facebook sayfalarında görüntülenebilmektedir [64]. İkinci olarak, kişilerin Facebook üzerinden beğenip paylaştığı fotoğraf içeriklerinden bu kişilerin ilgisini çekebilecek reklamların gösterilmesi hedeflenmektedir. New York Üniversitesi’nde gelecek günlerde yapılması planlanan bu çalışma, dijital görüntü işleme konusunda hazırlanacak özel bir algoritma ile kişiler hakkında bilgi toplanarak bu bilgilerin ilgili reklamcılarla paylaşılacağı yönündedir [65]. Üçüncü olarak ise, Facebook kişiye özel gerçek zamanlı reklam uygulaması ile sosyal ağ verilerini bu yönde kullanmaktadır. Bu kapsamda kullanıcıların durum güncellemelerinde veya arkadaşlarının duvarlarına yaptıkları yorumlarda kullanılan kelimeler baz alınmaktadır. Geliştirilen algoritma sayesinde, herhangi bir paylaşımında ayakkabı kelimesini kullanan Facebook kullanıcısında gerçek zamanlı olarak ayakkabı reklamı sunulabilmektedir. Hazırladığı reklam havuzundaki reklamları anında kullanıcıya sunabilen bu algoritma, kişilerin sadece beğenilerini ya da aktivitelerini değerlendirmekle kalmayıp yapılan yer bildirimlerine kadar değerlendirmeye almaktadır [66]. Twitter sosyal ağı da kişilerin yaptığı paylaşımların içerdiği verileri kişiye özel reklam amacıyla kullanmaktadır. Kişilerin internette gezindiği sitelerin kullanıldığı bu projede, reklam vermek isteyen şirketler kendi web sitelerini ziyaret eden kullanıcı bilgilerini Twitter ile paylaşarak, bu kişilerin Twitter sayfalarında kendilerine ait reklamların gösterilmesini sağlayabilmektedir.

## 2.10. Eksik bilgi çıkarımı

Sosyal ağ verilerinin sıklıkla kullanıldığı alanlardan biri de eksik bilginin olduğu durumlarda mevcut bilgilerin kullanımıyla çıkarım yapılarak istenen bilgiye ulaşılması durumudur. Bu kapsamda, kişilerin sosyal ağ üzerinden herkese açık olarak paylaştığı bilgiler toplanarak genel anlamda bir ağ topolojisi oluşturulmaktadır. Toplanamayan bilgilerin neler olduğu da tespit edilerek eldeki verilerle bilinmeyen verilere ulaşabilmek için mantıklı çıkarımlar yapılmaktadır ve böylelikle eksik bilgiye ulaşabilmektedir.

Tang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [67], Facebook kullanıcılarının sadece isimleri kullanılarak bu kişilerin cinsiyetleri ve Facebook davranışları konusunda çıkarım yapılmıştır. New York’taki Facebook kullanıcılarının bu sosyal ağ üzerindeki herkese açık olan bilgileri toplanarak bir isim listesi oluşturulmuştur. Listedeki her bir isim, toplamda kaç kişinin bu isme sahip olduğu, bunlardan kaçının bayan olduğu ve kaçının erkek olduğu bilgileriyle ilişkilendirilmiştir. Daha sonra ABD devletinin yıllara göre popüler isimler listesi kullanılarak isimler erkek veya bayan diye etiketlenmiştir. Makine öğrenmesi metotları ile isimden cinsiyet tahmini yapabilen metotlar kullanılarak çıkarım yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin %95,2’lik bir başarı oranı ile çıkarım yapabildiği görülmüştür. Cinsiyet tespiti yapıldıktan sonra bayanların ve erkeklerin Facebook davranışları analiz edilmiştir. Sonuç olarak, erkeklerin ve bayanların çelişkili bilgileri Facebook üzerinden rahatlıkla paylaştıkları fakat cinsiyet, yaş ve cinsel tercih gibi bilgileri gizledikleri görülmüştür. Ayrıca, bayanların çevrimiçi gizlilik konusunda erkeklere göre daha bilinçli oldukları tespit edilmiştir.

Bir başka çalışmada [68] ise, sosyal ağlardaki ilişkilerin isimlendirilmesi (meslektaş, samimi arkadaş, vb.) üzerine çalışılmıştır. Kişiler arasındaki bağları çözümlenmek üzere yarı denetimli PLP-FGM (Partially-labeled Pairwise Factor Graph Model) öğrenme modeli kullanılmıştır. Model, yayın veri seti, e-posta veri seti ve mobil ağ veri seti olmak üzere 3 farklı veri seti üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yayın veri seti için danışman-öğrenci ilişkisinin %92,7, e-posta veri seti için yönetici-çalışan ilişkisinin %88 ve mobil ağ veri seti için arkadaşlık ilişkisinin %83,1 doğruluk oranıyla tespit edildiği görülmüştür.

Veritabanlarında eksik verilerin tamamlanması için makine öğrenmesi yöntemleri sıklıkla kullanılmasına rağmen sosyal ağlarda bu amaçla yapılan çalışmaların sayıca daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmalarda kişilerin kendi hesapları üzerinden yaptığı paylaşımların yanı sıra sosyal ağ analizi yöntemleri ile arkadaşlık ilişkileri de analiz edilerek eksik bilgilerin tamamlanmasında kullanılabilir.

### 2.11. Sosyal ilişki analizi

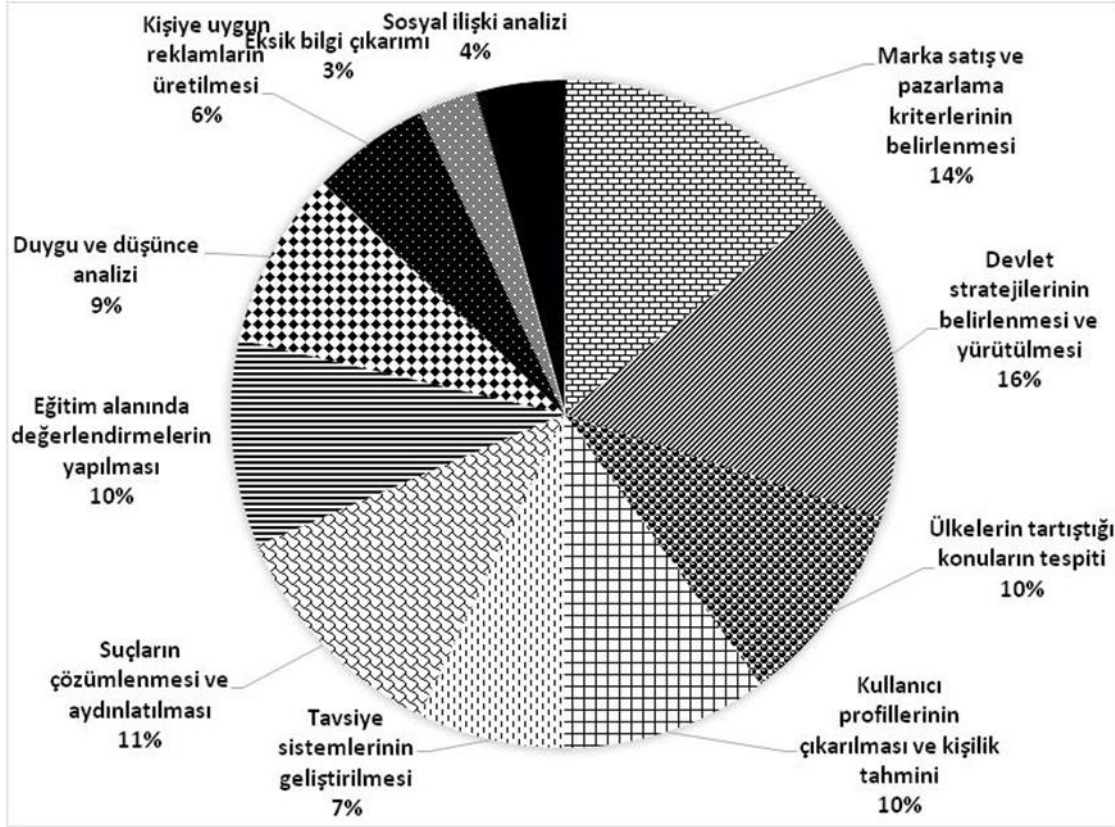
Sosyal ağ verisi, sosyal ve davranışsal ilişkilerin analizinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Verinin bu amaçla analiz edilmesinde kullanılan yöntem ise 'sosyal ağ analizi' adı verilmektedir. Sosyal ağ analizi (SAA), kişiler arasındaki ilişkilerin ve toplumsal yapıların çizge (graf) teorileri yardımıyla incelenmesi ve analiz edilmesi amacıyla tanımlanan ilişkiyel yöntemler kümesidir. SAA ile insanlar ve gruplar arasındaki ilişkiler tespit edilebildiği gibi bu ilişkilerin nasıl ortaya çıktığı ve nasıl sonuçlandıkları da analiz edilebilmektedir [69].

Chatfield ve Brajawidagda [70], Twitter verisini kullanarak tsunami felaketi için erken uyarı sistemi geliştirmişlerdir. Bu doğrultuda Twitter'daki arkadaşlık ilişkilerini SAA ile analiz ederek olası bir tsunami haberinin kısıtlı bir sürede en fazla kişiye nasıl ulaşabileceği üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak tsunamiye sebep olan depremden 15 dakika sonra geliştirilen sistem ile 4.102.730 kullanıcıya erken uyarıda bulunabildiklerini göstermişlerdir.

Stepanyan ve arkadaşları [71], SAA ile öğrencilerin birbirleriyle olan etkileşimlerini analiz ederek bu durumun öğrencilerin İngilizce öğrenmelerini nasıl etkilediğini test etmişlerdir. Sonuçlar, öğrencilerin zamanla arkadaşlık ilişkilerini daraltma eğilimi gösterdiklerini ve benzer başarı seviyesindeki kişilerle iletişim kurduklarını göstermiştir. Ayrıca, başarı seviyesini yükselten öğrencileri takip eden kişi sayısında belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 3. DEĞERLENDİRMELER (EVALUATION)

Günümüzde sosyal ağlara üye olan kullanıcı sayısı arttıkça bu platformlar üzerinden yapılan paylaşımların içerdiği veri de her geçen gün biraz daha önem kazanmaktadır. Bu nedenle sosyal ağlar üzerinden paylaşılan kişisel ve kurumsal bilgiler akademi ve sektörde farklı amaçlarla çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sosyal ağ verisini kullanarak akademiye yapılan çalışmaların ve sektörde hayata geçen projelerin en çok hangi alanlarda yürütüldüğü bilgisi mevcut durumu algılayabilmek açısından çok önemlidir. Ayrıca mevcut durumun değerlendirilmesi ile çalışmaların en çok hangi alanlarda yapıldığı, hangi alanlarda sayıca az çalışma olduğu ve hangi alanlara daha çok yoğunlaşılması gerektiği kazanılması gereken önemli bir vizyondur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında sosyal veriyi kullanarak akademi ve sektörde yürütülen çalışmalar, alanları ve amaçlarına göre 11 farklı başlık altında sınıflandırılmıştır. Toplamda 71 çalışmanın ve haberin incelenmesi ile yapılan bu sınıflandırma sonucunda elde edilen mevcut durum değerlendirilmesi Şekil 1'de sunulmuştur.



**Şekil 1.** Akademik ve sektörel çalışmaların belirlenen alanlara dağılım yüzdeleri (Percentage of academic and sectoral studies in each field)

Şekil 1’den de görülebileceği gibi sosyal ağ verileri 11 farklı alanda farklı amaçlar için %3 ile %16’lık oranlar arasında kullanılmaktadır. Bu oranlar incelendiğinde sosyal ağ verilerinin %16’lık bir oranla en çok ‘devlet stratejilerinin belirlenmesi ve yürütülmesi’ alanında kullanıldığı görülmüştür. Bu durum devletlerin sosyal ağ verisinin önemini anlaması ve bu durumu değerlendirmeye alarak hem akademik hem sektörel anlamda çalışmalar yürütmesi açısından umut vericidir. Sosyal ağ verisinin devlet stratejilerinin belirlenmesi alanında kullanımını sırasıyla %14 ile ‘marka satış ve pazarlama kriterlerinin belirlenmesi’, %11 ile ‘suçların çözümlenmesi ve aydınlatılması’ alanı takip etmektedir. Tablo 2’ye bakıldığında bu makale çalışmasında yapılan sınıflandırma sonucunda ‘devlet stratejilerinin belirlenmesi ve yürütülmesi’, ‘kullanıcı profillerinin çıkarılması ve kişilik tahmini’, ‘tavsiye sistemlerinin geliştirilmesi’ ve ‘çıkarma yapma’ alanlarında sektörel projelerden çok akademik çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Dolayısıyla bu alanda yapılacak olan sektörel çalışmalara ihtiyaç olduğu ve yapılan akademik çalışmaların sektöre taşınmasını destekleyecek projelere gerek duyulduğu görülmüştür. Bu duruma tersten bakıldığında ise ‘marka satış ve pazarlama kriterlerinin belirlenmesi’, ‘suçların çözümlenmesi ve aydınlatılması’, ‘eğitim alanında değerlendirmelerin yapılması’ ‘duygu ve düşünce analizi’, ‘kişiyeye uygun reklamların üretilmesi’ ve ‘ülkelerin tartıştığı konuların tespiti’ alanlarında sektörün akademiye olan üstünlüğü göze çarpmaktadır. Dolayısıyla bu alanlarda akademik anlamda boşluk olduğu ve yürütülecek akademik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Ayrıca ülkemizde sosyal ağ verilerinin özellikle eğitim alanında etkin bir şekilde kullanıldığı ve yeni sosyal ağlar geliştirilerek öğrencilerin hizmetine sunulduğu elde edilen sonuçlar arasındadır. Bu durum ülkemizin, sosyal ağların sosyal verinin önemini etkili bir şekilde özümlediğini ve dünya çapında başarılı projeler geliştirdiğini kanıtlar niteliktedir.

Bunlara ek olarak, özellikle suçların belirlenmesi ve aydınlatılması konularında polis ofisleri ve kolluk kuvvetleri tarafından sosyal verinin ülkemizde ve dünyada etkili bir şekilde kullanıldığı gerçek hayat örnekleriyle sunulmuştur. Bu durum devletler açısından umut vaat edici nitelikte olmakla birlikte

vatandaşlar açısından sosyal ağlarda bilgi güvenliği kavramının daha dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur.

Dolayısıyla, sosyal ağları ve sosyal ağ verisini bilgi güvenliği açısından değerlendirerek bu alanda yapılmış akademik ve sektörel projeleri inceleyen çalışmalara da oldukça ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecek çalışmalar için sosyal ağlarda bilgi güvenliği meselesini değerlendiren çalışmaların yapılması ve mevcut çalışmaların incelenmesi bizler için yol haritası olarak belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

İnsanlar arası iletişimin çevrimiçi ortama da taşınması gereksinimiyle birlikte sosyal ağlar günümüz dünyasında gitgide popülerleşen platformlar haline gelmiştir. Sosyal ağlar üzerinden yapılan kişisel ve kurumsal paylaşımlar arttıkça da sosyal veri olarak da adlandırılan sosyal ağ verileri hem akademinin hem de endüstrinin ilgisini çekmeye devam etmektedir. Bu kapsamda bu makale çalışmasında, sosyal ağ verilerinin kullanım alanları 11 farklı başlık altında sınıflandırılarak her bir alanda yapılmış olan akademik çalışmalar ve hayata geçmiş sektörel projeler incelenmiştir. 71 akademik çalışma, sektörel proje ve haberler incelenerek yapılan bu sınıflandırma işlemi ile sosyal ağ verisine ihtiyaç duyan hangi alanlarda ne kadar çalışma yapıldığı yüzdelik bir ifade ile gözler önüne serilerek hangi alanlarda daha çok çalışma yapılması gerektiği gerçeği gösterilmiştir. Ayrıca akademinin veya sektörün daha egemen olduğu alanlar da gösterilerek bu alanlarda var olan ihtiyaç sunulmuştur. Yapılan bu çalışma ile sosyal veri kullanımı ile gerçekleştirilecek çalışmalara bir vizyon kazandırılarak araştırmacılara yön gösterecek bir çalışma yapılmış ve bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre,

- Sosyal ağ verisinin büyüklüğünün zetabyte seviyesine günümüzde, ülkemizde ve dünyada bu verilerin öneminin her geçen gün biraz daha iyi anlaşıldığı,
- Akademi ve sektörün sosyal veriyi farklı alanlarda kullanma yöneliminin arttığı,
- Yapılan sınıflandırma sonucunda ‘devlet stratejilerinin belirlenmesi ve yürütülmesi’, ‘kullanıcı profillerinin çıkarılması ve kişilik tahmini’, ‘tavsiye sistemlerinin geliştirilmesi’ ve ‘çıkartım yapma’ alanlarında akademik çalışmaların daha ağır bastığı,
  - ‘Marka satış ve pazarlama kriterlerinin belirlenmesi’, ‘suçların çözülmesi ve aydınlatılması’, ‘eğitim alanında değerlendirmelerin yapılması’, ‘duygu ve düşünce analizi’, ‘kişiyeye uygun reklamların üretilmesi’ ve ‘ülkelerin tartıştığı konuların tespiti’ alanlarında ise sektörün akademiye olan üstünlüğü,
- Bu alanlarda da yürütülecek akademik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu,
- Büyük veriyi analiz etmek için pek çok yöntem, araç ve teknolojinin günümüzde mevcut olduğu fakat bunları sınırlı grupların kullandığı,
- Sosyal medyada araştırma yapmak ve büyük veriyi analiz etmek için özel yazılım ve donanımlara ihtiyaç duyulması ve akademik ve sektörel çalışmaların artırılmasının önündeki en büyük engelin bu ihtiyaç olduğu

görülmektedir.

Ayrıca, her bir alan için sosyal ağ verisinin önemi değerlendirildiğinde,

- Sosyal ağlarda bilgi güvenliği ve kişisel gizlilik yaklaşımlarının gündemde olan konulardan birisi olduğu fakat sosyal ağlarda bilgi güvenliği kavramının hem akademik hem de sektörel çalışmalarda büyük bir titizlikle ele alınması gerektiği,
- Sosyal ağ verisini oluşturan kullanıcıların bu platformlarda paylaşım yaparken kişisel ve kurumsal bilgi güvenliğine göre hareket etmeleri ve



- Bu sınıflandırma çalışmasına ek olarak sosyal ağlarda bilgi güvenliği çalışmalarının da bu çalışmada kullanılan metodoloji ile değerlendirilmesi gerektiği

elde edilen sonuçlar arasındadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yavanoglu, U., Gunduz, S., Sagiroglu, S. "Sosyal Konum Paylaşımlarından Adli Profil Çıkarılması için Yeni Bir Yaklaşım," First International Symposium on Digital Forensics and Security, Elazığ, 440-445, 2013.
- [2] İnternet: We are social " We are Social" <http://wearesocial.net/>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [3] İnternet: Google Analytics "Google Analytics ile Sosyal Medya Ölçümü" <http://www.google.com.tr/intl/tr/analytics/features/social.html>, Son Erişim Tarihi: 25.01.2016.
- [4] İnternet: BoomSocial "Sosyal Medya Ölçümleme Raporlama Analiz" <http://www.boomsocial.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [5] İnternet: Dekatlon Buzz "Sosyal Medya İletişim Ajansı" <http://www.dekatlonbuzz.com.tr>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [6] İnternet: Brandwatch "Social Media Monitoring Tool" <http://www.brandwatch.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [7] İnternet: Temizel, T. T. "Electronic Word of mouth communication" Social Media Analytics Ders Notu (<https://online.metu.edu.tr/netclassR/lecturenotes/155311/index.html>), 2013.
- [8] Brown, J., Broderick, A. J., Lee, N. "Word of mouth communication within online communities: conceptualizing the online social network", Journal of interactive marketing, Cilt 21, No 3, 2-20, 2007.
- [9] İnternet: Monitera "Monitera" <http://www.monitera.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [10] İnternet: Sense Monitoring "Sensekit" <http://www.sensekit.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [11] İnternet: Temizel, T. T. "Social media as business" Social Media Analytics Ders Notu (<https://online.metu.edu.tr/netclassR/lecturenotes/155311/index.html>), 2013.
- [12] Sterne, J., Social Media Metrics: How to measure and optimize your marketing investment, John Wiley & Sons, Inc, New York, A.B.D., 2010.
- [13] Zappen, J. P., Harison, T. M., Watson, D. "A new paradigm for designing e-government: web 2.0 and experience design", International conference on Digital Government Research, Montreali, 17-26, 2008.
- [14] Bhuiyan, M. S. H. "E-Government Applications in Bangladesh -Status and Challenges", 4th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, Beijing, China, 255-260, 2010.
- [15] Demirbaş, M. "e-devlet ve sosyal medyanın kullanımı", Anel ARGE, 1-42 (2013).
- [16] İnternet: Crumbs "Crumbs, Places and Augmented reality in Social Networks" <http://crumbs.tid.es>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016.
- [17] İnternet: ntvmsnbc "Devlet memurlarına 'Facebook' tavsiyesi" <http://www.ntvmsnbc.com/id/25029312i>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2016.

- [18] İnternet: Radikal "Devlet sosyal medyayı Mavi Oda'dan izleyecek" [http://www.radikal.com.tr/turkiye/devlet\\_sosyal\\_medyayi\\_mavi\\_odadan\\_izlenecek-1140191](http://www.radikal.com.tr/turkiye/devlet_sosyal_medyayi_mavi_odadan_izlenecek-1140191), Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [19] İnternet: "Devlet Sosyal Medyayı 'Mavi Oda'dan Denetleyecek" <http://sosyalmedya.co/devlet-sosyal-medyayi-mavi-odadan-denetleyecek>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [20] Yavanoglu, U., Caglar, B., Milletsever, O., Colak, M., Cakir, S., Sagiroglu, S. "Intelligent Approach for Identifying Political Views over Social Networks", IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, Miami, Florida, 281-287, 2013.
- [21] Hoffman, S., Rackers, M., Beverungen, D., Becker, J. "Old Blunders in New Media? How Local Governments Communicate with Citizens in Online Social Networks", International Conference on System Sciences, Hawaii, 2023-2032, 2013.
- [22] Yi, M., Oh, S. G., Kim, S. "Comparison of social media use for the U.S. and the Korean governments", Government Information Quarterly, Cilt 30, No 3, 310-317, 2013.
- [23] Mossberger, K., Wu, Y., Crawford, J. "Connecting citizens and local governments? Social media and interactivity in major U.S. cities", Government Information Quarterly, Cilt 30, No 4, 351-358, 2013.
- [24] Abdelsalam, H. M., Reddick, C. G., Gamal, S., Alshaar, A. "Social media in Egyptian government websites: Presence, usage, and effectiveness", Government Information Quarterly, Cilt 30, No 4, 406-416, 2013.
- [25] İnternet: Twitter "Twitter" <https://twitter.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [26] Lee, K., Palsetia, D., Narayanan, R., Patwary, M. A., Agrawal, A., Choudhary, A. "Twitter Trending Topic Classification", IEEE International Conference on Data Mining Workshops, Vancouver, 251-258, 2011.
- [27] Nikolov, S., Shah, D. "A Nonparametric Method for Early Detection of Trending Topics", Department of EECS, Massachusetts Institute of Technology, 2012.
- [28] İnternet: MIT "Predicting what topics will trend on Twitter" <http://web.mit.edu/press/2012/predicting-twitter-trending-topics.html>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [29] Ma, Z., Sun, A., Cong, G. "On predicting the popularity of newly emerging hashtags in twitter", Journal of the American Society for Information Science and Technology, Cilt 64, No 7, 1399-1410, 2013.
- [30] Ishikawa, S., Arakawa, Y., Tagashira, S., Fukuda, A. "Hot topic detection in local areas using Twitter and Wikipedia", ARCS Workshops (ARCS), Munich, 1-5, 2012
- [31] Cataldi, M., Di Caro, L., & Schifanella, C. "Emerging topic detection on twitter based on temporal and social terms evaluation", Tenth International Workshop on Multimedia Data Mining, Washington DC, 4-13, 2010.
- [32] Li, N., Chen, G. "Sharing location in online social networks", Journal IEEE Network, Cilt 24, No 5, 20-25, 2010.
- [33] He, W., Liu, X., Ren, M. "Location cheating: a security challenge to location-based social network services", International Conference on Distributed Computing Systems, Minneapolis, 740-749, 2011.

- [34] Noulas, A., Scellato, S., Mascolo, C., Pontil, M. "An Empirical Study of Geographic User Activity Patterns in Foursquare", International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, Barcelona, 2011.
- [35] Cheng, Z., Caverlee, J., Lee, K., Sui, D. "Exploring Millions of Footprints in Location Sharing Services", International Conference on Weblogs and Social Media, Barcelona, 2011.
- [36] Fusco, S., Michael, K., Michael, M., Abbas, R. "Exploring the Social Implications of Location Based Social Networking", International Conference on Mobile Business, Athens, 230-237, 2010.
- [37] Quercia, D., Kosinski, M., Stillwell, D., Crowcroft, J. " Our twitter profiles, ourselves: predicting personality with twitter", IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk, and Trust, Boston, 80-185, 2011.
- [38] Hamburger, Y. A., Vinitzky, G. "Social network use and personality", Computers in Human Behavior, Cilt 26, No 6, 1289-1295, 2010.
- [39] Han, E. H. S., Karypis, G. "FeatureBased Recommendation System", Conference on Information and Knowledge Management, Bremen, 446-452, 2005.
- [40] Feitosa, R. M., Santos, A. L. S., Labidi, S., Santos, N. "Social Recommendation in Location-Based Social Network using Text Mining", International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, Bangkok, 67-72, 2013.
- [41] Kwon, H. J., Hong, K. S. "Personalized Real-time Location-tagged Contents Recommender System Based on Mobile Social Networks", IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, 558-559, 2012.
- [42] Özcan, A., Ögüdücü, Ş. G. "A Recommendation Framework for Mobile Phones Based on Social Network Data", International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, Berlin, 139-150, 2010.
- [43] İnternet: İletken "Kurumsal ve Size Özel Çözümler" ", Son Erişim Tarihi: 20.06.2016.
- [44] İnternet: Cisco "Social Media: The New Crime Fighting Tool" <http://newsroom.cisco.com/featurecontent?type=webcontent&articleId=1289540>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2016.
- [45] İnternet: WikiCrime "Mapping crimes collaboratively" <http://www.wikicrimes.org/main.html;jsessionid=645AD909E3150C69919C03265695F552>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [46] İnternet: LexisNexis "Role of Social Media in Law Enforcement Significant and Growing" <http://www.lexisnexis.com/en-us/about-us/media/press-release.page?id=1342623085481181>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [47] İnternet: CNN "Police embrace social media as crime-fighting tool" <http://www.cnn.com/2012/08/30/tech/social-media/fighting-crime-social-media>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [48] Zainudin, N. M., Merabti, M., Jones, D. L. "Online Social Networks As Supporting Evidence: A Digital Forensic Investigation Model and Its Application Design", International Conference on Research and Innovation in Information Systems, Kuala Lumpur, 1-6, 2011.
- [49] Gunduz, S., Yavanoglu, U., Sagiroglu, S. "Predicting next location of Twitter users for surveillance", International Conference on Machine Learning and Applications, Miami, Florida, 267-273, 2013.

- [50] Seaman, J., Tinti-Kane, H. "Social media for teaching and learning", Pearson Survey Research Group, 1-32, 2013.
- [51] Koç, M., Karabatak, M. "Sosyal ağların öğrenciler üzerindeki etkisinin veri madenciliği kullanılarak incelenmesi", International Computer & Instructional Technologies Symposium, Elazığ, 1-6, 2011.
- [52] Gülbahar, Y., Kalelioğlu, F., Madran, R. O. "Sosyal Ağların Eğitim Amaçlı Kullanımı", Türkiye'de İnternet Konferansı, İstanbul, 2010.
- [53] Ajjan, H., Hartshorne, R. "Investigating faculty decisions to adopt Web 2.0 technologies: Theory and empirical tests", Internet and Higher Education, Cilt 11, No 2, 71-80, 2008.
- [54] İnternet: EBA "Eğitim Bilişim Ağı" <http://www.eba.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [55] İnternet: Digital Yerliler "Digital Yerliler" <http://digitalyerliler.com>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2016.
- [56] İnternet: SMILE - "Social Media in Learning and Education" [www.eun.org/teaching/smile](http://www.eun.org/teaching/smile), Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [57] İnternet: Temizel, T. T. "Sentiment Analysis", Social Media Analytics Ders Notu (<https://online.metu.edu.tr/netclassR/lecturenotes/155311/index.html>), 2013.
- [58] Ceron, A., Curini, L., Mlacus, S., Porro, G. "Every tweet counts? How sentiment analysis of social media can improve our knowledge of citizens' political preferences with an application to Italy and France", New Media & Society, Cilt 1, No 1, 1-19, 2013.
- [59] Baracho, R. M. A., Silva, G. C., Ferreira, L. G. F. "Sentiment analysis in social networks: a study on vehicles", CEUR Workshop Proceedings, 132-143, 2012.
- [60] İnternet: Sentiment140 "Discover the Twitter sentiment for a product or brand" <http://www.sentiment140.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [61] İnternet: Repustate "Sentiment analysis and social media analytics" <https://www.repustate.com/>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [62] İnternet: SentimentAnalizi "Türkçe sentiment analizi - Botego" <http://www.sentimentanalizi.com>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [63] Alterovitz, S. S. R., Mendelsohn, G. A. "Relationship goals of middle-aged, young-old, and old-old internet daters: An analysis of online personal ads", Journal of Aging Studies, Cilt 27, No 2, 159-165, 2013.
- [64] İnternet: Facebook Power Editor "Facebook Power Editor" <https://www.facebook.com/ads/manage/powereditor>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [65] İnternet: Türkiye Gazetesi "Facebook kişiye özel donatılacak" <http://www.turkiyegazetesi.com.tr/bilimteknoloji/115251.aspx>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [66] İnternet: AdAge blogs "Let Facebook Test New Ads Before Writing Them off" <http://adage.com/article/editorials/facebook-test-ads-writing/149688/>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
- [67] Tang, C., Ross, K., Saxena, N., Chen, R. "What's in a Name: A Study of Names, Gender Inference, and Gender Behavior in Facebook", International conference on Database systems for advanced applications, Hong Kong, 344-356, 2011.
- [68] Tang, W., Zhuang, H., Tang, J. "Learning to Infer Social Ties in Large Networks", Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases Lecture Notes in Computer Science, 6913, 381-397, 2011.

- [69] Iglesias, J. A., García-Cuerva, A., Ledezma, A., Sanchis, A. “Social network analysis: Evolving Twitter mining”, International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Budapest, 1809-1814, 2016.
- [70] Chatfield, A., Brajawidagda, U. “Twitter tsunami early warning network: a social network analysis of Twitter information flows”, 23rd Australasian Conference on Information Systems, Geelong, 1-10, 2012.
- [71] Stepanyan, K., Borau, K., Ullrich, C. “A social network analysis perspective on student interaction within the twitter microblogging environment”, 10th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Sousse, 70-72, 2010.



## Türk Müziği Telli Çalgılarının Akustik Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

Emir DEĞİRMENLİ<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi Türk Müziği Devlet Konservatuvarı, Çalgı Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar / Ankara

### Öz

Bu çalışmada, telli çalgılarının akustik özelliklerinin araştırılması amacıyla kullanılan titreşim ve ses analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu analizlerden, ses yayını ve uzun süreli ortalama spektrum ölçümleri, Türk müziği çalgılarından ud, tanbur ve kanun üzerinde uygulanmıştır. Çalgı icra edilmeden (çalınmadan) yapılabilen ve darbe testine dayanan ses yayını analizi ile yedi farklı udun, tanbur ve kanunun rezonans bölgeleri tespit edilmiştir. Ayrıca kromatik bir şekilde icra edilen çalgılardan elde edilen seslerin uzun süreli ortalama spektrumları ölçülerek, iki analiz yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen grafiklere, işitme sistemimizin çalışma prensibinin hesaba katılması ve istatistiksel analiz uygulanabilmesi amacıyla 1/3 oktav bant düzeltilmesi yapılmıştır. Farklı tür çalgılar üzerinde test edilen her iki analiz yönteminin, çalgıların ses karakterini belirlemede önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı tür çalgı üzerinde yapılan benzerlik araştırmasında, her çalgı için iki yöntemden elde edilen eğrilerin korelasyon katsayıları hesaplanmış, bunların frekans aralığına bağlı olarak 0.76-0.92 aralığında değiştiği, yani yüksek oranda benzerlik olduğu görülmüştür. Böylece icracının deney sürecini etkileme ihtimalini ortadan kaldıran ve aynı zamanda icra sonuçları ile uyumlu olan ses yayını analizinin, çalgının ses karakterini belirlemede objektif bir ölçüm yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 21/12/2016

Düzeltilme: 24/01/2017

Kabul: 14/02/2017

### Anahtar Kelimeler

Telli çalgılar

Rezonans

Modal analiz

Titreşim analizi

Akustik analiz

### The Methods Used for The Acoustic Analysis of The Turkish Stringed Instruments

### Abstract

In this study, the vibration and sound analysis methods, which are used to investigate the acoustic properties of stringed instruments, were investigated. Based on this analysis, sound radiation and long-term average spectrum measurements were applied to the Turkish music instruments oud, tanbur and kanun. Seven different oud, tanbur and kanun resonances were determined by the sound radiation analysis based on the impact test, which can be done without performing (playing) the instruments. In addition, the long-term average spectra of the sounds, which were obtained from the instruments performed in a chromatic play, were measured and the results of the two analytical methods were compared. In order to take the hearing system's working principles into account in the calculations, and to perform statistical analysis, 1/3 octave band correction was applied to the graphs obtained from the test results. Both methods of analysis, which were tested on different types of instruments, were found to be important in determining the sound characteristics of the instruments. For each instrument, the correlation coefficients of the curves obtained from the two methods varied from 0,76 to 0,92 depending on the frequency range, thus it was concluded that there is a high degree of similarity. In conclusion, our results show that, the sound radiation test, which is not affected by inter-performer variability while still being comparable to performing the instrument, can be used as an objective measurement method to determine the tone quality of the instruments.

### Keywords

Stringed instruments

resonance

Modal analysis

Vibration analysis

Acoustic analysis

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Telli çalgılarda ses oluşumunun açıklanması amacıyla uzun zamandır titreşim ve ses analizlerinden faydalanılmaktadır. Özellikle modal analiz ile elde edilen rezonans bölgeleri (normal modlar), adeta çalgıların akustik parmak izleri gibi düşünülmekte ve ses oluşumuna etkileri araştırılmaktadır. Çalgının ses

karakterini önemli ölçüde belirleyen bu rezonans bölgeleri, çalgıların yapıldığı malzemelerin esneklik, özkütle gibi materyal özellikleri ve gövde şekli, kalınlık gibi yapısal özellikleri tarafından şekillenmektedir [1].

Literatürde, Türk müziği çalgılarının titreşim ve ses özellikleri ile ilgili yapılmış sınırlı sayıda çalışmaya ulaşılmış olmakla birlikte, batı müziği çalgılarını konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar ele alındığında, telli çalgılarda ses oluşumunun araştırılmasında farklı yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Araştırılan çalgının yapısına ve ilgilenilen araştırma konusuna göre yöntemler çeşitlense de, bunların birçoğunda modal analiz ölçüm düzenek ve ekipmanları kullanılmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalardan bazılarında modal analiz yöntemlerinin çalgılardaki uygulamaları üzerinde durulmuş, ölçüm yöntemi ve ekipmanları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir [2-5]. Ayrıca çalgıların akustik özelliklerinin araştırıldığı çalışmalardan birçoğunda, titreşim ölçümünün yanında, ses yayılım analizlerinin de yapıldığı görülmüştür.

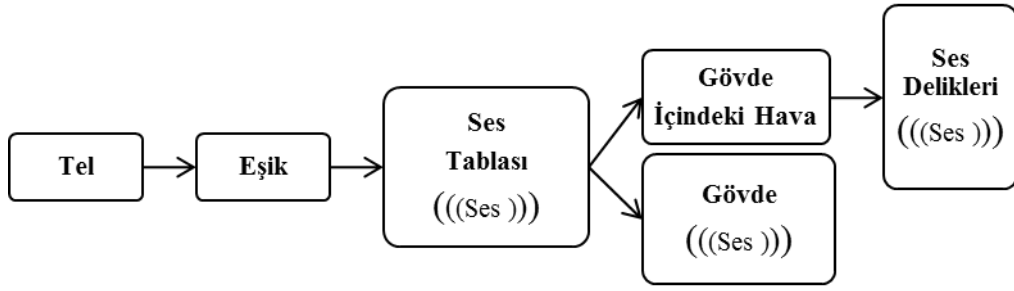
Temelde modal analiz yöntemlerini benimseyen çalışmalar, çalgıların doğal titreşimlerinin ses oluşumuna katkılarını ele almaktadır. Bunlar genellikle gitar [6-11], keman [12], timpani [13], arp [14] gibi batı müziği çalgıları üzerine yoğunlaşmış, az sayıda tanbur [15,16] ve ud [17] gibi Türk müziği çalgıları üzerine yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Ayrıca bu alanda yapılan çalışmalardan bazılarında çalgıların eşik mobilitesi (bridge mobility) üzerinde durulduğu görülmüştür. Mobilite ya da mekanik admitans (mechanic admittance) ölçümlerinde çalgı gövdesinin, eşige uygulanan uyarıcı bir kuvvet karşısındaki titreşim tepkisi elde edilmekte, böylece çalgıların ses üretimindeki verimliliği frekansa bağlı olarak ortaya konmaktadır [18-22].

Çalgıların gövde titreşimlerinin görüntülenmesi özellikle çalgı yapımcılığı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, çalgılara uygulanan çeşitli titreşim görüntüleme tekniklerini ele alan çalışmalar da incelenmiştir. Bunlar, lazer interferometri [23-25] ve çalgı yapımcıları arasında sıklıkla tercih edilen Chladni metodu [26] gibi, titreşimlerin anlık gözlemlenmesine imkân veren teknikleri ve frekans cevap fonksiyonlarını (frequency response Function, FRF) kullanarak titreşim şekillerinin sonradan belirlendiği modal analiz yazılımı [1] içermektedir.

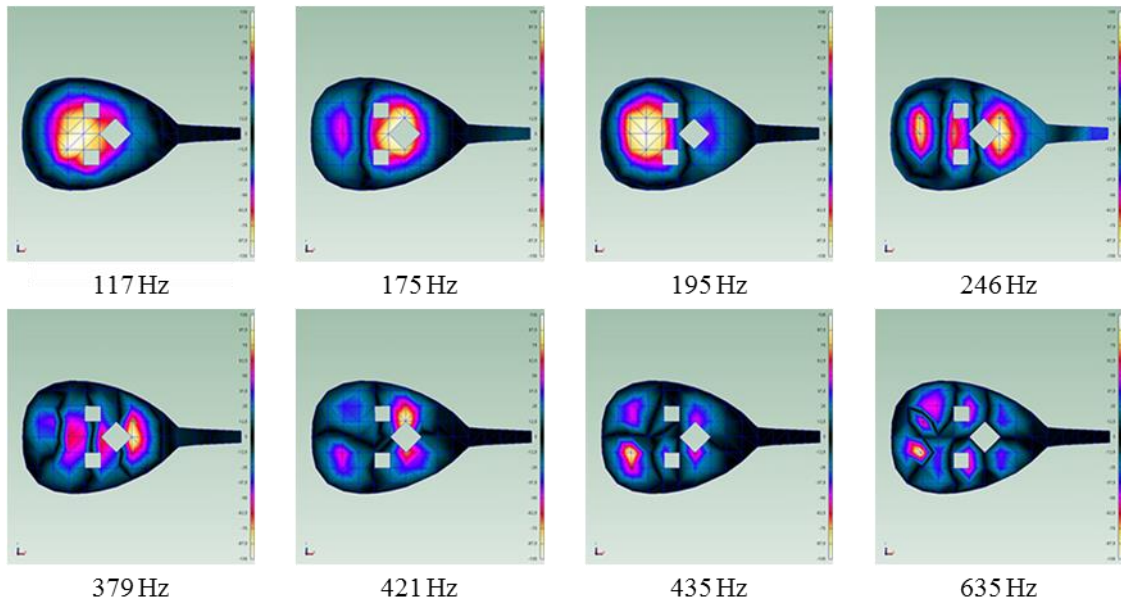
Yukarıda belirtilen çalışmaların birçoğu çalgıların titreşim ve ses özellikleri arasında ilişkiyi kurmaya yöneliktir. Ancak icrayla elde edilen sesler ve çalgının titreşim özellikleri arasındaki ilişkinin kurulduğu araştırmalar sınırlı sayıdadır [10, 16]. Bu çalışmada ise, çalgıların titreşime bağlı ses yayılım ölçümleri ve icra sonucu elde edilen nihai seslerin analizleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Burada amaç, çalgı akustiği araştırmalarında kullanılmak üzere icracıdan bağımsız, ancak icra sonuçlarıyla uyumlu bir ölçüm yönteminin ortaya konmasıdır. Böylece çalgıların yapısal değişkenlerine bağlı olarak tekrar eden akustik deneylerin, icracı tarafından etkilenmeden objektif bir şekilde yapılması sağlanacaktır. Ayrıca bu kapsamdaki bir araştırmanın ud, tanbur ve kanun gibi Türk müziği çalgıları üzerinde ilk defa yapılmış olmasının da çalışmaya ayrıca önem kattığı düşünülmektedir.

## 2. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Çalgılarda ses oluşum (yayılım) süreci çeşitli yapısal titreşimlere dayanmaktadır. Bunlardan nefesli ve vurmali olanlar doğrudan ses üretebilirken, telli çalgılarda ses dolaylı olarak oluşmaktadır. Bunun sebebi, telin tek başına yeterli miktarda ses enerjisi üretemeyecek kadar küçük yüzey alanına sahip olmasıdır. Bu nedenle telde oluşan titreşimin, akustik olarak daha verimli olan geniş yüzeyli gövde elemanlarına iletilmesi gerekmektedir [27]. Böylece telli çalgılarda ses oluşumu tel, eşik, ses tablası, gövde ve gövde içindeki havanın titreşim özellikleri ve bu bölümlerin birbirleriyle olan ilişkilerini içeren karmaşık bir süreç (Şekil 1) olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle çalgının yapım sürecinde seçilen malzemenin mekanik özellikleri ve yapım tekniğine bağlı olarak şekillenen titreşim modları, çalgının ses karakterinin belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Çalgıların rezonansları olarak da adlandırılan bu modlardan her biri, modal analiz sonucunda elde edilebilen frekans, sönüm faktörü ve mod şekli (Şekil 2) ile karakterize edilmektedir.



**Şekil 1.** Telli çalgılarda genel ses oluşum diyagramı (Diagram of sound production process of string instruments)



**Şekil 2.** Ud çalgısının doğal titreşim modları (Normal modes of oud)

Bu çalışma sürecinde elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, birçok ses analiz yönteminin temelini oluşturan Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Bu dönüşüm sayesinde, zaman uzayında tanımlı  $f(t)$  fonksiyonu ile frekans uzayında tanımlı  $F(W)$  arasında geçiş sağlanabilmektedir. Fourier dönüşümü aslında sonsuz sayıda bir dizi üzerinde ve sürekli bir fonksiyon olarak tanımlıdır. Ancak, deneysel olarak yapılan ölçümler sınırlı ve belirli bir örnekleme sayısına sahiptir. Bu nedenle özellikle deneysel ölçümlerin analizinde ayrık fourier dönüşümünün (discrete fourier transform – DFT) pratik bir uygulaması olan FFT(Fast Fourier Transform) analizi kullanılmaktadır. Çeşitli FFT algoritmaları bulunmasına rağmen hepsinin temel amacı, DFT hesaplarını kolaylaştırılarak hesaplama süresinin azaltılmasıdır[28]. Çalışmada, zaman değişkenine bağlı olarak ölçülen titreşim ve ses verilerinin frekans spektrumları Bruel&Kjaer (B&K) firmasının Pulse Access FFT analizörü kullanılarak elde edilmiştir.

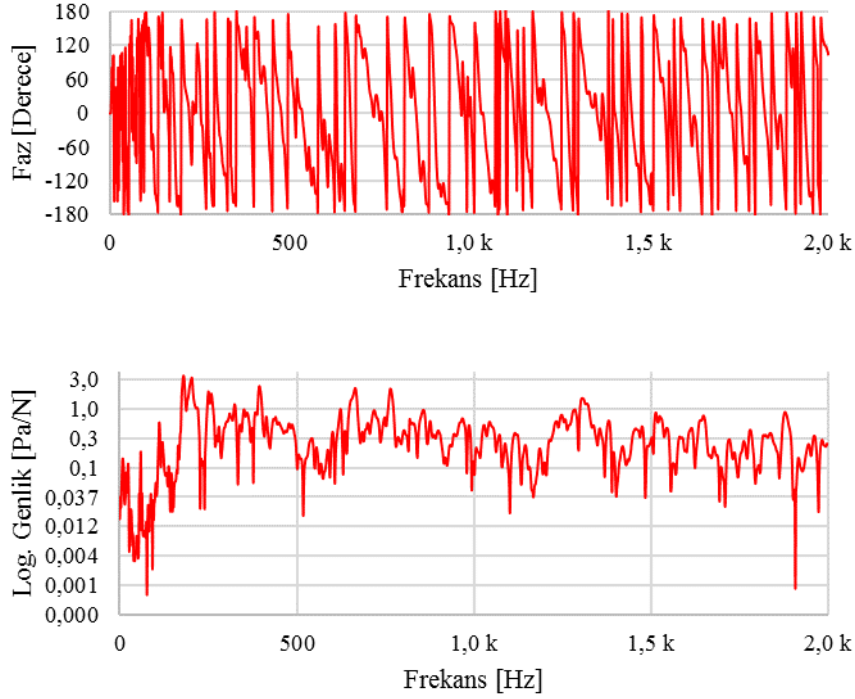
Çalışmanın titreşim analizi bölümünde, yapının ölçülebilir bir kuvvet ile uyarılması ve buna karşı cevabının elde edilmesi esasına dayanan modal analiz testi temel alınmıştır. Bu analizde kuvvet, sarsıcı (shaker) veya darbe çekici (Impact Hammer) ile yapıya aktarılabilir, yapının cevabı ise mekanik, optik veya dolaylı yoldan (örneğin mikrofonla ses yayını ölçümü) ölçülerek frekans cevap fonksiyonları elde edilmektedir [1]. Doğrusal sistemlerdeki girdilerin ve çıktılarının Fourier spektrumları arasındaki oranı olarak tanımlanan frekans cevap Fonksiyonu eşitlik (1) de verilmiştir.



$$H(f) = Y(f)/X(f) \quad (1)$$

Burada  $X$  giriş ve  $Y$  çıkış sinyali olmak üzere,  $X(f)$  ve  $Y(f)$ ,  $x(t)$  ve  $y(t)$  nin Fourier spektrumlarını temsil etmektedir.

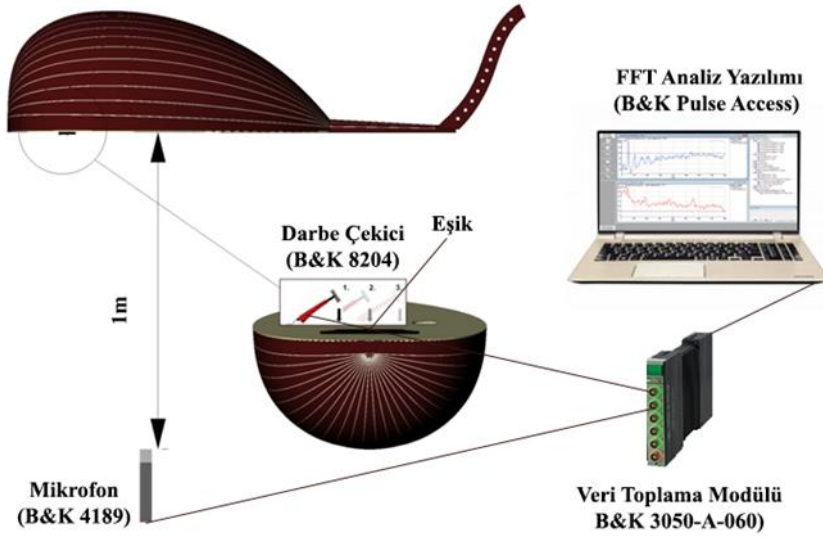
Farklı uygulama şekilleri olmasına karşın; deneysel modal analizde, frekans-tepki fonksiyonlarının elde edilmesi, yapıların dinamik özelliklerinin analizinde kullanılan en temel ölçümdür. Pratikte kuvvet ve cevap değerleri, zaman kümesinde ölçülmekte ve FFT analizörü ile frekans kümesine dönüştürülmektedir. Elde edilen FRF grafiklerinde genlik ve faz bilgisi birbirinden ayrı bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 3).



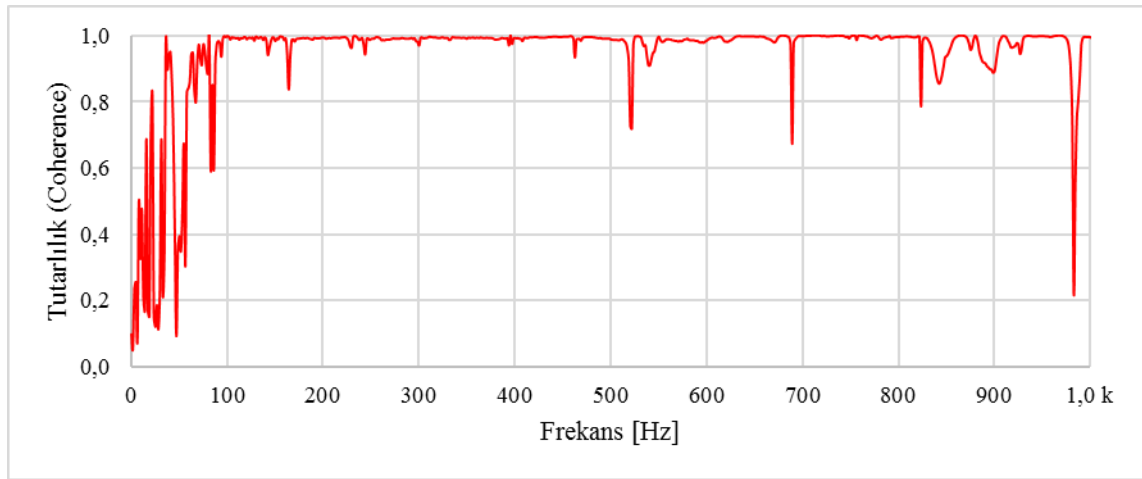
**Şekil 3.** FRF grafiği örneği; alt bölüm genlik, üst bölüm faz bilgisini vermektedir (Sample of FRF graph; Upper part gives phase, lower part gives amplitude)

Bu çalışmada ilk olarak Martin Schleske tarafından kemana uyarlanan ses yayılım analizi incelenmiştir [2]. Bu analiz, kemanın rezonans bölgelerinin tespiti ve ses üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu ölçüm yöntemi Türk müziği çalgıları üzerinde ilk kez uygulanmaktadır. Veri toplama sürecinde, çalma pozisyonunda tutulan yedi farklı ud, eşiklerinin bas, orta ve tiz tellerinin bağlı olduğu üç yerden darbe çekici ile vurularak ikaz edilmiştir (Şekil 4). Her bir darbe sonucunda oluşan ses mikrofon ile ölçülerek FFT analizörüne gönderilmiş ve FRF'ler (Ses basıncı/kuvvet) elde edilmiştir. Ayrıca tanbur ve kanun üzerinde farklı tınısal karakterlerin ortaya konması amacıyla aynı ölçüm tekrarlanmıştır.

Ses yayılım analizinde, en az iki kanallı FFT analizörüne ihtiyaç duyulduğundan, B&K (Bruel&Kjaer) firmasının 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama modülü ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca yine sensör olarak aynı firmanın B&K 8204 Minyatür Darbe Çekici ve B&K 4189-A-021 Mikrofon ve Ön Yükselticisi tercih edilmiştir. Ölçümler 0-10 kHz arasında, 6400 FFT çizgi sayısında yani 1,563 Hz frekans çözünürlüğünde yapılmış, her bir FRF değeri için beş ölçümün ortalaması alınmıştır. Bu beş ölçümün birbirleriyle uyumunu gösteren tutarlılık (coherence) grafiği (Şekil 5) takip edilmiş, özellikle rezonans bölgelerinde, tutarlılık eğrisinin 1'e yakın olması şartı aranmıştır.



**Şekil 4.** Ses yayılım ölçümünün ud çalgısı üzerinde uygulanışı (Application of the sound radiation measurement on the oud)



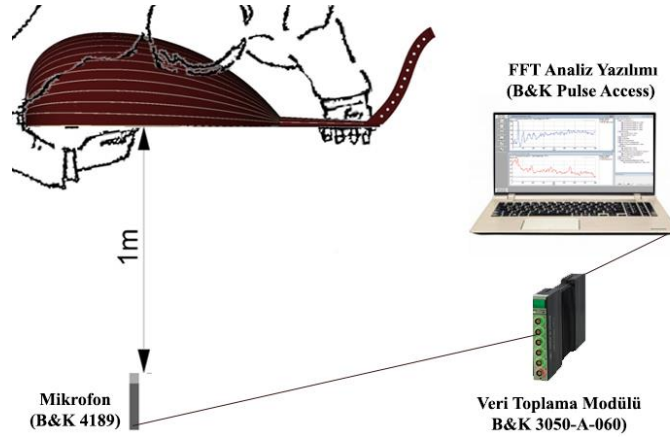
**Şekil 5.** Tutarlılık grafiği (Coherence graph)

Telli çalgıların seslerinin karakterize edilmesi için kullanılan yollardan diğer biri de, belirli bir icra süresince ölçülen seslerin ortalama spektrumlarıdır. uzun süreli ortalama spektrum (long-term average spectra, LTAS) olarak isimlendirilen bu yöntemle elde edilen sonuçlar; icracının, ortamın ve seçilen eserin izlerini de taşımasının yanında, çalgının kendi karakteristiğini önemli oranda yansıtmaktadır[8].

Bu analiz yönteminde temel ölçüm olan  $G(k)$  ortalama spektrum (autospectrum) değeri, FFT analizörü tarafından eşitlik (2)'ye göre hesaplanmaktadır. Burada  $S(k)$  fourier spektrumunu,  $E\{\}$  ise ortalama operatörünü temsil etmektedir.

$$G(k) = E\{|S(k)|^2\} \quad (2)$$

Analiz sürecinde B&K (Brüel & Kjaer) firmasının 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama modülü ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca yine sensör olarak aynı firmanın B&K 4189-A-021 mikrofon ve ön yükselticisi tercih edilmiştir. Ölçümler 0-10 kHz arasında, 6400 FFT çizgi sayısında yani 1,563 Hz frekans çözünürlüğünde yapılmıştır. %66.67 üst üste binme (Overlap) oranında 90 s ortalama alınmıştır. Yedi farklı udun her bir teli kromatik olarak icra edilerek ölçüm alınmıştır (Şekil 5). Ayrıca tınısal farklılıkların ortaya konması amacıyla tanbur ve kanun üzerinde de benzer ölçümler yapılmıştır.



**Şekil 5.** Ud çalgısına LTAS analizi uygulanması (application of the LTAS measurement on oud)

Bu analiz sürecinde her tele vurulduğunda çalgı sadece tek bir frekans değil, telin temel frekansı ve birçok harmonik ile ikaz edilmektedir. Böylece ölçüm süresinin sonunda çalgı gövdesi çok fazla sayıda frekansa maruz kalmakta ve bu frekansların bazılarını diğerlerine göre az ya da çok yükseltmektedir. Çalgıların karakteristik tınlarının oluşmasında önemli bir yere sahip olan bu frekansa bağlı genlik yükselmeleri, uzun süreli ortalama alınarak ortaya konmaktadır. Böylece bu ölçüm ile, çalgının rezonans bölgelerinin ses oluşumuna etkileri hakkında bilgi elde edilebilmektedir.

Çalışmada ayrıca ses yayılım analizinden elde edilen sonuçlar ile çalgının kromatik icrası sürecinde alınan uzun süreli ortalama spektrum analizleri karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hesapların yapılabilmesi amacıyla tüm grafiklere 1/3 oktav bant düzeltmesi uygulanmıştır. 1/3 oktav bant düzeltmesi, özellikle sesin tonal karakterinin belirlenmesinde, işitme sistemimizin çalışma prensibiyle benzerlik gösterir. Bu nedenle, çalgıların sahip oldukları tonal karakterlerin ortaya konmasında önemli bir yere sahiptir [2]. Sonrasında, elde edilen verilerin görsel olarak karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde eğrileri çizilmiş ve aralarındaki benzerliğin istatistiksel olarak belirlenmesi için korelasyon katsayıları eşitlik (3)'e göre hesaplanmıştır.

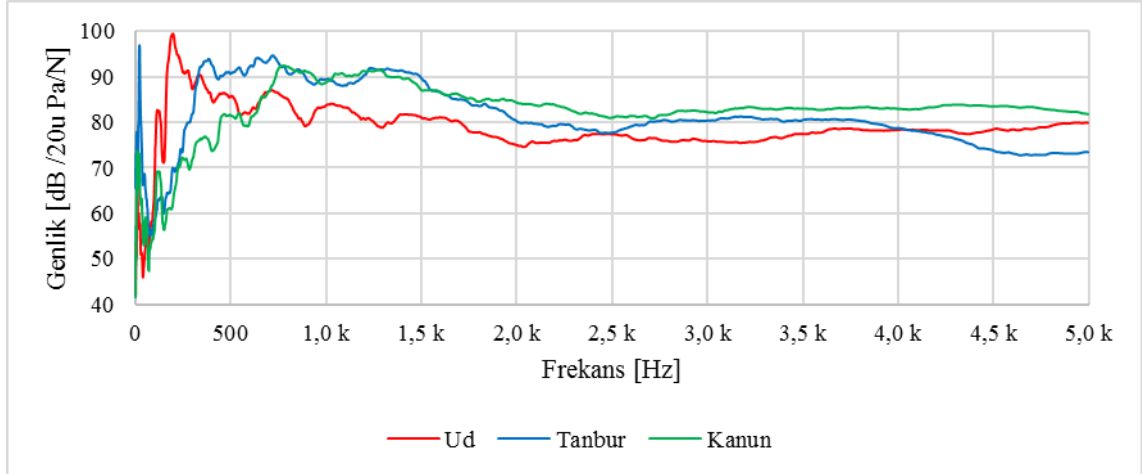
$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2} \sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} \quad (3)$$

Burada  $\bar{X}$ ,  $X$  değişkenlerinin  $\bar{Y}$ 'se  $Y$  değişkenlerinin ortalamasıdır.

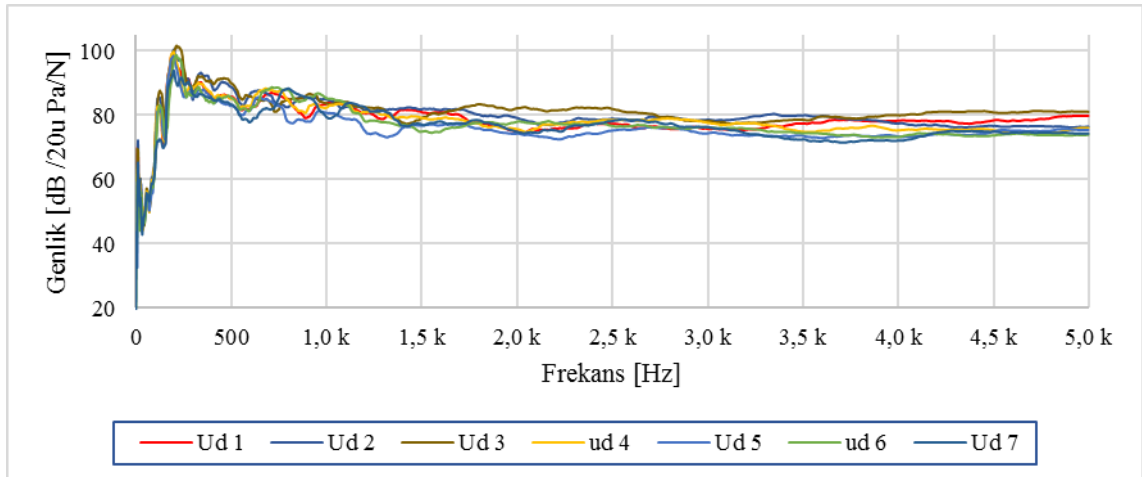
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmanın bu bölümünde ses yayılım ve uzun dönem ortalama spektrum analizleri ile elde edilen sonuçlar ortaya konmuş ve çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. İlgilenilen analiz yöntemlerinin, çalgılar arasındaki tınsal farklılıkları hangi oranda ortaya koyduğunun anlaşılması için ilk olarak ud, tanbur ve kanun gibi birbirinden farklı tınsal karakterdeki çalgılar ele alınmıştır. Ayrıca 7 tane farklı ud üzerinde ölçümler yapılarak aynı tür (benzer tını karakteri) çalgılarda analiz yöntemlerinin sonuçları incelenmiştir.

İlk olarak ses yayılım analizinden elde edilen FRF'lerin ortalamaları alınarak 1/3 oktav bant düzeltmesi yapılmış ve elde edilen genlik eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlar, Scheleske tarafından çalgının Rezonans Profili olarak adlandırılmaktadır [12]. Çalgı akustiğinde, FRF'lerin doğrudan değerlendirilmesi, ortalamalarının alınması ya da belirli bir grafikte üst üste çizilerek çalgıların titreşim ve akustik özelliklerinin araştırılması sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada da hem bu yöntem benimsenmiş hem de istatistiksel analize başvurulmuştur.



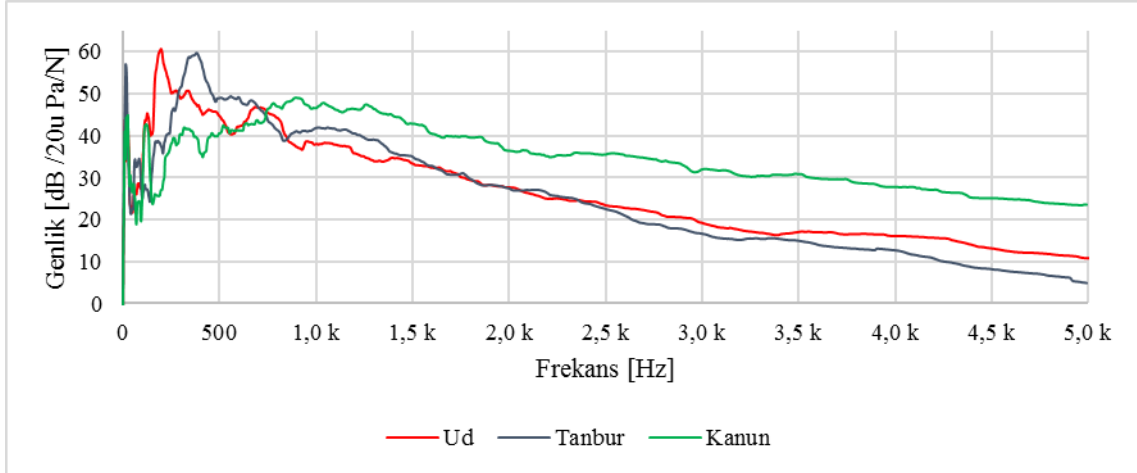
**Şekil 6.** Ud (kırmızı), tanbur (mavi) ve kanunun (yeşil) rezonans profilleri -1/3 oktav bant düzeltmesi (Resonance profiles of oud (red), kanun (blue) and tanbur (green) – 1/3 octav band smoothing)



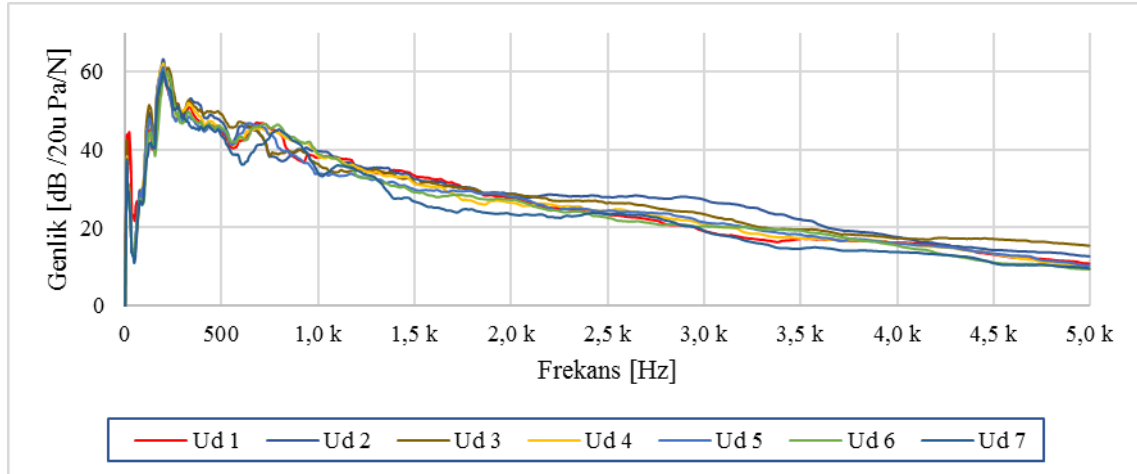
**Şekil 7.** Yedi farklı udun rezonans profilleri -1/3 oktav bant düzeltmesi (Resonance profiles of seven different ouds – 1/3 octav band smoothing),

Ses yayılım analizinden elde edilen grafiklerden Şekil 6 incelendiğinde; ud, tanbur ve kanun gibi farklı tınısal yapıdaki çalgıların eğrilerinde büyük farklılıklar görülmüştür. Şekil 7'deki analiz grafiği ise; malzeme, yapım yılı ve yapım yeri olarak birbirinden farklı 7 udun sonuçlarını içermesine rağmen, benzer eğriler görmek mümkündür. Bu, telli çalgılardaki rezonans bölgelerinin, çalgıların karakteristik tınlarını belirlemede oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Benzer bir değerlendirme, Şekil 8 ve Şekil 9'daki LTAS analiz grafikleri için yapıldığında aynı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Böylece bu iki analiz yönteminin, çalgıların ses karakterini belirleyen rezonans bölgelerinin araştırılmasında oldukça önemli bir yere sahip

olduğu sonucuna varılmıştır.

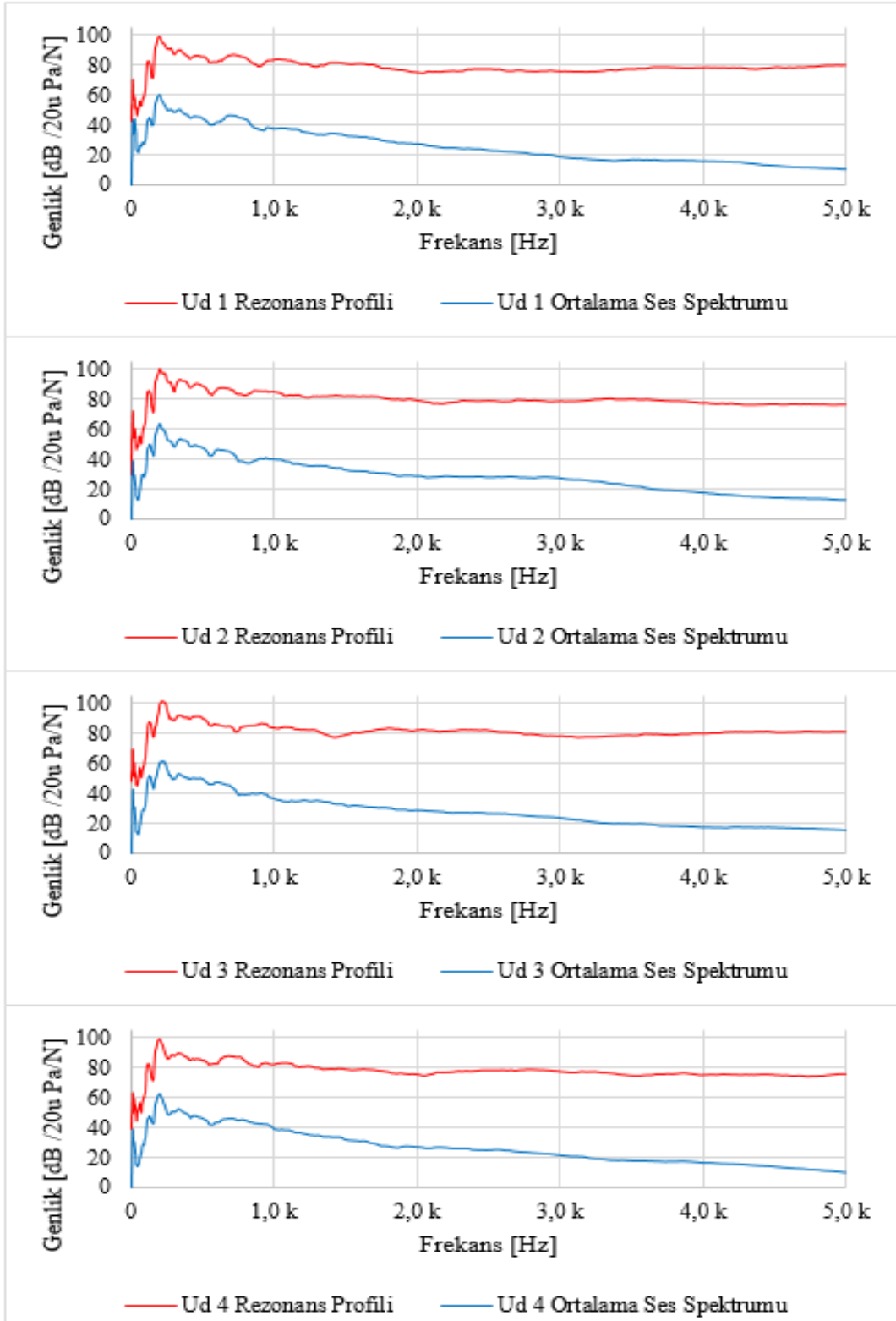


**Şekil 8.** Ud (kırmızı), tanbur (mavi) ve kanunun (yeşil) ortalama ses spektrumları -1/3 oktav bant düzeltmesi (Average sound spectrum of oud (red), kanun (blue) and tanbur (green) – 1/3 octave band smoothing)

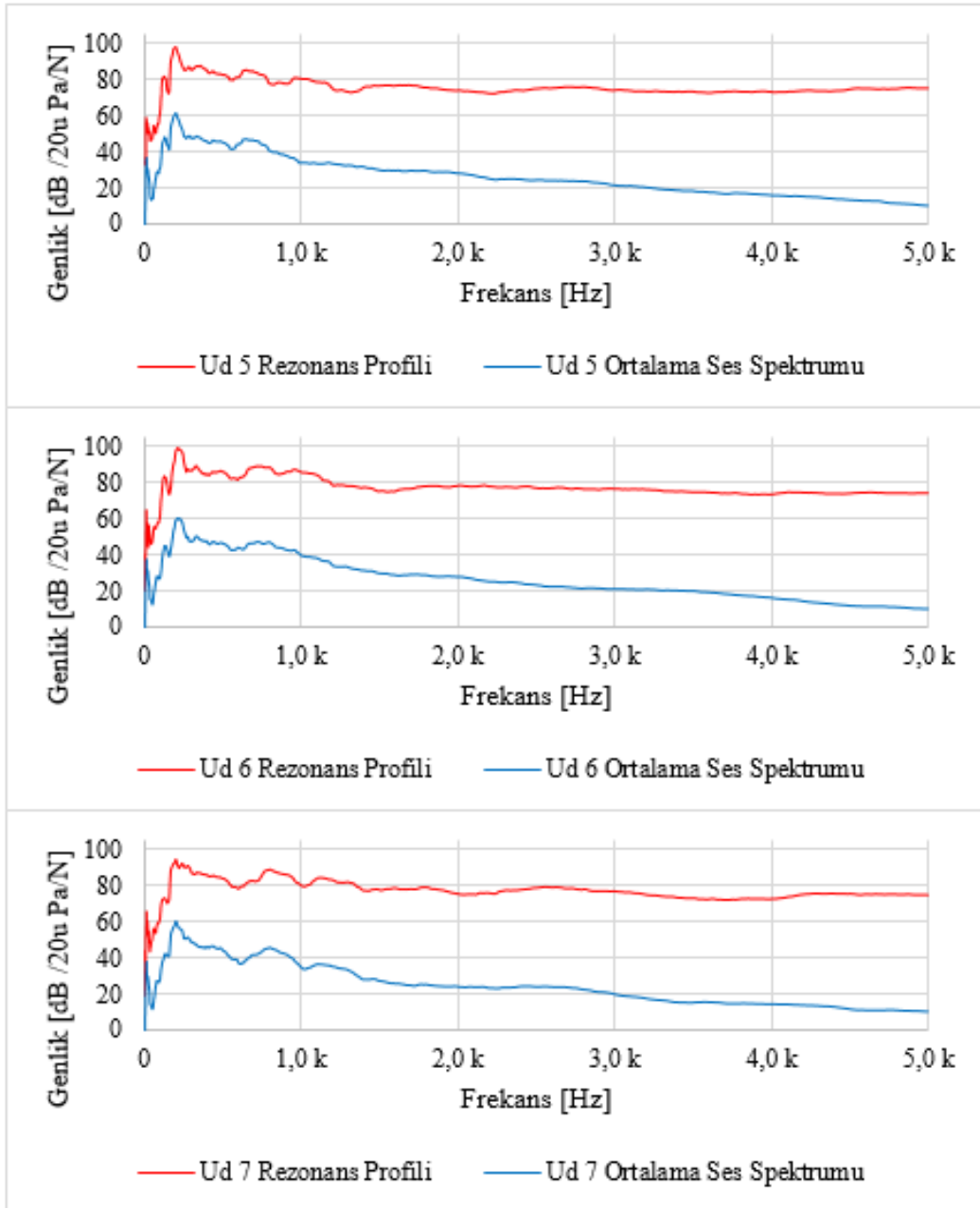


**Şekil 9.** Yedi farklı udun ortalama ses spektrumları -1/3 oktav bant düzeltmesi (Average sound spectrum of seven different ouds – 1/3 octave band smoothing)

Çalışmada ayrıca ses yayılımı ve LTAS analiz sonuçlarının benzerlikleri araştırılmıştır. Bunun için 7 ayrı ud üzerinde her iki analiz yöntemiyle ölçümler yapılmıştır. Ses yayılım analizinin tüm tellerden gelen titreşimleri temsil edebilmesi amacıyla ud eşliğinin bas, orta ve tiz bölgelerinden darbe çekiciyle vurularak ikaz edilmiştir. Oluşan ses cevabı mikrofon ile ölçülerek FRF'ler hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Aynı zamanda; her bir ud, kromatik bir şekilde icra edilerek LTAS grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilere 1/3 oktav bant düzeltmeleri yapılarak, her iki analiz yöntemi sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 10). Ek olarak eğrilerin benzerliklerinin ortaya konması amacıyla, her ud için belirli frekans bölgelerinde korelasyon sabitleri hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 10.** 7 ayrı udun rezonans profili (kırmızı) ve LTAS (mavi) analiz sonuçları karşılaştırma grafikleri- 1/3 oktav bant düzeltmesi (comparison graph of resonance profile (red) and LTAS (blue) analysis on 7 different ouds -1/3 Octave band smoothing)



**Şekil 10.** (devamı) 7 ayrı udun rezonans profili (kırmızı) ve LTAS (mavi) analiz sonuçları karşılaştırma grafikleri-1/3 oktav bant düzeltmesi (comparison graph of resonance profile (red) and LTAS (blue) analysis on 7 different ouds -1/3 Octave band smoothing)

Şekil 10'daki grafikler görsel olarak incelendiğinde, ses yayını ölçümünden elde edilen rezonans profili eğrisi ile aynı çalgının icra edilmesi sonucu elde edilen ortalama ses spektrum eğrileri benzerlik göstermektedir. Ayrıca, her bir çalgı için hesaplanan korelasyon katsayılarının frekansa bağlı olarak 0.76-0.92 aralığında değişmesi (Tablo 1), iki analiz yöntemi arasındaki yüksek orandaki benzerliği istatistiksel olarak da ortaya koymaktadır.

**Tablo 1.** Ses yayını ve LTAS analiz sonuçlarının korelasyon katsayıları (correlation coefficient of sound radiation and LTAS analysis results )

Korelasyon Katsayısı	UD-1	UD-2	UD-3	UD-4	UD-5	UD-6	UD-7
100 Hz-1 kHz	0,91377	0,84019	0,82264	0,85845	0,87929	0,85246	0,77151
100 Hz-2 kHz	0,90977	0,89489	0,83474	0,91113	0,89921	0,92417	0,82317
100 Hz-3 kHz	0,92201	0,93162	0,83715	0,88840	0,89237	0,90455	0,85430
100 Hz-4 kHz	0,85879	0,88528	0,85849	0,90044	0,89015	0,92690	0,90858
100 Hz-5 kHz	0,76499	0,90020	0,78613	0,90842	0,82396	0,92010	0,89172
100 Hz-10 kHz	0,84431	0,90446	0,91132	0,92052	0,87009	0,80507	0,89110

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, telli çalgıların akustik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden ses yayını ve LTAS Analizleri, Türk müziği çalgılarından ud, kanun ve tanbur üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak, çalgıların titreşim özelliklerini doğrudan ölçüldüğü ve çalgı eşiğinin darbe çekiciyle ikaz edilmesine dayanan ses yayını, sonrasında da çalgılar kromatik olarak icra edilerek uzun süreli ortalama ses spektrumları ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonuç grafikleri görsel ve istatistiksel olarak karşılaştırılarak, hem çalgıların titreşim özelliklerinin ses oluşumu üzerindeki önemli etkisi saptanmış, hem de iki analiz yönteminin büyük oranda benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, tamamen modal analiz yöntemlerinin kullanıldığı ses yayını analizinin, çalgının icra edilmesiyle oluşan sesin karakterini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır. Böylece bu yöntem ile çalgılar üzerinde tekrar eden akustik deneyler, insan faktörü (icracı) tarafından etkiye uğramadan, objektif bir şekilde yapılabilecek ve çalgının genel ses karakteriyle ilgili güvenilir veriler elde edilebilecektir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından, “60/2015-01: Türk Müziği Tellî Çalgılarının Titreşim ve Akustik Analizleri” projesi kapsamında desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Schleske, M., “Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part I. Analysis of Design, Material, Varnish, and Normal Modes”, Catgut Acoustical Society Journal, Vol. 4, No. 5 (Series II), 50-64, 2002.
- [2] Curtin J., “Measuring Violin Sound Radiation Using an Impact Hammer”, Violin Society Of America, Vol XXII, No 1.,186-209, 2009.
- [3] Mansour H. and Scavone G.P., “A Comparison of Vibration analysis Techniques Applied to the Persian Setar”, the Acoustics 2012 Nantes Conference, France, 1737-1741, 2012.
- [4] Morset L.H., “A Low-Cost Pc-Based Tool for violin Acoustics Measurements”, Catgut Acoustical Society Journal, Vol. 4, No. 4 (Series II), 2001.
- [5] Elwali W., Satakopan H. ve Shauche V., “Modal Parameter Estimation Using Acoustical Modal Analysis”, Society for Experimental Mechanics, Vol XXVIII, 2010.
- [6] Perry I., “Sound Radiation Measurements on Guitars and Other Stringed Musical Instruments”, Doctoral Thesis, Cardiff University, 2014.



- [7] Czajkowska M., “Subjective Assessment of Classical Guitars’ Tonal Quality in Relation to Spectral Analysis”, European Acoustics Association, Krakow, 2014
- [8] Rossing D. (1988), Sound Radiation from Guitar, Amerikan Lutherie, 16.
- [9] Jahnsen E.V., “A Comparison of Acoustical Measurements and Hologram Interferometry Measurements of The Vibrations of a Guitar Top Plate”, STL-QPSR Journal, Volume 10, No 2-3, 36-41, 1969.
- [10] Caldersmith G.W. and Jansson E.V., “Frequency Response and Played Tones of Guitars, STL-QPSR Journal, Volum 21, No 4,50-61, 1980.
- [11] Sali S., Kopac J., “Measuring a frequency Response of a Guitar”, University of Ljubljana, Slovenia
- [12] Schleske, M., “Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part II. Psychoacoustic Analysis and Use of Acoustical Tools”, Catgut Acoustical Society Journal, Volume 4, No 6 (Series II), 43-61, 2002.
- [13] Tronchin L., “Modal Analysis and Intensity of Acoustic Radiation of the Kettledrum”, Acoustical Society of America, 117 (2),926-933, 2005.
- [14] Carrou J., Gautier F., Dauchez N. “Acoustic Radiation of the Concert Harp in the low Frequency Range”, 12th International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, 11-14 July 2005.
- [15] Erkut, C., Tolonen, T., Karjalainen M. and Valimaki, “Acoustical analysis of tanbur a Turkish long-necked lute”, The 6th International Congress on Sound and Vibration, Copenhagen, Denmark, 1999.
- [16] Taçoğlu, A., “Tanburda kullanılan ses tablalarında rezonans özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997
- [17] Değirmenli, E., “Telli çalgılardaki ses tablası titreşimlerinin Tını Üzerindeki Etkileri – Ud Örneği”, VI. Uluslararası Hisarlı Ahmet Sempozyumu, 139-153, Kütahya, 28-30 Mayıs 2015.
- [18] Elie B., François Gautier and Bertrang D., “Analysis of Bridge Mobility of Violins”, Stockholm Music Acoustics Conference, Sweden, 54-59, 2013.
- [19] Paiva G., Ablitzer F., Gautier F., Secail-Geraud M. ve Santos J.M.C. (2016), “Measuring the Mobility Matrix at the Bridge of Stringed Instruments by the Wire Breaking Method”, CFA 2016 Wisshno, Le Mans, 383-389, 2016.
- [20] Freour V., Mansour H., Saitis C. and Scavone G. (2014), “Evaluation and Classification of Stell String Guitars Using Bridge Admittances”, ISMA 2014, Le Mans, France, 317-321, 2014.
- [21] Woodhouse J., Langley R.S. “Interpreting The Input Admittance of Violins and Guitars”, Acta Acustica United with Acustica, Vol 98, 611-628, 2012.
- [22] Elie B., François Gautier and Bertrang D. “Analysis of Bridge Admittance of Plucked String Instruments in The High Frequency Range”, Forum Acusticum, Denmark, 2011.
- [23] Richardson, B. (2010, September), “Mode studies of plucked stringed instruments: Application of holographic”, Second Vienna Talk, University of Music and Performing Arts, Vienna, Austria, 129-132, 19-21 September 2010.
- [24] Jovicic J. and O., “The Effect of Bracing on Guitar Resoanace”, The Big Red Book of American Lutherie, Volume 1, 402, 1987.
- [25] Bakarezos, M., Gymnopoulos, S., Brezas, S., Orfanos, Y., Maravelakis, E., Papadopoulos, C. I., Tatarakis, M., Antoniadis A., and Papadogiannis N. A. “Vibration Analysis of The Top Plates of

Traditional Greek String Musical Instrument”, Thirteenth International Congress on Sound and Vibration, Vienna, Austria. 2-6 July 2006.

- [26] Değirmenli, E., “Akustik Ölçüm Teknikleri Kullanılarak Üretilen Ud Ses Tablasının Titreşim Özelliklerinin Kontrolü Üzerine Yeni Bir Yöntem Önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, 2014.
- [27] Rossing, T. D. (Editor), “Springer Handbook of Acoustics”, Springer Science+Business Media LLC, New York, 2010.
- [28] Kammler D. W., “A First Course in Fourier Analysis”, Prentice-Hall, USA, 2000.



## Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım Uygulamaları ile Dijital Çağda Tasarımcının Değişen Rolü

Gizem BODUR<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>PARK CAM Sanayi ve Ticaret A.Ş.

### Öz

Dördüncü Endüstriyel Devrim adıyla son yıllarda gündeme gelen internet tabanlı yeni teknolojiler, yaklaşım ve oluşumlar tasarım alanında ön plana çıkmaktadır. Tasarımcı yeni projelerde işbirlikçi bir yaklaşımla farklı uzmanlık alanları ile bir araya gelerek süreci yürütür. Bu proje süreçlerinin ve tasarımcının rolünün çözümlenebilmesi için mekan örneği olarak güncel ve hızla yaygınlaşan Fab Lab kuruluşu ile süreçte ara yüz elemanı olarak yer alan, veri paylaşımı ve işleme görevlerini gerçekleştiren Bulut Tabanlı Tasarım sistemi ele alınmıştır. Sadece tasarım algısı ve uzmanlık alanları içerisindeki rol değişimi değil tasarım sürecinin kendisindeki değişim de makale içerisinde konu edilmiştir. Makalede tasarım sürecini tasarlama hassasiyetinin oluşmasında eğitimin, tasarımcının ve tasarımın rolü üzerinden çeşitli örneklemeler yapılmış, yapılan derin görüşmeler ve yarı yapılandırılmış görüşmeler ile rol değişimleri için genel bir çerçeve oluşturulması amaçlanmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 07/01/2017

Düzeltilme: 26/04/2016

Kabul: 02/05/2016

### Anahtar Kelimeler

Fabrikasyon Laboratuvarı

Bulut Tabanlı Tasarım

Dijital Çağ

Tasarımcının Rolü

### Designer's Changing Role By Applications of Fab Lab and Cloud Based Design in The Digital Age

### Abstract

Arising changes with Fourth Industrial Revolution, new internet-based technologies, approaches and formations manifest themselves in the area of design. In novel projects, the designer administrates the process via a collaborative approach which includes cooperation with distinct fields of expertise. For these project processes and the role of the designer to be resolved, Cloud Based Design system which is an interface component with Fab Lab institution; that has spread rapidly as a means to an example of space; is taken under consideration. Not only the design perception and its alterations in the fields of expertise but also the changes in the design process itself is surveyed in the article. In this very article, exemplifications are made on the role of education, designer and design, over formation of sensitivity for designing the design process. A framework for role alterations is aimed at profound and semi-structured interviews.

### Keywords

Fabrication Laboratory

Cloud Based Design

Digital Age

Designer's Role

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fab Lab (Üretim Laboratuvarı) ve Bulut Tabanlı Tasarım, bilgisayar destekli tasarımdaki gelişmelerle birlikte literatüre ve günlük konuşma diline katılmaya başlayan yeni terimlerdir. Bilgisayar destekli tasarım programlarını ve üretim araçlarının kullanan her tasarımcının bildiği gibi, bu program ve araçlar, tasarım sürecini hızlandırmakta ve farklılaştırmaktadır. Tasarım süreci kendi içinde birçok aşamadan oluşur. Sıralama ve sonuca ulaşmada yöntem bazında farklı yaklaşımlar görülse de, tasarımın sıralı aşamalardan oluştuğu görüşü yaygındır. Ürün tasarımında belirli süreçlerin izlenmesi gerektiği yönündeki bu yaygın görüş, “ürün tasarımında süreç bazlı yaklaşım”<sup>1</sup> olarak bilinir. Hise’in aktif eylemler olarak tanımladığı bu

<sup>1</sup> Talke, K., Salomo, S., Wieringa, J. E., & Lutz, A. (2009). What about design newness? Investigating the relevance of a neglected dimension of product innovativeness. *Journal of Product Innovation Management*, 26(6), 601-615.

\*İletişim yazarı, e-mail: [gbodur@parkcam.com.tr](mailto:gbodur@parkcam.com.tr)

belirli tasarım süreci, eskiz çizimlerin yapılması, kaba fakat çalışır maketlerin hazırlanması, prototipin üretilmesi ve test edilmesi aşamalarından oluşur (Hise, 1989). Hise tarafından tanımlandığı şekliyle bu süreç, geleneksel tasarım süreci olarak adlandırılabilir. Tasarımda yeniliği sorguladığı makalesinde Talke, süreç bazlı yaklaşımların yanı sıra ürünün sonucuna odaklanmış çalışmalara işaret eder. Örneğin “inovasyon” a dayalı yaklaşımlarda, ürünün kullanıcı tarafından algısı ön plandadır (Talke, vd, 2009). Kullanıcı algısı veya inovasyon gibi birçok faktörün ürün formuna yansımada, süreç bazlı tasarımdaki aktif eylemlerin yanı sıra, aşamalardaki farklılıkların tasarım sürecini yeniden şekillendirdiği görülmektedir.

Endüstriyel Tasarımcı, mevcut sistemde teknoloji ile kullanıcılar arasında ilişki sağlayacak ürünün biçimi üzerine çalışmaktadır (Heskett, 2013:60). Tasarımcı Heskett’in işaret ettiği gibi biçim oluşturma ağırlıklı bir rol üstlenir ve işlev, malzeme seçimi, üretim, sağlık gibi birçok kıstas, biçim oluşturma sürecinin içinde yer alır. Bu süreçte Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları, dijital çağda anlık veri depolama ve ortak işleme sistemleri gibi çözüm odaklı ve kolaylaştırıcı araçlarla disiplinler arası tasarım anlayışını ön plana çıkarmaktadır.

Fab Lab yani Fabrikasyon Laboratuvarı geleneksel üretim yöntemlerinin rehberliğinde yeni teknolojiye sahip üretim araçları ile dijital üretimin yapıldığı merkezlerdir. Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından başlatılmıştır ve 30 ülkede 200’den fazla tesisini bulunmaktadır (Url-1). Bir diğer kavram olan Bulut Tabanlı Tasarım farklı mekân ve zamanlarda işlenen verilerin bir ağ üzerinden paylaşılarak yeniden yapılandırılmasını sağlayan ve böylece tasarım ve üretim sürecini hızlandıran bir sistemdir (Url-2). Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamalarının tasarım kriterleri, proje alanları ve ürün eldeleri gibi temel özellikleri bakımından incelenmesi ve potansiyellerinin değerlendirilmesi gereken oluşumlardır. Bu değerlendirme ayrı ayrı platformlarda yapılabileceği gibi tek platformda da tasarım aracılığı ile bütünlük olarak incelenebilir. Proje süreçleri içerisinde her ikisinin de kritik noktaları birbirinden ayrılmaktadır. Böylece iki uygulamanın amaçları ve sonuçları da farklılaşmaktadır.

Gelişen iletişim teknolojileri ve bilgisayar kullanımının küresel bir yapıya ulaşması, bilgiyi dijitalleştirmiştir. Ortak projelerde çalışan farklı disiplinlerden kişiler bilgiyi hızlı, kolay, ekonomik ve güvenli şekilde paylaşabilmektedir (İnan ve Yıldırım, 2009). Ayrıca 3 boyutlu tarayıcı ve yazıcıların günlük kullanım alanlarına girmesiyle de tasarımcının rolünün değişip değişmediği tartışılabilir hale gelmiştir. Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamalarının her ikisinde de farklı disiplinlerle birlikte sürdürülen projelerde süreç kontrolü projelerin tamamlanmasında en önemli etkidir. Bu nedenle tasarımcının ortaya çıkacak ürünün her aşamasını kontrol altına alma sorumluluğu dijital çağın gereklilikleri arasındadır (Oxman, 2005).

Bu çalışmada endüstriyel tasarımcı, tasarım ve teknoloji ilişkisi, bu ilişki içerisinde tasarımcının diğer uzmanlık alanları ile doğrudan ya da dolaylı yoldan gerçekleşen etkileşimleri üzerine Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım örnekleri kullanılarak genel tanımlamalar yapılmıştır. Tasarım kavramının sürecinde ve içeriğinde değişim yaşadığını gösteren gelişmeler eğitim ve ticari kaygılar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Tartışma konusu olan tasarımcının rolündeki değişim gelişen teknoloji ile şekillenmekte, disiplinler arası metotlarla yeni yaklaşımlar ortaya çıkmaktadır. Değişimler tasarımcının eğitimindeki ve mesleki kariyerindeki yönelimleri etkilemektedir. Verilen örnekler ve tanımlamalar bağlamında bu çalışma değişimleri göstermede bir giriş niteliği taşımaktadır.

Çalışmada gelişen teknolojinin tasarım ve üretim alanındaki etkileri Dijital Çağ ve Dördüncü Endüstriyel Devrime Geçiş başlığında, uygulamaların başlıca özellikleri ile tasarım yaklaşımları Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım Oluşumları başlığında, yapılan incelemeler doğrultusunda tasarımcı için yeniden tanımlanan yetkiler Tasarımcının Değişen Rolü başlığında, bu doğrultuda tasarımcılarla yapılan 14 kişilik yarı yapılandırılmış görüşme soru ve bulguları Tasarımcıların Gözünden Değişen Rol başlığında, elde edilen bilgiler doğrultusunda tasarım ve tasarımcının niteliklerindeki değişimin önemi Sonuçlar ve Değerlendirme başlığında anlatılmıştır. Makale içeriği EK’te yer alan 2 derin görüşme kaydı ile desteklemiştir.

## 2. DİJİTAL ÇAĞ VE DÖRDÜNCÜ ENDÜSTRİYEL DEVRİME GEÇİŞ

İçinde bulunduğumuz yüzyılın dijital çağ olarak adlandırılması internet ağı ile birlikte teknolojik gelişmelere küresel anlamda erişimin sağlanması ile başlamıştır. Günümüze kadar endüstriyel gelişmelerin yüzyıllar içerisinde tarihte oluşturdukları basamaklar da mevcut sistemde meydana getirdikleri köklü değişimlere dayanır (Troxler, 2013). Mekanik buluşların devamında bilgisayar ve internet yoluyla dijital ortamların oluşması, sistem içerisinde kullanılan araçları değiştirmiş ve toplumda yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır.

Naboni ve Paoletti'nin büyüyen bir fenomen olarak tanımladıkları Üçüncü Endüstriyel Devrimi, dijital üretim araçları ve sonuç olarak ortaya çıkan üretimin demokratikleşmesinin yayılımıyla nitelendirmişlerdir (Naboni ve Paoletti, 2015: 7). Üretim araçlarının internete bağlanmasıyla bu devrim iki büyük değişikliğe neden olmuştur: İlki, işgücü sermayesi ayırımında köprü kuran uygun araçların büyük sermaye yatırımlarına ihtiyaç duymamasıyla, bireysel üretim yapabilen kişiler yeniden ortaya çıkmaktadır. İkincisi, dijital araçlar tasarım ve üretimi birbirine bağlayarak beyaz yaka ve mavi yaka ayırımında köprü kurmakta; böylece tasarımcı-üretici kavramı yeniden ortaya çıkmaktadır (Troxler, 2013).

Öngörülerini 2014 yılından itibaren paylaşılsa da özellikle 2016 yılına girilmesiyle birlikte Dördüncü Endüstriyel Devrim yeni bir paradigma olarak tanımlanmaktadır. Kendi kendinin otomasyonunu yapan sistemler, arttırılmış gerçeklik araçları, 3B tarayıcı ve yazıcılar tasarım ve üretim sektöründe süreçlerin yeniden kurgulanmasını sağlayan yenilikler haline gelmiştir. Siber fiziksel sistemlere dayalı üretim ile Endüstri 4.0 olarak adlandırılan akımda sistemler kendi içinde farklı uzmanlık alanlarından çözümler barındırmaktadır. Süreç planlamasındaki değişiklikte ürünün fikir tasarımından, asıl ürünün tüketiciye ulaşımına kadar geçen aşamaları kontrol altında tutmak ve akış içerisindeki farklı disiplinlerin birbirleri ile etkileşim halinde bulunmalarını sağlamak asıl amaç haline gelmektedir.

Artık üretim verimliliği ile değil; büyük veri, nesnelerin interneti, robot ve otomasyon teknolojilerini kullanarak "akıllı fabrikalar" kurma ve bu fabrikalarda akıllı ürünler üretme potansiyelleri ile rekabet söz konusu olmaktadır. Her alanda tasarım ve üretimin gerçekleştirilebileceği anlamına gelen Dördüncü Endüstriyel Devrim özellikle küçük ve orta ölçekli fabrikaların gelişimine imkan vermektedir.

Günümüzde sektör içerisindeki yatırımcılar büyük fabrikalar yerine bilgisayar kontrollü makinaların varlığına, ileri teknoloji ürünü yazılımlar ve yüksek güçte bilgisayarlar yerine açık kaynak yazılımları ile Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) araçlarına ilgi duymaktadır (Naboni ve Paoletti, 2015: 18). Yaratıcılık kavramı gelişen teknoloji ile küresel bir değere dönüşmekte, var olan bilgi aracısız olarak aktarılabilir. Tek aracı olan unsur internettir ki bu unsur da bir yol ya da geçiş alanı olarak düşünülebilir. İnternet üzerindeki sistemler geliştikçe bilgi aktarımı kusursuzlaşacak küresel bir toplum küresel yaratıcılıkla birlikte bütünleşik bir yapıya sahip olacaktır (Güneş, 2012). Açık kaynak yazılımları ile bilgi paylaşımı kültürü oluşturulmakta, sadece maddesel kullanım ürünleri değil proje konseptleri, inovasyon fikirleri ve sistem çözümlenmeleri gibi pek çok konuda paylaşım gerçekleştirilebilmektedir. Dijital çağda, fikirler çevrimiçi ticareti yapılan gerçek ürünler olarak tasarlanmaktadır (Sass, 2010).

## 3. FAB LAB VE BULUT TABANLI TASARIM OLUŞUMLARI

Dijital yöntemler, araçlar ve teknikler tasarım sürecinin merkezi haline gelmiştir. Tasarım fikri oluşturma ve kağıt eskiz süreçlerine ek olarak, hızlanan ve gelişen teknoloji ile tasarım süreci de kendini yenilemektedir. İnternet ağı üzerinden açık-ortak kaynak prensibiyle tasarım verilerine ve programlarına erişimle tek proje üzerinde birçok kişinin çalışması ve bilgi paylaşması mümkün hale gelmiştir. Dijital Çağın getirdiği yeni araç ve mekanlar ile işbirlikçi tasarım yöntemi de internetle desteklenerek sanallaşmış, geleneksellikten çıkmıştır (Baloğlu, 2014). Teknoloji ve yeni yaklaşımlarla tasarım disiplinleri de değişmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi geleneksel tasarım yöntemleri ürünün son halini merkeze alırken, çağdaş tasarım yöntemleri belirli bir amaç üzerine yoğunlaşarak ilerlemektedir.



**Şekil 1.** Geleneksel tasarım yöntemleri ve çağdaş tasarım yöntemleri şeması (Sanders ve Stappers, 2008)

Bir problem çözme süreci olarak tanımlanan tasarım disiplini çözüm odağı doğrultusunda dijital çağın koşullarına adapte olmakta ve bu adaptasyonda yeni tasarım metodolojileri ortaya çıkmaktadır. Bunlardan Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım iki ayrı oluşum olarak kendini göstermektedir.

### 3.1. Fab Lab'ın kavramsal içerikleri

Fabrikasyon Laboratuvarları farklı disiplinlerdeki kişilerin bir tasarım ve üretim ortamında bir araya gelerek fikir tasarımından prototip üretimine kadar tasarım sürecinin tüm aşamalarının aynı ortamda gerçekleştirildiği, ortak bir fiziksel etkileşimin sağlandığı merkezlerdir. Teknolojik imkânların beraberinde getirdiği dijital görüntü oluşturma, CNC tezgahları ve 3B yazıcılar sayesinde tasarlanan ürünler anlık deneyimlenebilmektedir. Gruplar halinde çalışmalar yapılabilen Fab Lablarda kişiler kendi uzmanlık alanları dışında süreç içerisinde farklı deneyimler kazanarak bilgi sahibi olabilmektedirler.

Uluslararası Fab Lab örgütü tarafından kabul edilen ve uygulanan belirli ilkeler bulunmaktadır. İlkeler şu şekilde belirtilmiştir:

- Fab Lab'lar, (neredeyse) her şeyi yapabilmek için sürekli artan bir çekirdek beceri envanterini paylaşır, böylelikle insanların ve projelerin paylaşılmasını sağlar.
- Fab Lab ağı tek bir üretim merkezinde yer almayıp, operasyonel, eğitimsel, teknik, finansal ve lojistik yardım sağlar.
- Fab Lablar kamusal birer kaynak olarak sunulur, çeşitli programlara randevulu erişimin yanında herkes için de açık erişim sunar.
- İnsanlara veya makinelere zarar vermemek için güvenlik sağlanmalıdır. Üretim laboratuvarının temizlik, bakım ve geliştirilmesine yardım edilmelidir. Belgeleme yapılarak eğitime katkı sağlanmalıdır.
- Fabrikasyon Laboratuvarında geliştirilen tasarım ve süreçler kişilerin dilediği şekilde yasal olarak korunabilir ve satılabilir, fakat bireylerin kullanması ve öğrenmesine açık kalmalıdır.
- Ticari ürünler Fab Lab dahilinde prototiplenebilir ve geliştirilebilir, ancak bu faaliyet diğer kullanımlarla çakışmamalıdır. Üretim laboratuvarının içine değil ötesine doğru gelişmelidir. Başarılarını arttıran kişinin Fab Lab ve ağlara fayda sağlamaları beklenir. (Url-3)

Fab Lablar halka açık bir kuruluş olmakla birlikte farklı yaş ve deneyimlere sahip kişiler tarafından ziyaret edilebilir, öğrenci ya da iş sahibi olma yeterliliği aranmaksızın herkesi yaratıcı, yenilikçi

ve gelecekçi düşünceye teşvik etmektedir. Gelecek 5-10 yılın ihtiyaç ve gereklilikleri düşünülerek oluşturulan projeler yürütülür. Fab Lab ağı üzerinden açık kaynak uygulaması ile bilgiler küresel olarak paylaşılmakta ve bu bilgiler bölgesel olarak Fab Lablarda benzer üretim araçları ile üretilebilmektedir.

Bu disiplinler arası kuruluş, kabaca entegre edilmiş eşli öğrenme ve kendin yap (DIY, do it yourself) yaklaşımı Fab Lab kullanıcılarını neredeyse her şeyi yapması (make almost anything) için cesaretlendirmektedir (Mostert-Van Der Sar vd., 2013). Dijital araçların kullanım yöntemlerinin de öğrenilmesi kişilerin becerilerini arttırmasını sağlamaktadır.

### 3.1.1 Fab Lab'da Üretim

Fab Lab merkezlerinin kurulması için belirli bütçeler ayrılması ve yatırımlar yapılması gerekmektedir. Bu yatırımlar devlet katkısı ve belediyeler tarafından gerçekleştirilmektedir. Fab City'lerin oluşumunda da en önemli etkenlerden biri maddi kaynaklar ve dolayısıyla elde edilen dijital üretim araçlarıdır. Fab Lab kurulumu için gerekli olan temel dijital üretim araçları proje merkezi tarafından belirlenmiş olup kurumun haftanın belirli günlerinde herkesin kullanımına açık olması gerekmektedir (Mühür, 2014).

Bu üretim laboratuvarlarında 3B tarayıcı ve yazıcı teknolojisinin şekil verdiği üretim teknikleri içerisinde farklı boyut ve işlevlerde 3 boyutlu yazıcılar (FDM, SLA, SLS, DLP, MJT, inkjet, STL teknolojileri), mikrodenetleyici programlama, lazer kesim, CNC tezgâhları, kalıp döküm araçları, elektronik dikiş makinesi, masa üstü CNC aracı ve dremel gibi el araçlarını içermektedir (Url-4). Fab Lablarda hızlı prototipleme (rapid prototyping) uygulaması da 4. Endüstriyel Devrimle birlikte değişime uğramış, yazılım ve bilgisayar mühendisliğindeki 'çevik' anlamıyla birleşmiş çevik hızlı prototipleme uygulamasına geçilmiştir.

Fab Lablarda üretimi yapılan ürünler prototip halinde yer almaktadır. Ancak herhangi bir seri üretim gerçekleşmemektedir. Çünkü burada amaç tasarım ve üretim süreci boyunca bilgi paylaşımında bulunarak öğrenme ve öğretme merkezi halinde projeyi yürütmektir. Kadir Has Üniversitesi, Fab Lab İstanbul Proje Koordinatörü Tahsin Demir ile yapılan derin görüşmede bahsedildiği gibi amacı yap-paylaş-öğren (*make-share-learn*) olan bu disiplinde yapılan çalışmalarda önceki çalışmaların süreçleri Fab Lab ağında bulunan açık kaynaktan gözlemlenebilmekte ve elde edilen bulgular yeni çalışmalara temel oluşturabilmektedir. Öğrenimin temel alınmasıyla farklı uzmanlık alanlarının yüz yüze etkileşimi sağlanmaktadır. Endüstriyel tasarım, mimarlık, mühendislik ve sanat dallarından olan kişiler uygulamalar dâhilinde birbirlerinden farklı bilgiler edinerek kendi çalışma alanlarına da katkıda bulunmaktadırlar. Tüm bu çalışmaların içerisinde ise inovasyon Fab Lab tasarım ve üretim merkezlerinin başlıca konusudur. İnovatif tasarımlarla hem teknolojik yenilik içeren hem de estetik yönü güçlü olan ürünlerin ortaya çıkarılması söz konusudur (EK, 14.05.2016).

### 3.1.2. Tasarım Eğitiminde Fab Lab

Tasarım eğitiminde öğrencilerden sadece birden fazla bileşeni bir araya getirerek yaratıcı bir süreç geçirmeleri değil, aynı zamanda bu süreci her defasında farklı araçlar ile yeniden oluşturabilme yeteneğini de eğitim süreci boyunca geliştirebilmeleri beklenmektedir (Öztürk, 2013). Üniversite bünyelerinde yer alan Fabrikasyon Laboratuvarları da öğrencilerin yaratıcı düşünce eğitimini teorikten pratiğe geçirmeleri için kolay ve verimli yollardan biridir. Karşılıklı öğrenmenin gerçekleştiği bu mekanlarda her türlü maket ve prototip üretim aracına sahip olunması öğrencilerin akıllarındaki sorulara birebir ürünlerini deneyimleyerek cevap vermelerine imkan tanımaktadır.

Dünya çapında tüm Fab Lab'ların bir araya geldiği Fab Foundation platformu aracılığıyla, her sene belirlenen şehirdeki bir Fab Lab'da bir araya gelmektedir. Organizasyonda çevrimiçi derslerde bütün kuruluşlarda aynı anda Fab Academy isimli üst düzey eğitim programı da yürütülmektedir (Mühür, 2014).

Gershenfeld MIT'de 'How to Make (Almost) Anything' yaklaşımını 1998'de sınıfına öğretmeye başlamıştır. Üretim laboratuvarı da Gershenfeld'in dersinden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Dikkatle incelemek gerekirse Gershenfeld fenomeni, üretim araçlarının rolünün akademik alanın dışında ne olabileceğini ve o araçlar farklı bağlam içerisinde düzenlendiğinde herhangi bir değişim yaratıp yaratmayacağını düşündürmektedir (Naboni ve Paoletti, 2015: 11; Mühür, 2014).

Tasarım eğitiminde izlenmekte olan yönergeler dijital üretim sistemleri ile değişime uğramaktadır. Bu durumla birlikte Fab Lab hizmetinin devreye girmesiyle yeni bir eğitim sisteminin oluşturulmasının gerekliliği de gündeme gelmektedir. Derin görüşmede de belirttiği gibi eğitim sistemi zorunluluğu ile öğrenme değil ihtiyaca bağlı öğrenmeye dayalı yeni bir sisteminin oluşacağı ön görülmekte ve bunun üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Öğrencinin ihtiyaç duyduğu programı Fab Lab içerisinde proje kapsamında uygulayarak öğrenmesi hem öğrenim süresini kısaltmakta hem de kişinin kendi aldığı kararlar doğrultusunda bilinçli bir ilerleme göstermesini sağlamaktadır (EK, 14.05.2016). Fab Labın sadece öğrencilere yönelik olmadığını aynı zamanda sorun çözücü olarak görülen bir şehir ara yüzü olduğunu belirten Mostert-Van Der Sar vd. (2013) Fab Lab yaklaşımını insanları çekmek ve özellikle öğrencilerin dijital üretimle buluşmaları için büyük bir güç olarak nitelendirmişlerdir.

### 3.1.3. Tasarımcının Diğer Disiplinler ile Etkileşimi

Fab Lab içerisinde gerçekleşen yüz yüze etkileşimde dijital üretim araçlarının çalışma prensibine hakim bilgisayar ve yazılım mühendisleri ile birlikte çalışmalar yapan tasarımcılar, estetik ve tasarım kaygısı taşıyan ürünlerin alt yapısına inebilmektedir. Mostert-Van Der Sar vd.nin (2013) belirttiği gibi bu durum ürün tasarımıyla elektronik cihazlar arasındaki boşluğun nasıl bağlanabileceğini kolay bir biçimde kanıtlamaktadır. Endüstriyel tasarım, tekstil, sanat, mimarlık, inşaat, bilgisayar, yazılım ve diğer bilişim alanlarından olan kişiler, uygulamalarda etkileşim halinde birbirlerinden bilgi edinerek projelerini geliştirebilmektedir. Diğer bilim dalları içerisinden, örneğin biyomimikri gibi doğadan öğrenme sağlayan kavramların deneysel yaklaşımlarla ürünleştirilme sürecinde doğa bilimleri ile tasarımı aynı platformda buluşturmaktadır (Url-6).

Sürecin planlanması, iş bölümünün yapılması ve uzmanlık alanlarının belirlenmesi sırasında aslında tasarım sürecinin de tasarlandığı bir ortam oluşmaktadır. Problem çözme sürecinin farklı disiplinlerle daha iyi analiz edilerek yürütülmesi tasarımcıya her alanla doğrudan iletişim kurma ve bilgiyi birincil kaynaktan temin etme imkânı vermektedir.

Tasarımcıların ürün prototipini açık kaynak koduyla paylaşılan bilgiler sayesinde yöntem izleyerek gerçekleştirmesi pek çok aşamada vakit kaybını ve hataları önlemektedir. Serbest bir çalışma ortamı elde edilmesinden dolayı üretim araçlarının ve kaynakların her kullanıcıya açık olması beraberinde bireysel üretim yapmak isteyen kişileri buraya çekmektedir. Kendin yap (DIY) mottosuyla hareket eden ve toplumun tasarım ve üretim kültürüne bakış açısını değiştirerek, tüketici bireyden üretici birey oluşturmayı hedef alan 'maker hareketi' de her atölyenin bir tasarım ve üretim merkezi olabileceği anlayışını benimsemişlerdir. Bu yolda Parvin'in (2013) de dediği gibi her yerde fabrikanın olduğu ve herkesin de tasarım grubu oluşturduğu bir geleceğe



ilerlemekteyiz. Herkesin kendi yeterliliklerini keşfettiği, seri üretim sınırlarının yıkıldığı Endüstri 4.0 hareketinin tam anlamıyla yaşandığı bir süreçten geçilmektedir.

### 3.2. Bulut Tabanlı Tasarımın kavramsal içerikleri

Bulut Tabanlı Tasarım farklı disiplinlerden olan kişilerin internet ortamında kurulan bir ağ üzerinden paylaşımlarını gerçekleştirdikleri, kişilerin farklı mekan ve zaman diliminde yer alabildiği ve paylaşılan verilere göre ürün tasarım sürecine dahil oldukları bir sistemdir. Kişinin bir tasarımı prototip aşamasına getirebilmek için sadece bir bilgisayar ve bulut ağına sahip olması yeterli olmaktadır. Kişiler yalnızca kendi uzmanlık alanlarında çalışarak süreç akışının hızlı bir şekilde devam etmesini sağlamaktadır.

Özellikle mimarlık-inşaat ve tasarım-mühendislik alanlarının birbirleri ile devamlı veri transferini gerektirmesi, ortak projeler üzerinde karşılaşılarak hataların dolaylı yoldan düzeltilmesi yerine tek bir program alt yapısıyla ortak veriye erişim ve eş zamanlı model çizimi mümkün hale gelmiştir. Sadece tasarım ve yapısal sistem çözüm süreçlerinde değil mimarlıkta saha çalışmalarında akıllı cihaz ile iş akışının durum güncellemesi yapılırken, endüstriyel tasarımda ürünün kullanıcı ile buluşmasına kadar geçen aşamaların takibi bulut sistemi üzerinden yapılabilmektedir. Yeni nesil mimarlık ve tasarım gruplarının oluşmasında büyük etkisi olan bu sistem işbirlikçi tasarım anlayışının gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Maliyet ve sonuç odaklı bir süreç içeren Bulut Tabanlı Tasarımda kullanılan programlara ağ üzerinden erişilip herhangi bir bilgisayarda model üzerinden devam edilebilir olması lisans ücretlerini ve iş gücü maliyetlerini düşürmüştür. Tasarım ve üretim programlarının sonuç çıktılarının büyük veri boyutlarına sahip olması problemi dosyaların bilgisayar ortamına indirme işleminin devreden çıkarılmasıyla çözülmüştür.

Bulut Tabanlı Tasarımda verilere tamamen internet ağı üzerinden erişilmesi aynı zamanda güvenlik sorusunu akla getirmektedir. Özellikle kurumsal açıdan gizlilik gerektiren tasarım proje dosyalarının depolanması ve işlem yapılması sırasında karşılaşılabilecek güvenlik açığı probleminden dolayı ağ koruma sistemleri ile desteklenmiş bulut yazılımları kullanılması gerekmektedir.

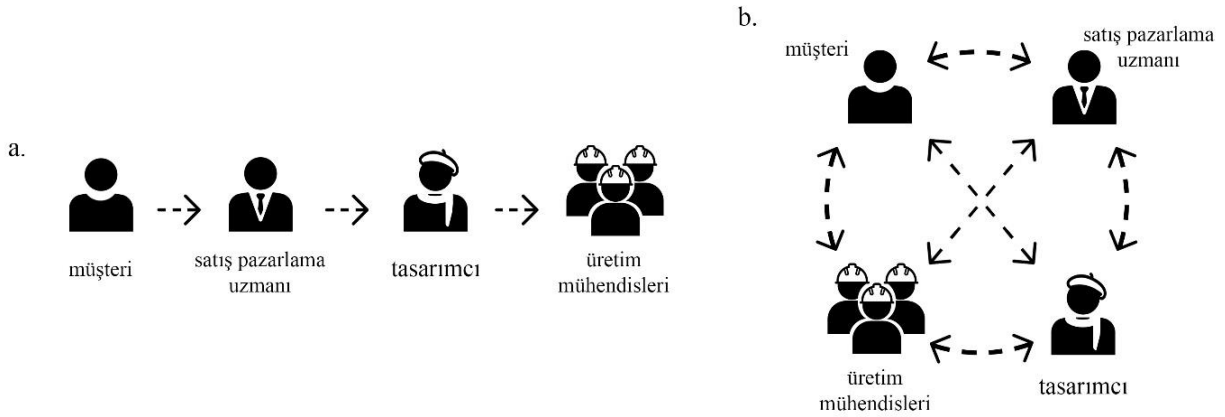
#### 3.2.1. Bulut Tabanlı Tasarım Sistem Akışı

Bulut Tabanlı Tasarımda kullanıcılar arası etkileşimden önce kullanıcının bulut üzerindeki tasarım programına erişmesi gerekmektedir. Sistem süreç aşamalarının takibi ile kullanıcılar önce ağ ortamına bağlanır, ağ ortamındaki programla veriyi oluşturur ve yine ağ ortamında veriyi kaydederek paylaşımını gerçekleştirir.

Sistemin başlangıcı olan ağ sistemi bağlantısı sekiz temel işlem ile şu şekilde sıralanmıştır:

1. Kullanıcı donanım cihazıyla ağ sunucusuna bağlanır.
2. Kullanıcı sisteme giriş yapar.
3. Kullanıcı işlem yapacağı Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) uygulamasını seçer.
4. Ağ sunucusu eşgüdümleme sunucusuna yönlendirir.
5. Eşgüdümleme sunucusu hangi uygulamada işlem yapılacaksa o uygulama sunucusunu seçer ve ağ sunucusuna bildirir.
6. Ağ sunucusu kullanıcıyı uygulama sunucusuna yönlendirir.
7. Uygulama sunucusu yeni oturum açar ve uygulamayı işler.
8. Kullanıcı uygulama ile etkileşime geçer. (Andreadis vd., 2014)

Dijital devrimle değişen iş akışının yeniden planlanması firmalar arasında sektör rekabetini daha da belirgin hale getirmektedir. Yeni sistemin oluşturulmasında uzmanlık ekipleri arasında gerçekleşecek veri transferi için Şekil 2’de görüldüğü gibi bir iletişim tasarımı metodu izlenmek zorundadır. Geleneksel üretim sınırları yıkılmış, örnek olarak tasarım-üretim-pazarlama yolundaki basamaklar firma için maliyeti en düşük olarak nasıl üretim yapılırsa o şekilde düzenlenmesinin önü açılmıştır.



Şekil 2. Bulut Tabanlı Tasarım öncesi (a.) ve sonrası (b.) iletişim tasarımı şeması (Wu vd., 2014)

### 3.2.2 Bulut Tabanlı Tasarımda Üretim

Bir ürünün tasarlandığı gibi detaylarına uygun bir şekilde üretilip üretilmediğinin kontrolü yine bulut tabanlı sistem kontrol listesi üzerinden takip edilebilmektedir. Dijital üretim araçlarının iş gücünün yerini almasıyla uzaktan kontrollü üretim merkezlerine geçilmiş, denetim artmış ve hata payı azalmıştır. Seri üretimin kapsamlı olarak makine kontrolleri üzerinden yürütülmesi endüstri devriminin bir diğer adımına geçmesine neden olmuştur. İnsansız üretim merkezleri yukarıda bahsedilen iş akış temeline dayanmaktadır. Belirli mekânlarda, belirli zamanlarda bulunma zorunluluğu olmadan süreç devamlılığının sağlanması üretim aşamalarını da hızlandırmaktadır. Yeni bir paradigma halinde sunulan Bulut Tabanlı Tasarım ve üretim sistemlerinin gerekliliklerini ise Schaefer vd. şu şekilde tanımlamışlardır:

1. Tasarım ve üretim ağı çevresinde iletişimi, bilgiyi ve bilgi paylaşımını desteklemek için sosyal medya sağlanmalı.
2. Bulut tabanlı dağıtılan veri sistemlerinin kullanıcılara her an ve her yerden tasarıma, dolayısıyla üretim erişimine izin vermesi sağlanmalı.
3. Açık kaynak programlama yapısı bulut üzerindeki büyük veri deposunu sürdürülebilir ve analiz edebilir olmalıdır.
4. Tek yazılım programı ile çoklu kullanım hizmeti sağlanmalıdır.
5. Üretim kaynaklarından (makinalar, robotlar, montaj hattı vb.) gerçek zamanlı bilgi toplama ve buluttaki depolanan veri kapsamında kaynakların uzaktan izlenip kontrol edilmesi sağlanmalıdır.
6. Kullanıcılara altyapı olarak servis (IaaS, **Infrastructure As a Service**), platform olarak servis (PaaS, **Platform As a Service**), donanım olarak servis (HaaS, **Hardware As a Service**) ve yazılım olarak servis (SaaS, **Software As a Service**) uygulamalarını sağlamalıdır.
7. Kullanıcının belirli sorulara yanıt bulabilmesi için kullanışlı ve verimli arama motorlarını desteklemelidir.
8. Tasarım ve üretim şartlarına dayanan anlık bildirimleri oluşturmak için bildirim motorları sağlanmalıdır. (Schaefer vd., 2014)

### 3.2.2. Tasarımcının Diğer İş Alanları ile Etkileşimi

Bulut Tabanlı Tasarım ile birlikte belirli mekân ve zaman tanımlamadan proje görevini yürütme sorumluluğuyla tasarımcı uygulayacağı tasarım fikirlerini daha serbest bir ortamda karar verme yetkinliğine sahip olmaktadır. Herhangi bir ürünün tasarımı temel olarak sosyaldır ve teknik bir süreçtir. (Schaefer vd., 2014) Tasarım platformlarında uygulanan ürün fikirleri mühendis uzmanlık alanlarından kişilerce takip edilerek üretime yönelik çalışmaların o andan itibaren şekillendirilmesi sağlanabilmektedir.

Bulut Tabanlı Tasarım uygulamasında konseptten üretime kadar aynı program üzerinde eş zamanlı takiple proje yapılandırılmaktadır. Dayanım simülasyonları, renderlar ve üretim aşamalarının tümü aynı sanal çerçeve içerisinde farklı disiplinlerce deneyimleyebilmektedir. Şekil, işlev ve üretim uzmanlıklarına sahip farklı kişiler aynı modele baktığında değerlendirme ölçütleri yine sahip oldukları alan bilgisine göre oluşur. Makine mühendisi, elektronik mühendisi ve malzeme mühendisi ile tasarlanan ürün, program üzerinde simüle edilerek gerekli statik ve çekme testleri gibi uygulamalar yapılabilirken, satış ve pazarlama bölümünden ürün maliyet bilgileri ile kullanılacak malzeme ve parça başı fiyatlandırması sayesinde maliyet analizi yapılabilmektedir. Teknik üretim elemanlarının üretim bandı girdileri ile iş akış takibi yapılırken müşterilerden gelen talep bilgilerine bağlı olarak üretim hızı ve aşamaları ve hatta ürün tasarımı yeniden düzenlenebilmektedir.

Uzmanlık bilgilerinin ürün üzerinde kesiştiği yerlerde mühendisler, ürünün estetik ve kullanıcı ilişkisi boyutunu tamamen çözümlen tasarımcının bilgisinden ürün üzerinde yararlanabilmektedirler. Aynı şekilde tasarımcı da tamamen hakim olmadığı ürünün mekanik, elektronik ve yazılım bilgilerine sistem üzerindeki girdilere erişerek bilgi sahibi olabilmektedir. Böylece karşılıklı uyum ve etkileşim sonucu program aracılığıyla oluşturulan ürün daha kısa zamanda ve daha verimli bir süreç geçirilerek ortaya çıkarılmaktadır.

Bulut sistem kullanılmadığı durumlarda yetersiz uzmanlık alan sayısı ve sınırlı sistem bütünü içerisinde tasarımcının görevlendirilmesi, tasarım sürecinin asıl sorumlusu olan tasarımcıyı süreçten koparmakta ve hataları önlemede yetersiz kalabilmektedir. Bulut Tabanlı Tasarım sistemine geçildiğinde ise ürün tasarımının bütün aşamalarını gözlemleyen tasarımcıdan diğer uzmanlık alanları bilgisine tanıklık etmesi sebebiyle daha kapsamlı bir ürün girdisi beklenme ihtimali ortaya çıkmaktadır. Demir'in de söylediği gibi Tasarımcı ürünün fikir halinden kullanıcı ile etkileşime geçmesine kadar kapsamlı bir role sahip olması tasarımcının asıl işi olan tasarım yapma potansiyelini gölgede bırakmamalıdır (EK, 14.05.2016).

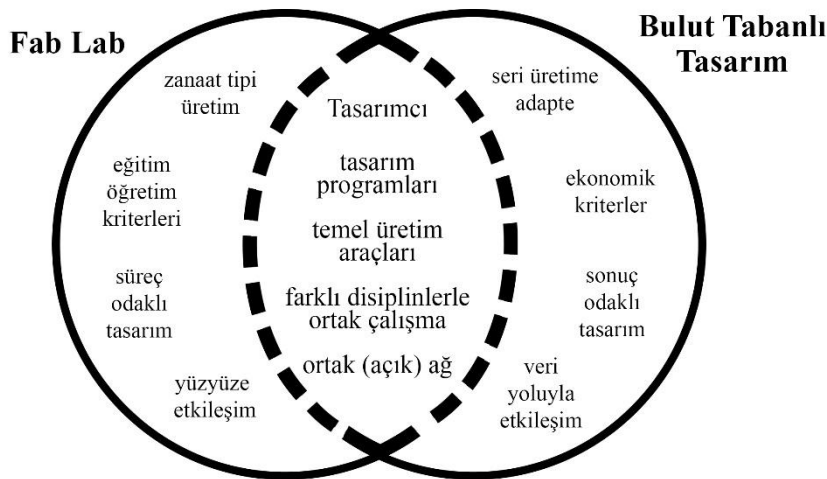
### 3.3. Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım Uygulamalarının Karşılaştırılması

Bütünsel olarak incelendiğinde uygulamalar pek çok ayrıma sahiptir;

Fab Lab, kuruluşu süreç ve eğitim odaklı, farklı disiplinlerden kişilerle karşılıklı ve paylaşımlı öğrenmeyi temel alan, hiçbir maddi kaygı taşımadan tamamen katılımcıların tasarım ve üretim metotlarına dâhil olmalarını sağlayacak bir yaklaşıma sahiptir. Yüz yüze etkileşimin esas alınması, iletişimde ortak dilin tasarım üzerinden oluşturulması ve kamusal alan halinde herkesin ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte olması Fab Labları sosyal bir mekan haline getirmektedir. 3 boyutlu tarayıcı ve yazıcılardan, kalıp döküm araçlarına kadar çeşitli üretim teknikleri ile kişilerin öğrenim sonucu kendilerinin kullanabileceği zanaat işçiliğine uzanan üretim sistemine sahiptir. Proje sonucu çıkan ürünün tek ve eşsiz olması, ön planda tutulan süreç odaklı tasarımın sonuç çıktısının da değerini artırmaktadır.

Bulut Tabanlı Tasarım ise sonuç odaklı, farklı uzmanlık alanlarından kişilerle üretim süreci boyunca nesnenin maddi değerinin esas alındığı, süreci hızlandırıp sonucu ön plana çıkararak yaklaşımı uygulamaktadır. Ürün tasarımında seri üretim esaslarının yerine getirilmesine büyük katkı sağlamaktadır. Uzaktan süreç yönetiminin gerçekleştirilmesiyle zaman ve mekanın sınırlayıcı etkisi de ortadan kalkmaktadır. Ağ üzerinden verilerin paylaşımı ve tasarım programlarında verilerin işlenmesi ile gerçekleşen etkileşim ile kullanıcılar sanal ortamda birbirlerinin çalışmalarına ortak olabilmektedir. Farklı mesleklerden uzmanların üzerinde çalışması ile oluşturulan veriler hakkında diğer bölümlerden ve tüketiciden hızlı dönüt alınabilmesi tasarım ve üretim sürecini kısaltmaktadır. Bu durum sektörde şirket bütçelerine büyük oranda katkı sağlamakta ve proje gelişim sürecini hızlandırmaktadır.

Belirli ayırım noktaları haricinde ise bu iki uygulama dijital araçlar başta olmak üzere pek çok ortak noktaya sahiptir ve farklı platformlarda farklı amaçlar için oluşturulmuş uygulamalar olsalar da sahip oldukları öğelerin yine çağın gereklilikleri içerisinde birbirleri arasında geçiş yapabilmesi olası bir sonuçtur. Başlıca kesişim noktalarının tasarımcı olması ile birlikte Şekil 3'te görüldüğü gibi, süreçlerin kendi içlerinde ayrılan yollarında da bazı ortaklıklar bulundurmaktadırlar.



Şekil 3. Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım alan şeması

#### 4. TASARIMCININ DEĞİŞEN ROLÜ

Endüstriyel devrimle birlikte değişen dijital altyapı sistemleri ürün tasarımcısının da hakim olması gereken konuları değiştirmiştir. Sadece kabuk tasarım ve sektör içerisinde rekabet amaçlı dâhil edilen tasarımcı kendi yeterliliklerinin farkına varmış, yetenek ve bilgisini kullandığı dijital araçlarla gözler önüne sermiştir. Farklı uzmanlık alanları ile iletişime geçen tasarımcı bilgi yoğunluğunu arttırmış, kullandığı programların altyapısını çözümlmeyi başarmıştır. Küresel gelişme ve ilgili ekolojik ve sosyal problemlerin büyümesine yönelik farkındalık tasarım, tasarım eğitimi ve tasarım araştırmaları için yeni talepleri şekillendirmekte ve yeni imkanlar sunmaktadır. Tasarım kedisini yeniden tanımlaması için tetiklenmekte, tasarımcılar yeni roller üstlenmek zorunda kalmakta ve sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için çözüm geliştirmeyi kendi sorumluluklarına almaktadırlar. (Url-5).

Tasarımcının rolü mevcut süreç modelleri içerisinde tam anlamıyla sistematik olarak açıklanamaz. Yeni dijital medya ile etkileşim dijital tasarımın önemli niteliğini ve tanımlama gerektiren kavramsal konuları arttırmıştır. Tasarımcı tasarım şeması içerisinde merkezi sembolik pozisyonu

muhafaza etmektedir. Ancak etkileşimin doğası ve tasarım sürecinin kontrol şekli ve detay kalitesinin yorumlanması bir hayli önemli ve gerekli görülmektedir. (Oxman, 2005) Bu nedenle tasarımcı artık yaratıcı fikirden ürünün kullanıcı ile buluşmasına kadar tüm süreci takip edebilir hale gelmiştir.

Bulut Tabanlı Tasarımın en önemli etkilerinden biri de budur ki yukarıdaki bölümlerde belirtildiği gibi tasarımcı doğrudan müşteri ile temasa geçerek ihtiyaç kaynağına aracısız olarak ulaşabilmektedir. Derin görüşme yapılan Endüstriyel Tasarımcı ve CoderDojo Türkiye Şampiyonu Gülbahar Coşkun, sanat ve tasarım eğitimi almış olan tasarımcının, uzmanlık alanları arasındaki duvarların yıkılmasıyla teknik donanıma da sahip olma şansı yakaladığını ve kendini geliştirmeye zorunlu hissettiğini belirtmektedir. Tasarımcı kod yazımları, elektronik ve mekanik sistemler, yapı inşası ve malzeme detayları gibi pek çok alana dahil olmaya başlamıştır. Özellikle kod yazım ve elektronik sistemlerin çözümüne odaklı pek çok ortak proje ve etkinlik gerçekleştirilmektedir. Fab Lab projeleri boyunca içerisinde de hem sosyal hem de teknik etkileşim sonucu bilgi ve deneyimler paylaşarak sistem tasarımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (EK, 14.05.2016).

Gelişen teknoloji imkanları ile özellikle internet ara yüzleri sayesinde kullanıcıya özelleşen tasarımlar doğrudan kullanıcının kendisi tarafından tasarlanabilmektedir 3D yazıcılar ile her kullanıcı kendi ürününü tasarlayabilir hale gelmektedir. Kullanıcılar artık yeni oluşan platformlarda kişiselleştirilmiş akıllı nesnelere kendileri tasarlayabileceklerdir (Montelisciani vd., 2014). Bugün tasarımcı üretken ve performansa dayalı süreçlerin ve mekanizmaların kontrolü ve aracılığı ile etkileşim halindedir. 3 boyutlu tarayıcı ve yazıcı araçların herkes tarafından sahip olunabilmesi tasarımcıyı kendini yeni dijital çağa adapte etmesini zorunlu kılmıştır. Kullanıcının tasarım çizimine doğrudan ulaşması tasarımcıyı tasarım ürünü ve kullanıcı arasında aracı bir rol oynamasına neden olmuştur. Böylece tasarımcı aslında tasarım ürünün tasarlandığı ve üretim modelin oluşturulduğu programı tasarlar hale gelmiştir. Bu nedenle tasarımcının diğer uzmanlık alanlarından edinmesi gereken bilgiler birer zorunluluk arz etmektedir.

## 5. TASARIMCILARIN GÖZÜNDEN DEĞİŞEN ROL

Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları içerisinde yer alan 14 tasarımcı için görüşme soruları hazırlanmış ve yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. 14 kişilik grubun tamamının 3B tarayıcı ve yazıcı deneyimi bulunmaktadır. Kişiler özel ve devlet sektöründen olarak farklı kurumlardan seçilmiştir. Amaç ortak görüşler çerçevesinde Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım üzerine tasarımcı yorumlarını birleştirebilmektir.

Görüşme konuları 3 başlığa ayrılmıştır:

1. Uygulamaların etkisinin karşılaştırılması: Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları öncesi ve sonrası arasında tasarımcının ve tasarımın değeri, tasarım sürecinde kullanılan araçların değişimi ve uygulamalarda tasarımcının rolü,
2. Uygulamaların potansiyellerinin değerlendirilmesi: Uygulamalar kapsamında dijital kültürün yerleşmesiyle toplum yapısında ve eğitim alanında tasarım olgusunun nasıl değerlendirilebileceği,
3. Uygulamaların süreci ve geleceği: Fab Lab veya Bulut Tabanlı Tasarım uygulamalarının tasarım sürecine katkıları ve gelecekleri hakkındaki genel düşünceler üzerinden bulgular elde edilmiştir.

Alınan görüşler Tablo 1’de listelenmiştir.

**Tablo 1.** Yarı yapılandırılmış görüşmede elde edilen bulgular

Konu	Tasarımcı Sayısı	Görüş
Uygulamalar	11	Tasarım faktörü pazarda rekabet edebilmek için kullanılmaktadır.
Öncesi Tasarım Değeri	3	Tasarım çalışmaları için özel bütçe ayrılmaktadır.
	3	Eskiz süresi kısaldı.
Uygulamalarla	10	Mock-up ve maket süresi kısaldı, prototip süresi kısaldı.
Tasarım Sürecinin	1	Mock-up ve maket süresi uzadı.
Değişimi	1	Prototip süresi uzadı.
	4	Tasarım programı kullanım süresi kısaldı.
	2	Tasarım programı kullanım süresi uzadı.
Uygulama	6	Kısmen etkin bir rol üstlenmektedir.
Süreçlerinde	8	Etkin bir rol üstlenmektedir.
Tasarımcı		
Uygulamalar	2	Tasarım aşamasına fazla zaman harcadığı düşünülmektedir.
Sonrası Tasarımcı	7	Tasarımcı diğer uzmanlık alanlarıyla eşit seviyede görülmektedir.
Değeri	5	Tasarımcının uygulamanın kilit noktası olduğu düşünülmektedir.
Uygulamaların	2	Değişim gözlenmemiştir.
Kitlesel	9	Tasarımın ve tasarımcının değeri ortaya çıkmıştır.
Etkisi	3	Tasarımcı diğer uzmanlık alanlarının önüne geçmiştir.
Uygulamaların	2	Bulut Tabanlı Tasarım tasarım eğitiminde projelendirilmeli.
Eğitimdeki	12	Her iki uygulama da tasarım eğitiminde projelendirilmeli.
Yeri		

## 6. BULGULAR

### 6.1. Uygulamaların Etkisinin Karşılaştırılması

Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları öncesinde tasarım çalışmalarına özellikle pazar rekabeti için önem verildiği görüşü öne çıkmıştır. Çünkü firmalar (Türkiye ölçeğinde) var olan temel mühendislik alt yapısını devam ettirmekte, kabuk tasarım konusunda farklılaşarak kazanç sağlama yoluna gitmektedirler. Pazar rekabetinin yanı sıra tasarım çalışmalarına özel bütçe ayıran ve devamlı destekleyen kurumların da var olduğu belirlenmiştir.

Uygulamalarla birlikte eskiz süreci sürdürülse de ayrılan zamanın azaldığı, hızlı üretim kaynaklarıyla maket, mock-up ve prototip süreçlerinin belirgin şekilde kısaldığı, ortak proje ve tasarım programları üzerindeki ortak çalışmaların program kullanım süresini kısalttığı belirtilmiştir. Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım süreçlerinde tasarımcı genel olarak etkin bir yapıya sahip olsa da diğer disiplinlerle aynı seviyede katkı sağladığı görüşü de paylaşılmıştır.

## 6.2. Uygulamaların Potansiyellerinin Değerlendirilmesi

Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları ile tasarımcıların ve yapılan tasarım çalışmalarının değerinin arttığı görüşü öne çıkmıştır. Bu durumda devlet katkılı tasarım ekibi çalışmalarının büyük payı olduğu da belirtilmiştir. Hızlı ve kolay çözümler sunan uygulamaların tasarımcıya özel alan yaratması ve uzmanlaşma imkanı vermesi tasarım anlayışının kitlesel olarak değişmesini sağlamıştır.

Eğitim faktörünün önemi de vurgulanmış, tasarımcılar Bulut Tabanlı Tasarım uygulaması önceliğiyle iki uygulamanın da tasarım eğitiminde yer alması gerektiğini belirtmişlerdir. Tasarım bilincinin ve değerinin eğitimde öncelikle tasarımcıya aşılması, sonrasında gerçekleştirilecek ortak projelerle diğer bölümlerin katılımının sağlanması gerektiği vurgulanmıştır.

## 6.3. Uygulamaların Süreci ve Geleceği

Katılımcılar her iki uygulamanın da olumlu yönlerini öne çıkaran görüşler bildirmiştir. İki uygulamanın da tasarım süreçlerini hızlandırmakta olduğunu, ortak çalışma kolaylığı sağladığını ve tasarım süreçlerindeki işbirlikçi yaklaşımı arttırarak tasarım uygulamalarının iyileştirilmesini sağladığı belirtilmiştir.

Bu iki uygulama Açık Tasarımın şekillendirdiği iki alan olarak nitelendirilmiştir. Bulut Tabanlı Tasarım çevik üretim yöntemlerinde özellikle maker (mucit) hareketinde sık karşılaşılmaktadır. Uygulamalar dahilinde tasarımcı kimliğinin akademik altyapıdan uzak, tecrübe aktarımı ve deneyimlemelerden beslenerek herkese yayıldığı görüşü öne sürülmüştür. Fab Lablerin maker hareketiyle yaygınlaşan lisanslı mekânsal oluşumlar olduğu, LoFab (Locally Fabricated, Yerel Fabrikasyon) gibi önerileri desteklediği, paylaşımlı tasarım, üretim ve mekân kesişimini sağlayan olguların yeni sınırları veya sınırsızlığı belirlediği düşünülmektedir.

Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamalarında tasarımcının gelecekteki süreçlerini değiştireceği işaret edilmiştir. Fab Lab'in, tasarım ekibine güven kazandıran ortamlar olduğu her makine ve aletin bulundurulma imkânı olmasa bile mevcut ile idare edilebildiği belirtilmiştir. Üretilirliğe yönelik hatalı kurguların ortadan kalktığı, prototip ve küçük çaplı imalatın bile yapılabildiği görülmüştür. Bulut Tabanlı Tasarım uygulamalarının gelecekte kaçınılmaz olacağı, bu sistemlerin de temel tasarım yazılımlarını daha erişilebilir kılacağı, esneklik ve grup çalışma mekanizmalarının daha güçlü bir şekilde sanal ortama taşınacağı ön görülmüştür. Bu iki uygulamanın birbirinden ayrıldığı fakat ikisinin de gerekli olduğu belirtilmiştir. Fab Lab'in gerçek, Bulut Tabanlı Tasarımın ise sanal ortam üzerinden işleyen birimler olduğu, sadece sanal sistemlerin kullanımının da kimi zaman yeterli olmadığı düşünülmektedir.

Tasarımcının bu atölyeleri doğru kullanabildiği noktada, her iki uygulamanın da tasarım sürecini giderek kısaltacağı ve daha sağlıklı bir hale getireceği katılımcılar tarafından belirtilmiştir. Bu sayede tasarımcı eskizini yaptığı ürünün prototipini bu atölyede kısa sürede ortaya koymakta ve iki boyutlu tasarımını üç boyutlu haline bir an önce ulaştırabilmektedir.

## 7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yapılan yarı yapılandırılmış görüşme katılımcıları, bu çalışma kapsamındaki teknolojik yenilik içeren ortamların bireysel yaratıcılığı geliştirileceği, hızlı ve hataların en aza inebileceği ürünlere ulaşılabileceği düşüncesinde hemfikirdir. İşbirlikçi tasarım bilincinin oluşmasında söz konusu uygulama ve ortamların büyük bir rol üstlendiği, tasarımcının potansiyelini artırdığı, farklı uzmanlık alanlarından kişilerle daha doğru ve etkili iletişim kurulduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple Türkiye’de son dönemlerde yaygınlık kazanmaya başlayan dijital tasarım araçlarıyla yerel üretim, bireysel üretim faaliyetlerinin desteklenmesi olumlu sonuçlar verecektir.

Açık kaynak yaklaşımıyla değişen tasarım ve üretim süreçleri farklı disiplinlerden kişilerin aynı proje üzerine yoğunlaşması ve ürün değerlerini tasarım programında simüle edilmesinin bu sonuçları oluşturduğu görülmektedir. Endüstri 4.0 akımının sağladığı imkanlar sayesinde farklı platformlarda yer alan Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım uygulamaları gündeme gelmekte ve tasarımcılar bu uygulamalarda aktif rol oynamaktadır. Bilimin tasarımı ya da tasarımın bilimi olarak farklı şekillerde adlandırılrsa da tasarımcı bu yeni düzende tasarım merkezli rolünden var olan projenin ortak bir katılımcısı olmaya geçiş yapmakta, belki de hiç bilgisi olmadığı bir alanda kendine yeni bir rol edinmektedir (Ito, 2016). Tasarımcı teknoloji değişiminin özellikle estetik sonuçlarıyla ilgilenmektedir. Tasarımcının rolü, bir kullanıcı ve tasarımcı olarak, bilgisayarla olan yönlendirici ilişkiden dolayı değişmekte, diğer alanlar üzerinde daha çok yönlendirme yetkisine sahip olabilmektedir (Url-7).

Oxman’ın (1997) deneysel çalışmasında sunduğu sonuçlardan biri olarak farklı uzmanlık alanlarında faaliyet gösteren kişilerin iletişim kurma araçları da farklılaşmaktadır ve ortak bir dil oluşturmak için özellikle grafiksel ifadeler ve şablonlar kullanılmaktadır. Dijital çağda ise tasarım ve üretim programları, tasarımcı ile diğer disiplinler arasında iletişim aracı olarak yer almaktadır. Dil bütünlüğünün ve standardın sağlanmasıyla projeye daha kolay adaptasyon sağlanmakta, hatalar önlenerek süreçte harcanan zaman da kısalmaktadır. (İnan ve Yıldırım, 2009) Uygulamaların potansiyellerinin tam olarak kullanılması için her uzmanlık alanının belirli bilgi ağına sahip olmaları gerekmektedir. Bu gereklilikler göz önüne alındığında dijital uygulamalar tasarım sürecinde yer alan dijital bütünselliği sağlarken (mühendislik ve üretim uygulamaları dahilinde) aynı zamanda disiplinler arası uzmanlık alanları içerisinde yeni zorunluluklar ve bağlılıklar meydana getirmektedir. (Kocatürk ve Veltkamp, 2005:473). Tasarım işbirliği alanında yapılan araştırmalar başta iletişim olmak üzere, bilgi teknolojilerinin etkinliği, ortak tasarım anlayışının geliştirilmesi ve farkındalık konularına yoğunlaşmıştır. İleri teknolojilerin yaygınlaşmasıyla eğitimde tasarım işbirliği uygulamaları da görülmektedir. (Gül, 2011) Bu uygulamalar kapsamında öğrencilerin hem Fab Lab hem de Bulut Tabanlı Tasarım sistemlerini deneyimlemesiyle yaratıcı disiplinde yeni bir paradigma oluşmaktadır.

Tasarım liderliğiyle inovasyon, stratejik tasarım, kullanıcı deneyimi tasarımı, hizmet tasarımı, sosyal sistem tasarımı, ürün hizmet sistemleri tasarımı, iletişim tasarımı, kod tasarımı, mekanik tasarım ve yapı tasarımı olarak ayrılan dallarda tasarımcının görev ve sorumlulukları tanımlanmaya başlamıştır. Değişim sadece tasarımcının rolünde değil uygulanan metotlarda da gerçekleşmektedir. Bu metotlar kullanıcı odaklı tasarım, katılımcılı tasarım, kapsayıcı tasarım,



sürdürülebilir tasarım, interdisipliner ve multidisipliner tasarım yaklaşımlarıdır (Kiernan ve Ledwith, 2011). Böylelikle dijital çağda tasarım ve tasarımcı kimliği yeniden tanımlanmaktadır.

## BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Yard. Doç. Nazmiye ÖZTÜRK danışmanlığında ve Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Anderson C (2014) Makers: The New Industrial Revolution. Crown Publishing Group, New York
- [2] Andreadis G., Fourtounis G. ve Bouzakis K.D. (2015) Collaborative Design in the era of Cloud Computing, Elsevier Ltd.
- [3] Baloğlu M. (2014) Dijital Çağda Ütopya Kavramının Dönüşümü: İş Birlikçi Tasarım Bağlamında Mimarın Rolü, Yüksek Lisans Tezi, <http://ulusaltezmerkezi.com/dijital-cagda-utopya-kavraminin-donusumu-isbirlikci-tasarim-baglaminda-mimarin-rolu/>, 07.02.2017
- [4] Cautela C., Pisano P ve Pironti M. (2014) The Emergence of New Networked Business Models From Technology Innovation: An Analysis of 3-D Printing Design Enterprises, Springer Science+Business Media
- [5] Montelisciana G., Mazzei D. ve Fantoni G. (2014) How the Next Generation of Products Pushes to Rethink the Role of Users and Designers, Elsevier Science Ltd
- [6] Gül L.F. (2011) İşbirlikli Tasarım Eğitiminde Sanal Dünya Kullanımı, METU JFA, Ankara
- [7] Güneş S. (2012) Organik Toplum Düşüncesi Bağlamında Küresel Beyin Kavramı ve Küresel Yaratıcılık, Anadolu University Journal of Social Sciences, Eskişehir
- [8] Heskett J. (2013) Tasarım, Dost Yayınevi, Kültür Kitaplığı:131; Sanat:18
- [9] Hise, R.T., O’Neal, L., McNeal, J.U., and Parasuraman, A. (1989) The Effect of Product Design Activities on Commercial Success Levels of New Industrial Products. Journal of Product Innovation Management 6:43–50
- [10] Ito J. (2016) Design and Science, Journal of Design and Science ,MIT Media Lab Published by the MIT Press
- [11] İnan N. ve Yıldırım T. (2009) Bilgisayar Destekli Tasarım Sürecinde Disiplinler Arası İlişkiler ve Eşzamanlı-Dijital Ortam Tasarım Olanakları, Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi 24(4), Ankara
- [12] Kiernan L. ve Ledwith A. (2011) The Effect of the Merging of Design Disciplines and Its Implication for Product Design Education, Design Principles And Practices: An International Journal
- [13] Kocatürk T. ve Veltkamp (2005) Interdisciplinary Knowledge Modelling for Free-Form Design – An Educational Experiment, Springer, Hollanda
- [14] Mostert-Van Der Ser M., Mulder I., Remijn L ve Troxler P. (2013) Fab Labs in Design Education, International Conference on Engineering and Product Design Education, International Conference on Engineering and Product Design Education, İrlanda
- [15] Mühür M. (2014) “Bir Üretim Merkezi Fab Lab’in AçıkTasarımın Gerçekleştirilmesinin Bir Aracı olarak Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ İstanbul

- [16] Naboni R. ve Paoletti I. (2014) Advanced Customization in Architectural Design and Construction, PoliMI SpringerBriefs, DOI 10.1007/978-3-319-04423-1\_2
- [17] Oxman R. (2005) Theory And Design In The First Digital Age, Elsevier Ltd.
- [18] Oxman R. (1997) Design By Re-representation: A Model Of Visual Reasoning In Design, Elsevier Ltd.
- [19] Öztürk N. (2013) Tasarım Öğrencilerinin Proje Derslerinde Karşılaştıkları Sorunların Nedensel Çıkarsama Kuramı Üzerinden Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat ve Tasarım Dergisi, Ankara
- [20] Wu D., Rosen D.W., Wang L. ve Schaefer D. (2014) Cloud-based Design And Manufacturing: A New Paradigm in Digital Manufacturing And Design Innovation, Elsevier Ltd.
- [21] Sass L (2010) The Next Industrial Revolution: Digital Building Kits. In: Dave B, Li AI (ed) New Frontiers: Proceedings of the 15th International Conference on Computer-aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA (2010), Association for Research in Computer-aided Architectural Research in Asia, Hong Kong
- [22] Talke, K., Salomo, S., Wieringa, J. E., & Lutz, A. (2009). What About Design Newness? Investigating the Relevance of a Neglected Dimension of Product Innovativeness. Journal of Product Innovation Management, 26(6), 601-615.
- [23] Troxler P (2013) Making the 3rd Industrial Revolution. In: Walter-Herrmann J, Büching C (ed), Fab Labs: Of Machines, Makers and Inventors, Transcript Publishers, Bielefeld
- [24] Url-1 <http://www.fabfoundation.org/index.html> , What Is A Fab Lab?, Erişim Tarihi: 05.03.2016
- [25] Url-2 <http://www.autodesk.com.tr/360-cloud> , Autodesk Bulut Hizmetleri, Erişim Tarihi: 17.02.2016
- [26] Url-3 <http://fablab-odemis.com/fablab-ilkeleri/> , Fab Lab İlkeleri, Erişim Tarihi: 23.02.2016
- [27] Url-4 <http://www.fablabist.com/anasayfa>, Anasayfa ve Envanter, Erişim Tarihi: 23.02.2016
- [28] Url-5 <http://www.cumulusassociation.org/kyoto-design-declaration-signed-on-march-28-2008/> , Kyoto Design Declaration signed on March 28, 2008, Erişim Tarihi: 29.08.2016
- [29] Url-6 [http://www.ted.com/talks/neri\\_oxman\\_design\\_at\\_the\\_intersection\\_of\\_technology\\_and\\_biology?language=tr#t-20720](http://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology?language=tr#t-20720) , Neri Oxman: Teknoloji ve Biyolojinin Kesişiminde Tasarım, Erişim Tarihi: 07.10.2016
- [30] Url-7 <https://www.dezeen.com/2017/02/06/generative-design-software-will-give-design-ers-superpowers-autodesk-university/> , Dan Howarth, Generative design software will give designers "superpowers", Erişim Tarihi: 15.02.2017



## Taguchi Tekniği Kullanılarak SAE 1021/ Dillidur 400 / Dillimax 500 Çeliklerinin Sürtünme Kaynağı için İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu

Arif UZUN<sup>1,\*</sup>, Özkan ESKİ<sup>1</sup>, Ertuğrul ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KASTAMONU

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, TUNCELI

### Öz

Bu çalışmanın amacı sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etki eden parametrelerin optimizasyonunu Taguchi analiz yöntemi ile sağlamaktır. Taguchi analizi, yığılma basıncı ve sürtünme devir hızı gibi kaynak parametreleri ile birleştirilen malzeme türlerini optimize etmek için istatistiksel deneysel tasarım olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çelikler 1250, 1500 ve 1750 dev/dak sürtünme devirlerinde ve 4, 6 ve 8 MPa yığılma basınçlarında birleştirilmiştir. Bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre malzeme çifti olarak Dillidur 400-Dillimax 500, sürtünme devri olarak 1500 dev/dak ve yığılma basıncının 6 MPa seçilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlara göre maksimum çekme dayanımı 651 MPa ile Dillidur 400- Dillimax 500 çiftinde elde edilmiştir. Aynı malzeme çiftinde kaynak ara yüzeyi sertlik değeri 353 HV'dir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 07/01/2017

Düzeltilme: 06/03/2017

Kabul: 20/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Sürtünme kaynağı

Taguchi

Kaynak parametreleri

SAE 1021

Dillidur 400

Dillimax 500

### Keywords

Friction welding

Taguchi

Welding parameters

SAE 1021

Dillidur 400

Dillimax 500

## Optimization of Process Parameters for Friction Welding of SAE 1021/ Dillidur 400 / Dillimax 500 Steels Using Taguchi Technique

### Abstract

The aim of this study is to optimize the welding parameters on the mechanical properties of SAE 1021 carbon steels and Dillidur 400 (high wear resistance) and Dillimax 500 (high strength) steels joined with friction welding with Taguchi analysis method. Taguchi analysis is used as a statistical experimental design to optimize material types joined with welding parameters such as pressure of upsetting and friction rotational speed. For this purpose, the steels were joined at 1250, 1500 and 1750 rpm and at upsetting pressures of 4, 6 and 8 MPa. Tensile tests and microhardness measurements were applied to determine the mechanical properties of the joint. According to the results of analyse, it was determined that Dillidur 400-Dillimax 500 could be selected as material pair. In addition, the friction speed and upsetting pressures can be selected 1500 rpm and 6 MPa respectively. Also, according to the experimental results, maximum tensile strength was obtained at the pair of Dillidur 400- Dillimax 500 with 651 MPa. In the same material pair, the welding interface hardness value was 353 HV.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

### 1.1. Sürtünme Kaynağı (Friction Welding)

Metallerin birleştirilmesi, endüstrinin en önemli ihtiyaçlarından biridir [1]. Günümüz imalat sanayii kalite ve güvenlik standartları ile birlikte uygun maliyetli malzemelere ve prosedürlere ihtiyaç duymaktadır. Ne yazık ki bazı metal kaynakları imalat ve metalurjik açıdan birtakım dezavantajlara sahiptir [2]. Metalurjik

\*İletişim yazarı, e-mail: [auzun@kastamonu.edu.tr](mailto:auzun@kastamonu.edu.tr)

uyumsuzluk, ergime noktasındaki farklılık, termal uyumsuzluk gibi nedenlerden dolayı geleneksel ergitmeli kaynaklar ile pek çok benzer olmayan metalin kombinasyonunu sağlamak mümkün olmayabilir [3]. Bu gibi durumlarda genellikle katı-hal birleştirme tekniklerine başvurulur. Sürtünme kaynağı, bu tür durumlarda sıklıkla tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir [3, 4].

Sürtünme kaynak yöntemi, birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde sürtünme yoluyla üretilen ve mekanik enerjiyi termal enerjiye dönüştürerek elde edilen ısı enerjisi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde, bileşenlerden en az birisi dairesel veya doğrusal titreşim hareketi gerçekleştirir ve basınç altında birbirlerine temas eder. Sürtünme işlemi, kaynak edilecek parçalar plastik deformasyon sıcaklığına erişene kadar devam eder. Plastikleşme sonrası malzemeler basınçlı kaynak sıcaklığına ulaşır ulaşmaz sürtünme durdurulur. Bu arada, aksenal basınç artar ve yığıntı oluşur. Herhangi bir ek metal kullanmadan ısıl işleme tabi tutulan bağlantı noktası, homojen bir form alır ve tüm yüzeyde ve çapta yüksek kaliteli kaynak dikişi elde edilir [5, 6]. Malzemeler için uygun kaynak parametreleri seçilerek birbirine uyumlu ve kaynak kalitesi yüksek bağlantılar elde edilebilir. Bağlantı kalitesini etkileyen ve sürekli kontrol altında olması gereken bu parametreler sürtünme devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığıma basıncı ve yığıma süresidir [5]. Literatürde kaynak parametrelerinin bağlantı kalitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılmış birçok çalışmaya rastlanmaktadır [7 -10].

## 1.2. Taguchi Yöntemi (Taguchi Method)

Sürtünme kaynağı ile üretilen bağlantıların dayanım özellikleri üzerine kaynak parametrelerinin optimizasyonu oldukça önemlidir. Deney tasarımı ve istatistiksel teknikler işlem parametrelerini optimize etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi, kaynak parametrelerini optimize etmek için kullanılabilir popöler optimizasyon tekniklerinden biridir. Taguchi yöntemi, maliyeti artırmadan yüksek kaliteye ulaşmak için işlem parametrelerinin optimizasyonunu sağlayan önemli bir adımdır. Taguchi yönteminden elde edilen optimum işlem parametreleri çevresel koşulların ve diğer gürültü faktörlerinin değişimine duyarlı değildir [11]. Genellikle, klasik süreç parametre tasarımı karmaşıktır ve çözülmesi kolay değildir. Bu durum esasen işlem parametrelerinin sayısı arttığı zaman çok sayıda deneyin yapılması gerektiğini belirtmektedir. Bu problemi çözmek için, dikdörtgen dizilerin özel bir tasarımı olan Taguchi yöntemi, tüm süreç parametre alanını az sayıda deneyle incelemek için kullanılabilir [12]. Proses parametrelerinin optimum kombinasyonu daha sonra tahmin edilebilir [13]. Taguchi yönteminde asgari deneyler yoluyla kalite özelliklerini incelemek için dikey dizinin özel bir tasarımı kullanılmaktadır. Daha sonra dikey dizine dayanan deneysel sonuçlar, performans özelliklerini bulmak için sinyal/gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülür. Bu nedenle, Taguchi yöntemi varyasyonların ortalamalarına değil, kalite özelliklerine olan etkisine odaklanmaktadır [14].

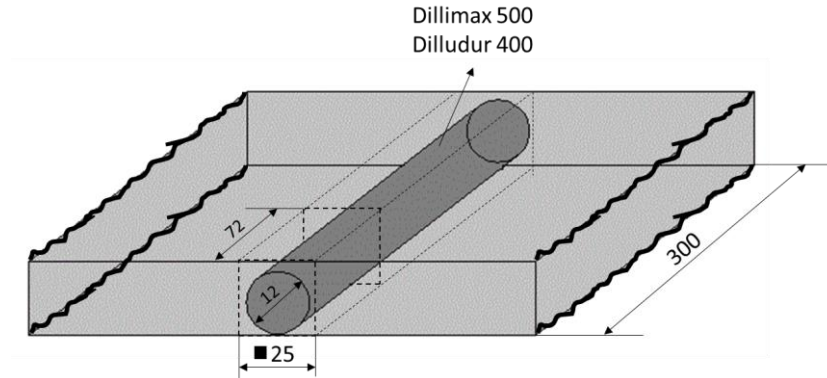
Bu çalışmada gün geçtikçe uygulama alanları giderek artan, sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin optimum çekme mukavemetlerine sahip olabilmeleri için gerekli olan kaynak parametrelerinin tespit edilmesi hedeflenmiş, bu amaçla kaynak parametrelerinin Taguchi yaklaşımı ile deney tasarımı oluşturulmuştur. En yüksek – en iyi deney yaklaşımı ile kaynak parametrelerinin çekme dayanımı üzerine etkileri belirlenmiştir. Bununla birlikte bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Deneysel çalışmalarda SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek olan Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çelikleri kullanılmıştır. SAE 1021 karbonlu çelikler Ø12×300 mm boyutlarında çubuk formunda ticari olarak elde edilirken Dillidur 400 ve Dillimax 500 çelikleri 25×300×300 mm boyutlarında levha şeklinde elde edilmiştir. Öncelikli olarak bu levhalar 25×25×300 mm boyutlarında plazma kesme makinesi ile kesilmiştir. Kare kesitli bu malzemeler 12 mm çapında silindirik forma getirilmek için torna tezgâhında işlenmiştir (Şekil 1). Malzemeler abrasif kesme makinesi ile 72 mm uzunluğunda kesilmiştir. Kesilen bu malzemelerin birleştirme yüzeylerindeki oksit, kir ve pas gibi atıkların

giderilmesi için 70 mm uzunluğa tornalama işlemi yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2’de çeliklere ait kimyasal kompozisyonlar ve mekanik özellikler verilmiştir.



**Şekil 1.** Dillidur 400 ve Dillimax 500 çeliklerinin sürtünme kaynağına hazırlık formlarının şematik gösterimi (Schematic illustration of preparation forms of Dillidur 400 and Dillimax 500 steels for friction welding)

**Tablo 1.** Çeliklere ait kimyasal kompozisyonlar (Chemical compositions of steels)

		Elementler										
		Fe	Mn	C	S	P	Si	Ni	Mo	Cr	V	Nb
Dillidur 400	Kalan	≤ 1.80	≤ 0.20	≤ 0.010	≤ 0.025	≤ 0.50	≤ 0.80	≤ 0.50	≤ 1.50	≤ 0.08	≤ 0.05	
Dillimax 500	Kalan	1 - 1.75	≤ 0.09	≤ 0.005	≤ 0.005	0.15 - 0.55	≤ 0.070	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.08	≤ 0.05	
SAE 1021	Kalan	0.6 - 0.9	0.18 - 0.23	≤ 0.05	≤ 0.04							

**Tablo 2.** Çeliklere ait mekanik özellikler (Mechanical properties of steels)

Mekanik özellikler			
Malzeme	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	% uzaman
Dillidur 400	1200	800	12
Dillimax 500	610	500	17
SAE 1021	480-540	260-450	17-28

## 2.2. Sürtünme Kaynağı (Friction Welding)

Kaynak işlemleri özel olarak tasarlanmış sürekli tahrikli kaynak cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz üzerindeki elektronik kontrol panelleri ile kaynak parametreleri rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Optimizasyon için kullanılan kaynak parametreleri ve seviyeleri Tablo 3’te belirtilmiştir.

**Tablo 3.** Optimizasyon için kullanılan kaynak parametreleri ve seviyeleri (Levels and welding parameters used for optimization)

Seviye		1	2	3
A	Malzeme	Dillidur 400-SAE1021	Dillidur 400-Dillimax 500	Dillimax 500-SAE1021
B	Yığıma Basıncı (MPa)	4	6	8
C	Sürtünme devri (dev/dak)	1250	1500	1750

### 2.3. Mikro sertlik Ölçümü (Microhardness Measurement)

Kaynak işlemi sonrası numuneler mikro sertlik ölçümleri için birleşme bölgesine dik doğrultuda ortadan kesilmiştir. Kesme işlemi süresince yapısal dönüşümlere neden olabilecek ısınmalara engel olabilmek için soğutma sıvısı kullanılmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri geleneksel metalografik işlemler ile hazırlanmıştır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin mikro sertliği Shimadzu marka HMV-T1 model Vickers sertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Tüm kaynaklı birleşimler mikro sertlik testine tabi tutulmuş ve sertlikler 10 s bekleme süresinde 0,5 kg yük ile ölçülmüştür.

### 2.4. Çekme Testi (Tensile Test)

Her bir numune için kaynak parametrelerinin bağ kuvveti üzerindeki etkisini belirlemek için çekme testleri yapılmıştır. Deneylerde Shimadzu marka universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2a). Çekme hızı 1 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Test numunesi ASTM E8 standartlara göre hazırlanmıştır (Şekil 2b) [15].



**Şekil 2.** Çekme test cihazı (a) ve test numunesi (b) (Tensile testing device (a) and test sample (b))

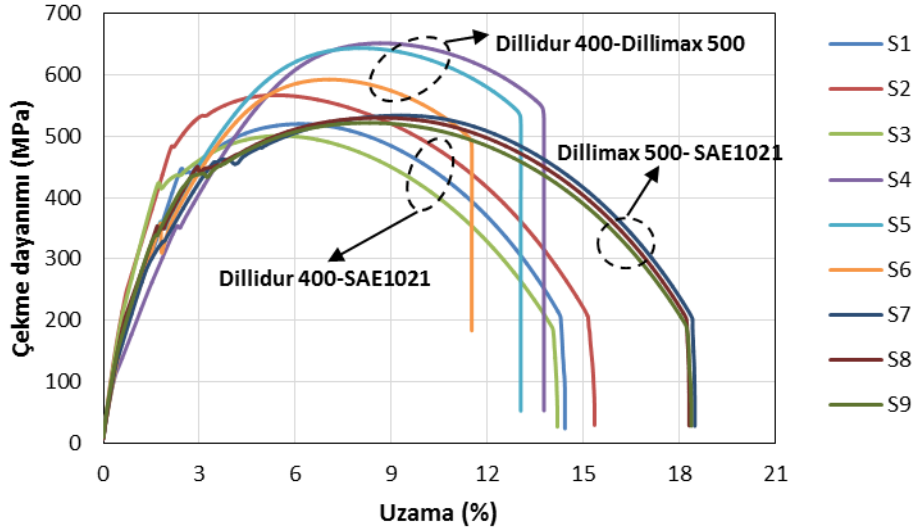
## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Taguchi Yöntemi ile Çekme Dayanımı Analizi (Tensile Strength Analysis with Taguchi Method)

Taguchi yöntemi ile kaynak parametrelerinin etkisini belirlemek için Minitab 17 istatistik programı kullanılmıştır [17]. Yapılan 9 adet deneyden elde edilen çekme dayanımı sonuçlarının (Şekil 3) her biri Taguchi yöntemi ile S/N oranları bulunmuştur. Bu değerlerin küçük olanı kötü, nominal olanı iyi ve büyük olanı en iyi olarak değerlendirilir. S/N oranı amaçlanan değere bağlı olarak farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir [18]. Yapılan bu çalışmada S/N oranı aşağıdaki Eşitlik 1'den hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (1)$$

Burada  $y_i$ ;  $i$ . test için çekme dayanımı değeri,  $n$ ; test sayısı ve  $N$ ; veri noktalarının toplam sayısıdır. Tablo 4'te Taguchi'nin L9 ortogonal sıralama ile deney planı ve deney sonucu elde edilen çekme dayanımı değerleri ve hesaplanan S/N oranları gösterilmektedir. Tablo 5'te ise S/N oranları için cevap tablosu verilmiştir.



**Şekil 3.** Numunelere ait çekme dayanımı-uzama grafiği (Tensile strength-elongation graph of the samples)

**Tablo 4.** Taguchi'nin L9 ortogonal sıralama için deney planı ile çekme dayanımı ve S/N oranı (Experimental setup for Taguchi's L9 Orthogonal Array with tensile strength and S/N ratio)

Numune no	Malzeme	Yığılma Basıncı (MPa)	Sürtünme devri (dev/dak)	Çekme mukavemeti (MPa)	S/N oranı (dB)
S1	1	4	1250	520	54,32
S2	1	6	1500	566	55,05
S3	1	8	1750	500	53,97
S4	2	4	1500	651	56,27
S5	2	6	1750	643	56,16
S6	2	8	1250	592	55,44
S7	3	4	1750	533	54,53
S8	3	6	1250	530	54,48
S9	3	8	1500	521	54,33

**Tablo 5.** Sinyal/Gürültü oranları için cevap tablosu (En büyük en iyi)(Response Table for Signal to Noise Ratios (Larger is better))

Seviye	Malzeme	Yığılma Basıncı	Sürtünme devri
1	54,45	55,04	54,75
2	55,96	55,24	55,22
3	54,45	54,59	54,89
Delta	1,51	0,65	0,47
Sıralama	1	2	3

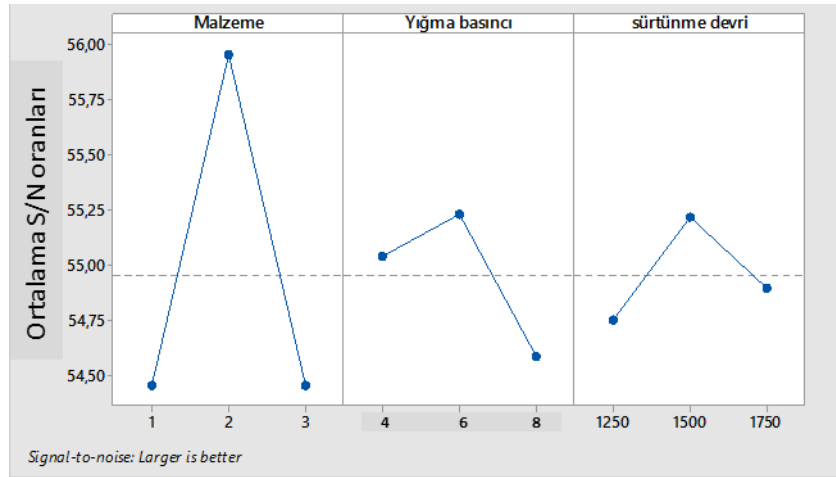
### 3.1.1 Varyans analizi (Analysis of variance)(ANOVA)

ANOVA işlem parametresini, gerilme mukavemetini ve analizde yer alan her bir faktörün önem derecesini ne derecede etkilediği konusunda net bir tablo ortaya koymaktadır. Tablo 6 çekme dayanımı ve S/N oranı için ANOVA tablosunu göstermektedir. Yüksek F- değeri (Fisher oranı), sürecin tepkisini etkilemek açısından son derece önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, malzeme türü son derece önemli bir faktördür ve kaynağın çekme dayanımını etkilemekte büyük rol oynamaktadır. Ayrıca etkinlik (katkı) yüzdelere bakıldığında %82 ile malzeme türünün en fazla değere sahip olduğu görülmektedir. ANOVA analizi sonrasında hata miktarının % 5'in altında olması yapılan optimizasyonun kabul edilebilir olduğunu göstermektedir [19].

**Tablo 6.** Varyans analizi (Analysis of variance-(ANOVA)) ( $R-sq = 99.93\%$ ,  $R-sq(adj) = 99.71\%$ )

Kaynak	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F- Değeri (Fisher Oranı)	Etki oranı (%)
Malzeme	2	20134,2	10067,1	1146,89	82,00
Yığıma basıncı	2	2820,2	1410,1	160,65	11,49
Sürtünme devri	2	1579,6	789,8	89,97	6,44
Hata	2	17,6	8,8		0,07
Toplam	8	24551,6			

S/N oranının ana etkileri Şekil 4'te verilen grafiklerde gösterilmektedir. Malzeme çifti -Dillidur 400-Dilimax 500 (Seviye 2), sürtünme devri - 1500 dev/dak (Seviye 2) ve yığıma basıncı - 6 MPa (Seviye 2) en iyi deney sonuçlarını veren parametreler olarak görülmektedir.



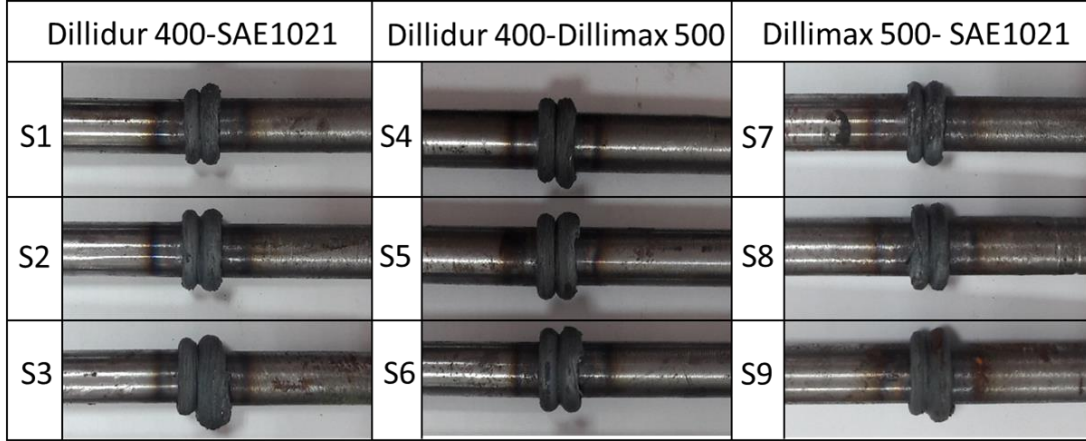
**Şekil 4.** S/N oranlarının ana etki grafiği (Main effect plot for S/N ratios)

### 3.2. Makro Gözlemler (Macro Observations)

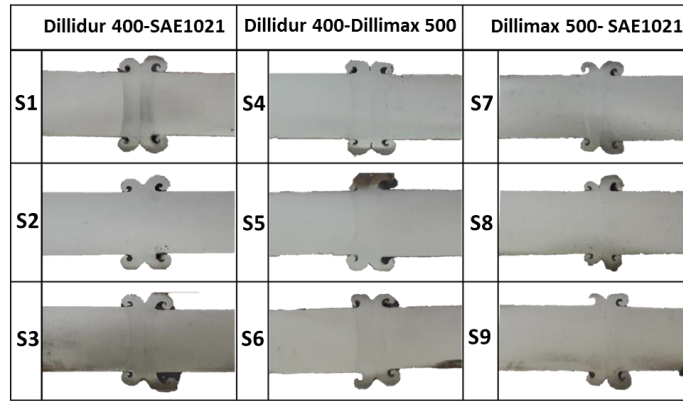
Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerde kaynak ara yüzeyinden dışarı doğru flanş şeklinde malzeme akışı meydana gelmektedir. Taşan bu kısım aynı zamanda malzemenin uzunluğunu kısaltmaktadır. Bilindiği gibi kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölgeler, bağlantı kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan Şekil 5'te gösterilen makro fotoğraflarda malzeme türündeki ve kaynak parametrelerindeki değişimlerin neden olduğu termal şok altındaki alanlar açıkça görülmektedir. Bununla birlikte kaynak parametrelerine bağlı olarak flanşların büzülme durumları da görülmektedir. Özellikle Dillidur 400 ve Dillimax 500'e kıyasla SAE 1021 tarafında büzülmelerin fazla olduğu dikkat çekmektedir. Şekil 6'da verilen ara yüzey fotoğraflarında da flanşların büzülme şekilleri ve miktarları daha net görülmektedir. Deneysel çalışmalarda tercih edilen yığıma basıncı ve sürtünme süreleri ara yüzeylerde plastik deformasyon için gerekli olan ısıyı üretmiştir. Mercan ve ark., [16] fazla materyalin şekli ve



büyüklüğü üzerinde döngü sayısının, sürtünme süresinin, sürtünme basıncındaki değişikliğin önemli bir rolü olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada fazla materyalin şekli ve büyüklüğü üzerine tercih edilen kaynak parametreleri ile birlikte birleştirilen malzemelerin kimyasal kompozisyonunun da etkin olduğu anlaşılmaktadır.



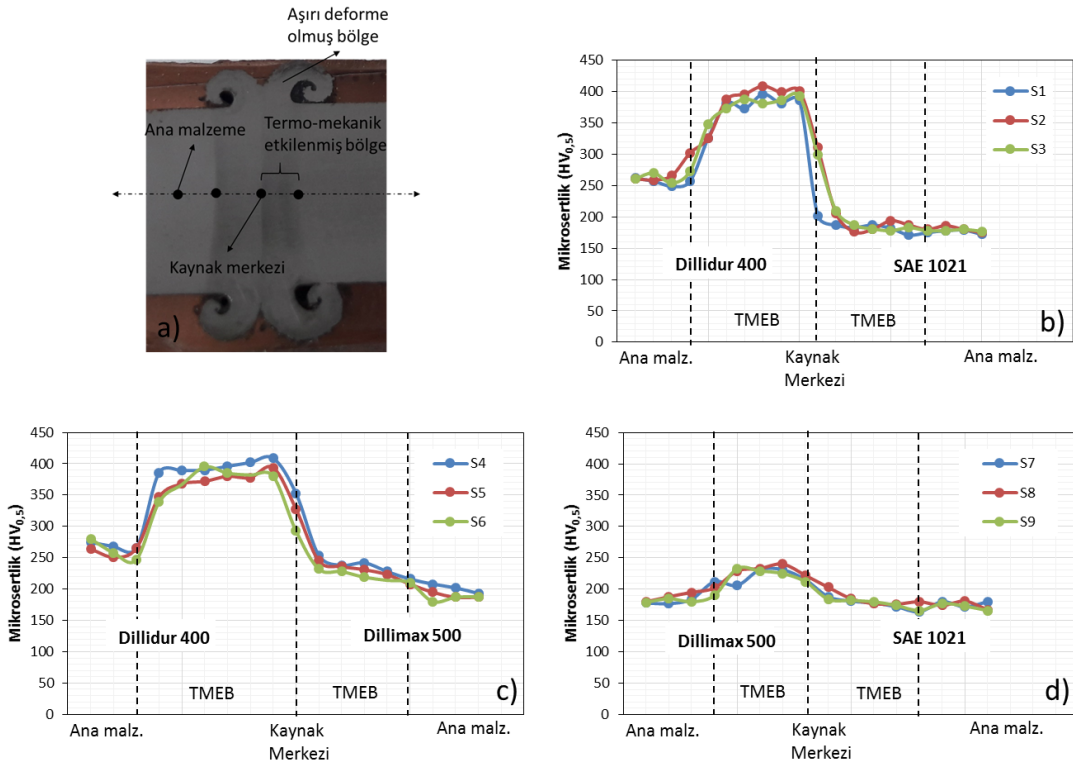
**Şekil 5.** Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin makro görüntüsü (Macro image of samples joined with friction welding)



**Şekil 6.** Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin ara kesit görüntüsü (Cross-sectional image of specimens joined with friction welding)

### 3.3. Mikro sertlik Değişimi (Microhardness Change)

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelere ait sertlik değişimleri ve sertlik ölçüm bölgeleri Şekil 7'de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde her üç grup için sertlik profilleri kendi içerisinde (S1-S3, S4-S6, S7-S9) birbirine benzemekle birlikte kaynak parametrelerindeki değişim termo-mekanik etkilenmiş bölgelerin genişliğinde de farklılık oluşturmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ve deformasyon miktarı ile birlikte Dillidur 400 ve Dillimax 500 çeliklerinde kaynak bölgesine yakın kısımlarda önemli ölçüde sertlik artışı meydana gelmiştir (Şekil 7b-c). Bu bölgelerde aşırı deformasyona uğramış taneler sertlik artışına neden olmuştur [20]. SAE 1021 çeliğinde ise önemli ölçüde sertlik değişimine rastlanmamıştır. Kaynak ara yüzey merkezinde en yüksek sertlik 353 HV ile Dillidur 400 – Dillimax 500 çiftinde elde edilirken (Şekil 7c), en düşük sertlik 202 HV ile Dilimax 500 – SAE 1021 çiftinde elde edilmiştir (Şekil 7d).



**Şekil 7.** Numunelerin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı (Microhardness distribution in the welding area of the specimens)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin mekanik özellikleri üzerine kaynak parametrelerinin optimizasyonu Taguchi analiz yöntemi ile sağlanmıştır. Çelikler 1250, 1500 ve 1750 dev/dak sürtünme devirlerinde ve 4, 6 ve 8 MPa yığma basınçlarında birleştirilmiştir. Bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Bu çalışmada kullanılan çelikler sürtünme kaynağı ile belirlenen kaynak parametrelerinde başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
- Malzeme türünün kaynak çekme dayanımı üzerinde en etkin parametre (% 82) olduğu tespit edilmiştir.
- Analiz sonuçlarına göre malzeme çifti -Dillidur 400-Dilimax 500 (Seviye 2), sürtünme devri - 1500 dev/dak (Seviye 2) ve yığma basıncı - 6 MPa (Seviye 2) en iyi deney sonuçlarını veren parametreler olarak tespit edilmiştir.
- Deneysel sonuçlara göre maksimum çekme dayanımı 651 MPa ile Dillidur 400- Dillidmax 500 çelik çiftinde elde edilmiştir. Aynı malzeme çiftinde kaynak ara yüzeyi sertlik değeri 353 HV'dir.

#### Semboller (Symbols)

S/N	Sinyal/Gürültü
yi	i. test için çekme dayanımı
n	Test sayısı
N	Veri noktalarının toplam sayısı

**TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENT)**

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetimi Koordinatörlüğü tarafından KÜ-HIZDES/2015-12 kodlu proje ile desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Handa, A. ve Chawla, V., “Experimental evaluation of mechanical properties of friction welded AISI steels”, *Cogent Engineering*, 1(1), 93699, 2014.
- [2] Arivazhagan, N., Singh, S., Prakash, S. ve Reddy, G. M., “An assessment of hardness, impact strength, and hot corrosion behaviour of friction-welded dissimilar weldments between AISI 4140 and AISI 304”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 679-689, 2008.
- [3] Meshram, S. D., Mohandas, T. ve Reddy, G. M., “Friction welding of dissimilar pure metals”, *Journal of Materials Processing Technology*, 184(1), 330-337, 2007.
- [4] Kırık, I. ve Ozdemir, N., “Weldability and joining characteristics of AISI 420/AISI 1020 steels using friction welding”, *International Journal of Materials Research*, 104(8), 769-775, 2013.
- [5] Mercan, S., Aydın, S. ve Özdemir, N., “Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding”, *International Journal of Fatigue*, 81, 78-90 2015.
- [6] Yan, J. H., Zheng, X. L. ve Zhao, K., “Prediction of fatigue life and its probability distribution of notched friction welded joints under variable-amplitude loading”, *International Journal of Fatigue*, 22(6), 481-494, 2000.
- [7] Celik, S. ve Ersozlu, I., “Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels”, *Materials & Design*, 30(4), 970-976, 2009.
- [8] Mumin Sahin, H., Akata, E. ve Gulmez, T., “Characterization of Mechanical Properties in AISI 1040 Parts Welded by Friction Welding”, *Materials Characterization*, 5, 1033-1038, 2007.
- [9] Satyanarayana, V. V., Reddy, G. M. ve Mohandas, T., “Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 160(2), 128-137, 2005.
- [10] Paventhan, R., Lakshminarayanan, P. R. ve Balasubramanian, V., “Fatigue behaviour of friction welded medium carbon steel and austenitic stainless steel dissimilar joints”, *Materials & Design*, 32(4), 1888-1894, 2011.
- [11] Tarnag, Y. S., Juang, S. C. ve Chang, C. H., “The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hard facing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 128(1), 1-6, 2002.
- [12] Montgomery D.C., “Design and analysis of experiments”, Wiley, Singapore, 1991.

- [13] Ross P.J., “Taguchi techniques for quality engineering”, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- [14] Javadi, Y., Sadeghi, S. ve Najafabadi, M. A., “Taguchi optimization and ultrasonic measurement of residual stresses in the friction stir welding”, *Materials & Design*, 55, 27-34, 2014.
- [15] ASTM E8M-03, Standard test methods for tension testing of metallic materials, vol 01.02., 2003.
- [16] Mercan, S., Aydin, S. ve Özdemir, N., “Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding”, *International Journal of Fatigue*, 81, 78-90, 2015.
- [17] Minitab 17. User Manual Making Data Analysis Easier. Minitab Inc. State College, USA, 2014.
- [18] Koilraj, M., Sundareswaran, V., Vijayan, S. ve Rao, S. K., “Friction stir welding of dissimilar aluminum alloys AA2219 to AA5083–Optimization of process parameters using Taguchi technique”, *Materials & Design*, 42, 1-7, 2012.
- [19] Campanelli, L. C., Suhuddin, U. F. H., Santos, J. F. D. ve Alcântara, N. G. D., “Parameters optimization for friction spot welding of AZ31 magnesium alloy by Taguchi method”. *Soldagem & Inspeção*, 17(1), 26-31, 2012.
- [20] Mercan, S. ve Özdemir, N., “AISI 2205/AISI 1020 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmesi”, *Technological Applied Sciences*, 8(2), 15-34, 2013.



## Karnaugh Haritasında Çıkarma Tabanlı Yeni bir Sadeleştirme Yöntemi

Türker TUNCER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Firat University, Technology Faculty, Department of Digital Forensic Engineering, Elazığ, TURKEY

### Öz

Karnaugh haritası (K-Map) mantıksal ifadeleri sadeleştirmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. K-Map' in sağladığı en önemli avantaj, bir elektronik devreyi minimum fiziksel kapı sayısı ile gerçekleştirmektir. K-Map konusu elektronik ve mantık derslerinin en önemli konularından birisidir ancak öğrenciler K-Map kullanarak sadeleştirme yaparken bazen grupları tespit edememektedir. Bu çalışmada K-Map' te bulunan büyük grupları kolayca tespit edebilmek için eleman eklenmiştir. Eleman ekleme sayesinde büyük gruplar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Büyük gruplar tespit edildikten sonra gerçek ifadeyi elde etmek için eklenen elemanlar çıkarılmıştır. K-Map üzerinde sadeleştirme yaparken sadece mantıksal toplama (VEYA) ve mantıksal çarpma (VE) işlemleri kullanılmaktadır. Bu makale K-Maplerde çıkarma işleminin yapılabileceği gösterilmiş ve önerilen yöntem De-Morgan teoremi kullanılarak ispat edilmiştir. Bu çalışmada, literatürde ilk kez K-Map üzerinde çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir ve K-Mapler için çıkarma tabanlı efektif bir sadeleştirme yöntemi önerilmiştir. De-Morgan teoremi ve deneysel sonuçlar önerilen yöntemin doğruluğunu göstermektedir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 07/01/2017

Kabul: 05/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Çıkarma tabanlı  
sadeleştirme  
Karnaugh haritası  
Mantıksal ifadeler

### Keywords

Subtraction based  
simplification  
Karnaugh map  
Boolean expressions

### A New Subtraction Based Simplifying Method on Karnaugh Map

### Abstract

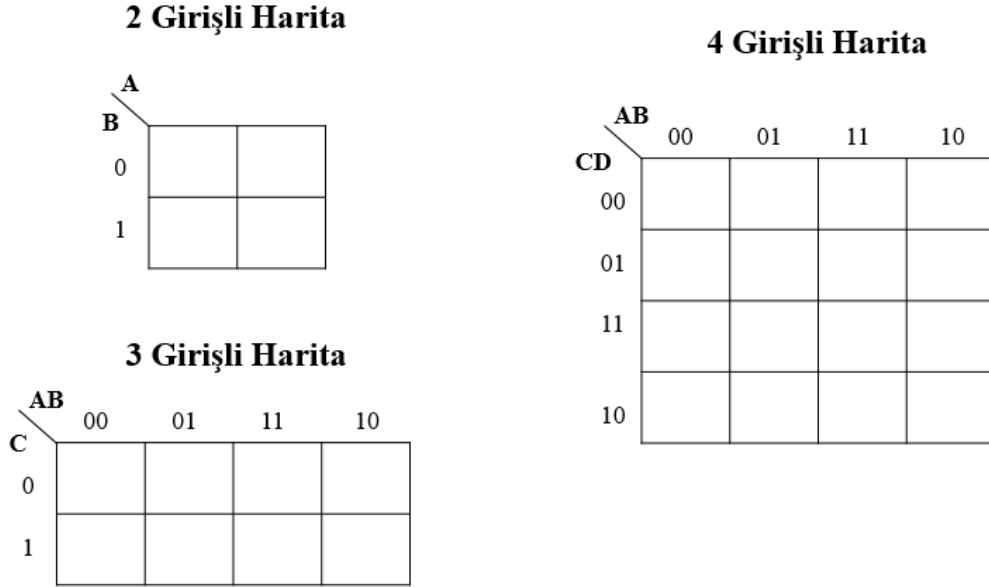
Karnaugh map is one of the methods that are widely used to simplify boolean expressions by using neighborhoods. The most important advantage provided by K-Map is to realize an electronic circuit with a minimum number of physical gates. K-Map is one of the most important subjects of electronic and logic courses, but students sometimes can not identify groups when simplifying using K-Map. In this study, inputs were added to easily identify large groups with K-Map. With the addition of elements, large groups can be detected easily. Once large groups have been identified, the added elements have been removed to obtain the true expression. Only logical addition (OR) and logical multiplication (AND) operations are used for simplification on the K-Map. This paper demonstrates that the subtraction process of K-Maps can be done and proved by using De-Morgan theorem. In this study, subtraction is performed on K-Map for the first time in the literature up to now and an effective subtraction-based simplification method is proposed for K-Maps. De Morgan theorem and experimental results show the correctness of the proposed method.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mantıksal ifadelerin sadeleştirilmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerin başında Karnaugh map (K-map) ve Quine McCluskey yöntemleri gelmektedir. K-map kullanılarak 2,3,4,5 veya 6 değişkenli mantıksal ifadeler sadeleştirilebilmektedir Daha karmaşık ifadeleri sadeleştirmek için Quine McCluskey yöntemi kullanılmaktadır. K-Map mantıksal ifadelerin sadeleştirilmesi gerektiği her alanda kullanılmaktadır. K-map'te önemli olan, matriste bulunan alt kümeleri tespit edebilmektir. K-Map tüm giriş olasılıklarının ifade edildiği iki boyutlu bir dizidir ve aşağıdaki özellikleri taşımaktadır [1-6]. Her bir hücrenin giriş

\*İletişim yazarı, e-mail: [turkertuncer@firat.edu.tr](mailto:turkertuncer@firat.edu.tr)

kombinasyonu komşu hücreyle bir bit farklılık gösterecek şekilde dizilir. Bu özelliği sağlamak için hücreler, Gray kod kullanılarak adreslendirilir. Aşağıdaki örnekte 2,3 ve 4 girişli K-mapler gösterilmektedir [7-10].



**Şekil 1.** 2,3 ve 4 girişli K-Mapler [8].

Sadeleştirme işlemini gerçekleştirmek için çıkışlar bu haritaya yerleştirilir. 0 değerlerini referans alan sadeleştirme işlemine Max-term, 1 değerlerini referans alan sadeleştirme işlemine de Min-term adı verilmektedir. K-Map'in kuralları aşağıdaki gibidir. Her hücre en az bir gruba dâhil edilmelidir.

1. En geniş olası grup seçilmelidir.
2. En az grup sayısı ile işlem sonlandırılmalıdır.
3. Grupların boyutu 2'nin kuvvetleri kadar olmalıdır. Örneğin,  $2^0=1$ ,  $2^1=2$ ,  $2^2=4$ ,  $2^3=8$ ,  $2^4=16$  gibi.
4. Gruplar kare veya dikdörtgen olmalıdır. Konveks veya konkav şekilde gruplar oluşturulmamalıdır.
5. En büyük grupta, en fazla gereksiz giriş bulunmaktadır. Gruplarda yer alan gereksiz girişler aşağıdaki gibi verilmiştir.
  - Grup 1 girişten oluşuyorsa, o grupta hiç gereksiz giriş bulunmamaktadır.
  - Grup 2 girişten oluşuyorsa, o grupta 1 gereksiz giriş bulunmaktadır.
  - Grup 4 girişten oluşuyorsa, o grupta 2 gereksiz giriş bulunmaktadır.
  - Grup 8 girişten oluşuyorsa, o grupta 3 gereksiz giriş bulunmaktadır.
  - Grup 16 girişten oluşuyorsa, o grupta 4 gereksiz giriş bulunmaktadır.

Gereksiz giriş sayısı Eşitlik 1 kullanılarak tespit edilmektedir [11-15].

$$r_i = \log_2 i$$

i giriş sayısı,  $r_i$  gereksiz giriş sayısı.

Mishchenko ve ark. [16] mantıksal ifadeleri ayrıştırma için bir algoritma önermiştir. Bu algoritma çok çıkışlı mantıksal ifadeleri sadeleştirirken kullanılmaktadır. İfadeleri fiziksel olarak gerçekleştirmek için iki girişli mantıksal kapılar kullanılmıştır. Bu kapılar VE, VEYA ve XOR (Özel veya) kapıdır. Bu algoritma değişkenleri kontrol etme, değişkenleri gruplama ve mantıksal ifadeyi üretme gibi aşamalardan oluşmaktadır. Holder [17] min-term' de mantıksal ifadeleri sadeleştirme için 16 tabanında sayıları kullanarak 4 x 4 boyutunda 4 girişli K-Map' te sadeleştirme işlemi yapılmıştır. Sadeleştirme işlemi kolayca yapabilmek için K-Map değiştirilmiştir. Yang ve ark. [18] kablosuz sanallaştırma problemini

çözebilmek için K-Map'ten esinlenerek yeni bir algoritma önermiştir. Bu algoritmayla kablosuz sanallaştırmadaki zorlukları çözebilmek için önerilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma K-Maplerin sadece sadeleştirmede değil, diğer problemlerin çözümünde de kullanılabileceğini göstermiştir. Rushdi [19] K-Maplere eleman ekleyerek yeni bir sadeleştirme yöntemi önermiştir. Önerdiği yöntemde kaydırma fonksiyonu ve küme teoremi kullanarak yöntemin doğruluğunu ispatlamıştır.

Bireyler, K-map ile sadeleştirme yaparken bazen optimum çözümü yapamamaktadır. Bunun sebebi, en büyük grubu tespit edememeleridir. Bu makalede, ekleme ve çıkarma tabanlı yeni bir yöntem önerilerek optimum çözümün bulunması hedeflenmektedir. Önerilen yöntemin özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Bu çalışma ile kullanıcıların K-Map kullanarak kolayca sadeleştirme yapabilecekleri gösterilmiştir.
- Bu çalışmada, literatürde ilk kez K-Maplerde sadeleştirme yapabilmek için çıkarma işlemi uygulanmıştır.
- Önerilen yöntem kullanılarak optimum şekilde sadeleştirme yapılabilmektedir.
- Önerilen yöntem matematiksel olarak doğrulanabilmektedir.
- Karnaugh haritasının 3. kuralını sağlayabilmek için önerilmiş basit ama efektif bir yöntemdir.

Bu makalenin 2. bölümünde önerilen yöntem, 3. bölümünde deneysel sonuçlar ve 4. bölümünde sonuç ve öneriler anlatılmaktadır.

## 2. ÖNERİLEN YÖNTEM

Önerilen yöntemin temel amacı, iki farklı küçük gruba giriş ekleyerek yeni bir büyük grup elde etmek ve elde edilen grubu sadeleştirdikten sonra eklenen girişi çıkararak sadeleştirilmiş ifadeyi elde etmektir. Önerilen yöntemin adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Büyük grubu elde etmek için eleman eklenir. Aşağıdaki şekillerde kırmızı yazı fontuyla gösterilen ifadeler eklenmiş elemanlardır

		AB			
		00	01	11	10
CD	00				
	01				
Y	11		1	1	
	X	10	1	1	

Şekil 2. Kesişen iki alt grubu büyük gruba tamamlama.

Şekil 2'deki örnekte X ve Y alt kümeleri bulunmaktadır. Bu alt kümeler 2 girişten oluşmaktadır. Bu alt kümelerden 4 elemanlı bir alt küme oluşturmak için  $\bar{A}BC\bar{D}$  hücrelerine bir giriş eklenmiştir. Böylece, 4 elemandan oluşan büyük bir alt küme elde edilmiştir. Bu küme yapay grup olarak adlandırılmaktadır.

Adım 2: Elde edilen büyük grup (alt küme) sadeleştirilir ve yapay grubun ifadesi elde edilir.

		AB			
		00	01	11	10
CD	00				
	01				
	11	1	1		
	10	1	1		
T					

Şekil 3. Yapay grup.

Yapay grup sadeleştirildiğinde  $\bar{A}C$  ifadesi elde edilir.

Adım 3: Adım 2' de elde edilen ifadeyle eklenmiş eleman çıkarılır. Gerçek ifadeyi bulmak için aşağıdaki Eşitlik kullanılır.

$$RE = VE - AE$$

$RE$  gerçek ifade,  $VE$  sanal ifade ve  $AE$  eklenmiş ifadedir.

Örneğin Şekil 3' teki örnek ele alınacak olursa.

$$VE = \bar{A}C$$

$$AE = \bar{A}BC\bar{D}$$

Bu iki ifadeyi çıkarmak için aşağıdaki teorem geliştirilmiştir.

Yöntem:  $VE - AE$  ifadesini basit şekilde çıkarabilmek için ortak ifadeler parantez içerisine alınır. Örnek 3 ele alınacak olursa.

$$\bar{A}C - \bar{A}BC\bar{D} = \bar{A}C(1 - B\bar{D})$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade açılırsa,  $\bar{A}\bar{B}C + \bar{A}CD$  ifadesi elde edilir. Bu ifadeyi elde etmenin kuralları aşağıdaki gibidir.

- Negatif ifadelerin tek tek tersleri alınarak parantez dışındaki ifadeyle çarpılır.
- Tüm ifadeler toplanır.
- Sadeleştirilmesi gereken ifade varsa tekrardan sadeleştirilir.

İspat: Yöntemde belirtilen ifadenin ispatı De-Morgan teoremi kullanılarak yapılmaktadır.

$$\bar{A}C - \bar{A}BC\bar{D} = \bar{A}C(1 - B\bar{D}) \text{ ifadesinde,}$$

$$(1 - B\bar{D}) = \overline{B\bar{D}} = \bar{B} + D \text{ değeri elde edilir.}$$

$$\bar{A}C(\bar{B} + D) = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}CD \text{ sadeleştirilmiş ifadesi elde edilir.}$$

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, önerilen yöntemin doğruluğunu ispatlamak için çeşitli kombinasyonlarda K-mapler kullanılmıştır önerilen yöntem ve gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yöntemi test edebilmek için 2,3 ve 4 girişli K-Mapler kullanılmıştır. Aşağıdaki örneklerde önerilen yöntemin doğruluğu test edilmektedir.



		A	
		0	1
B	0	1	1
	1	1	1

(a)

		A	
		0	1
B	0	1	
	1	1	

(b)

		A	
		0	1
B	0	1	1
	1	1	1

(c)

**Şekil 4.** 2 girişli karnaugh haritası örnekleri.

Şekil 4.(a)' da gösterilen örneğin sonucu  $\bar{B}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak B girişi karnaugh haritasına eklenmiştir. Şekil 4.(a)'nın sonucu aşağıdaki gibidir.

$$1 - B = \bar{B}$$

Şekil 4.(b)' de gösterilen örneğin sonucu  $\bar{A}\bar{B}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\bar{A}\bar{B}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup  $\bar{A}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\bar{A} - \bar{A}\bar{B} = \bar{A}(1 - B) = \bar{A}\bar{B}$$

Şekil 4.(c)' de gösterilen örneğin sonucu  $\bar{A} + \bar{B}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\bar{A}\bar{B}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup 1 olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$(1 - \bar{A}\bar{B}) = \overline{\bar{A}\bar{B}} = \bar{A} + \bar{B}$$

Şekil 5' te 3 girişli karnaugh haritaları kullanılmaktadır. Önerilen yöntem kullanılarak 3 girişli karnaugh haritalarının sadeleştirilmeleri aşağıda verilmiştir. Haritalarda kırmızı yazı fontuyla yazılmış elemanlar eklenmiş elemanlardır.

		AB			
		00	01	11	10
C	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	1

(a)

		AB			
		00	01	11	10
C	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	1

(b)

		AB			
		00	01	11	10
C	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	1

(c)

**Şekil 5.** 3 girişli karnaugh haritası örnekleri.

Şekil 5.(a)' da gösterilen örneğin sonucu  $A + \bar{B}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\bar{A}B$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup 1 olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$(1 - \bar{A}B) = \overline{\bar{A}B} = A + B$$

Şekil 5.(b)' de gösterilen örneğin sonucu  $B + \bar{C}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\bar{B}C$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup 1 olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$(1 - \bar{B}C) = \overline{\bar{B}C} = B + C$$

Şekil 5.(c)' de gösterilen örneğin sonucu  $\bar{C} + AB$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\bar{A}C + \bar{B}C$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup 1 olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$1 - (\bar{A}C + \bar{B}C) = 1 - C - (\bar{A} + \bar{B}) = \bar{C} + AB$$

Şekil 6' da 4 girişli karnaugh haritaları kullanılmaktadır. Önerilen yöntem kullanılarak 4 girişli karnaugh haritalarının sadeleştirilmeleri aşağıda verilmiştir.

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1			1
	01	1			1
	11				
	10				

(a)

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1			
	01	1			
	11	1			
	10	1			

(b)

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1	1	1	1
	01	1	1	1	1
	11				
	10				

(c)

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1	1	1	1
	01				
	11				
	10	1	1	1	1

(d)

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1	1	1	1
	01	1	1	1	1
	11				
	10				

(e)

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1	1	1	1
	01	1	1	1	1
	11				
	10				

(f)

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	1		1
01	1	1		1
11	1	1		1
10	1	1		1

(g)

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

(h)

Şekil 6. 4 girişli karnaugh haritası örnekleri.

Şekil 6.(a)' da gösterilen örneğin sonucu  $\overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{B}\overline{C}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup  $\overline{B}\overline{C}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{B}\overline{C} - \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{B}\overline{C}(1 - AD) = \overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{B}\overline{C}\overline{D}$$

Şekil 6.(b)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup  $\overline{A}\overline{B}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{A}\overline{B} - \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{A}\overline{B}(1 - CD) = \overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}\overline{D}$$

Şekil 6.(c)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{A}\overline{C} + \overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grup  $\overline{C}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{C} - \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{C}(1 - \overline{A}BD) = \overline{A}\overline{C} + \overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$$

Şekil 6.(d)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{A}\overline{D} + \overline{B}\overline{D} + \overline{C}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali  $\overline{D}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{D} - \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{D}(1 - \overline{A}BC) = \overline{A}\overline{D} + \overline{B}\overline{D} + \overline{C}\overline{D}$$

Şekil 6.(e)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali  $\overline{C}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{C} - \overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{C}(1 - \overline{B}D) = \overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$$

Şekil 6.(f)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali  $\overline{C}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{C} - \overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{C}(1 - BD) = \overline{B}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}$$

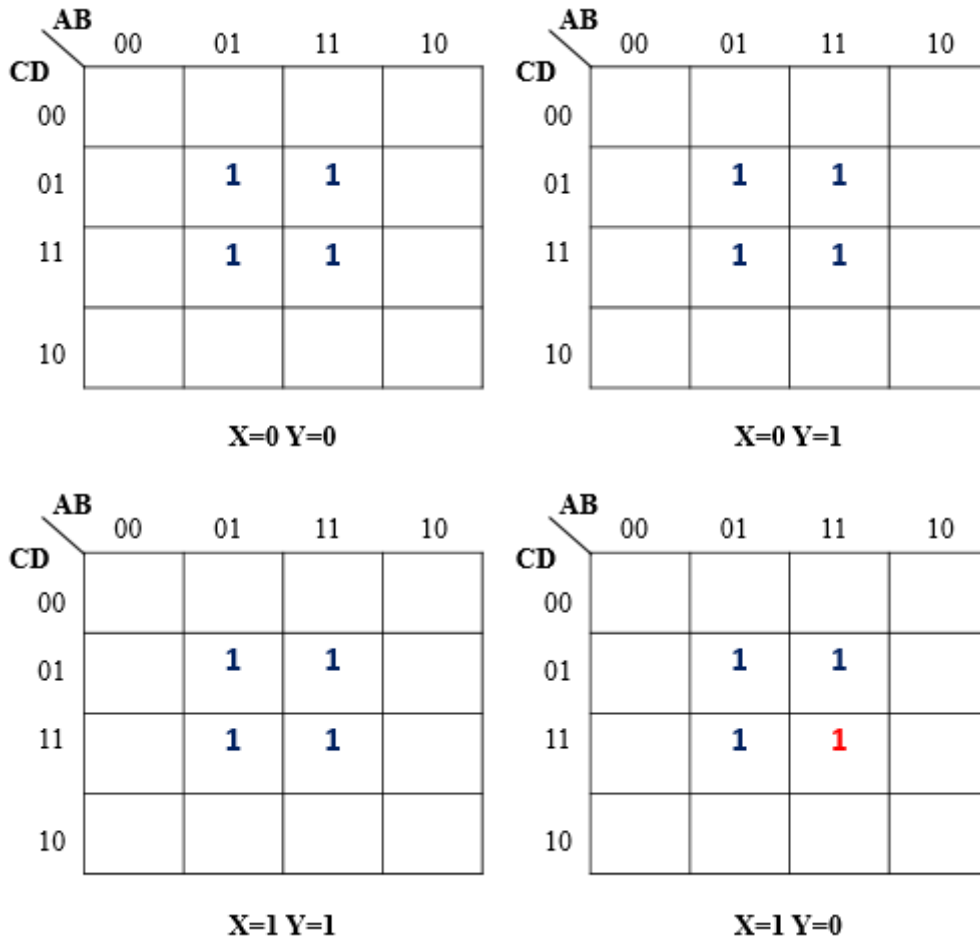
Şekil 6.(g)' de gösterilen örneğin sonucu  $\overline{A} + \overline{B}\overline{D}$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali  $\overline{A} + \overline{B}$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\overline{A} + \overline{B} - \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} = \overline{A} + \overline{B}(1 - \overline{A}\overline{D}) = \overline{A} + \overline{A}\overline{B} + \overline{B}\overline{D} = \overline{A} + \overline{B}\overline{D}$$

Şekil 6.(h)' da gösterilen örneğin sonucu  $\bar{A} + \bar{B} + D$  dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $AB\bar{D}$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali 1 olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$1 - AB\bar{D} = \overline{AB\bar{D}} = \bar{A} + \bar{B} + D$$

Önerilen yöntemin doğruluğunu ispat edebilmek için 2, 3 ve 4 girişli K-Mapler kullanılmıştır. Bu K-Maplerin kullanılmasının sebebi, tümevarım kuralını kullanarak yöntemin doğruluğunu ispatlayabilmektir. >4 girişli K-Mapler, 4 girişli K-Maplerden oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı, önerilen yöntem tüm K-Mapler için uygulanabilir. Şekil 7' deki örnekte 6 girişli K-Map örneğinde yöntemin doğruluğu gösterilmektedir.



Şekil 7. 6 girişli K-Map örneği.

Şekil 7' de gösterilen örneğin sonucu  $\bar{X}BD + YBD + \bar{A}BD + B\bar{C}D$ 'dir. Önerilen yöntem kullanılarak  $X\bar{Y}ABCD$  girişi karnaugh haritasına eklenmiştir ve yapay grubun sadeleştirilmiş hali  $BD$  olmuştur. Eklenen giriş yapay gruptan çıkarıldığında sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$BD - X\bar{Y}ABCD = BD(1 - X\bar{Y}AC) = \bar{X}BD + YBD + \bar{A}BD + B\bar{C}D$$

#### 4. SONUÇ

Bu makalede K-Mapler üzerinde çıkarma tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin temel amacı K-Map kurallarından, olası en büyük grubu bulup, boolean ifadesinin en sade halini elde edebilmek ve K-Map üzerinde çıkarma işleminin nasıl yapılacağını gösterebilmektir. Bu çalışmada ilk kez K-Mapler

üzerinde çıkarma işlemi uygulanmıştır. Bu makalede yöntemin doğruluğunu ispat edebilmek için tümevarım yöntemi kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı, 2, 3 ve 4 girişli K-Mapler kullanılmıştır. Daha fazla girişli K-Mapler 4 girişli K-Maplerin birleşiminden oluştuğu için önerilen yöntem genel olarak doğruluğu ispatlanmıştır. Bu ispat deneysel sonuçlarda gösterilen 6 girişli K-Mapte de gösterilmiş ve önerilen yöntemin matematiksel ve deneysel olarak doğruluğu ispatlanmıştır. Literatürde yapılan diğer çalışmalarda sadeleştirme yapabilmek için XOR, onaltılık tabanda kodlama gibi işlemler yapılmıştır ancak şimdiye kadar K-Mapler üzerinde çıkarma işlemi yapılmamıştır. Bu yöntemin temel amaçlarından biri de karmaşıklığı arttırmadan sadeleştirme işlemi gerçekleştirebilmektir. Diğer yöntemler sadeleştirme yapabilmek için ya kapı sayısını arttırmış ya da kodlamadaki bit sayısını arttırarak karmaşıklığın artmasına sebep olmuştur. Önerilen yöntemde çıkarma işlemi kullanılarak karmaşıklığı arttırmadan kolayca sadeleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak bazı durumlarda (grupların bariz olduğu durumlarda) ekleme ve çıkarma işlemi yapıldığı için işlem adımları uzamaktadır. Bu da yöntemin kısıtlılığı olarak görülse de, yöntemin temel amacının grupları rahatça tespit etmek olduğu için, giriş gruplarının bariz olarak tespit edilebildiği durumlarda uygulanmasına gerek yoktur. Önerilen çalışma bu yönüyle de sahip olduğu özgün değeri pekiştirmektedir. Önerilen yöntem kullanılarak kullanıcıların ve öğrencilerin büyük grupları daha rahat tespit edeceği gösterilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. K. Lala, Principles Of Modern Digital Design, John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [2] A. K. Maini, Digital Electronics Principles, Devices and Applications, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2007.
- [3] M. Balch, Complete Digital Design, A Comprehensive Guide to Digital Electronics and Computer System Architecture, The McGrawHill Companies, Inc., 2003.
- [4] Das, K., De, D., & De, M. (2016). Modified Ternary Karnaugh Map and Logic Synthesis in Ternary Quantum Dot Cellular Automata. *IETE Journal of Research*, 1-12.
- [5] R. Fadous, J.Forsyth, Finding candidate keys for relational data bases, ICMD,1975,pp.203-210.
- [6] Rajput, D. S., Thakur, R. S., & Thakur, G. S. (2014). Karnaugh Map Approach for Mining Frequent Termset from Uncertain Textual Data. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 4(3), 333.
- [7] Rushdi, A. M., & Al-Yahya, H. A. (2000). A Boolean minimization procedure using the variable-entered Karnaugh map and the generalized consensus concept. *International Journal of Electronics*, 87(7), 769-794.
- [8] Karnaugh maps, <http://home.anadolu.edu.tr/~egermen/EEM232/Week%203.pdf> (Son Erişim Tarihi: 30/12/2016).
- [9] Miller, J. F., Job, D., & Vassilev, V. K. (2000). Principles in the evolutionary design of digital circuits—Part I. *Genetic programming and evolvable machines*, 1(1-2), 7-35.
- [10] P. Chuang, Logic Simplification & Karnaugh Map, Lecture Note: [http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/ee1\\_digital/Lecture5-Karnaugh%20Map.pdf](http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/ee1_digital/Lecture5-Karnaugh%20Map.pdf), 2007.
- [11] Rathore, T. S. (2016). A Note on the Size of a Karnaugh Map. *IETE Journal of Education*, 1-4.
- [12] D.E. Muller ‘Application of Boolean algebra to switching circuit design and to error detection’, IRE Transactions on Electronic Computers, EC-3, pp. 6–12, 1954.

- [13] M. Tabandeh, Application of Karnaugh map for easy generation of error correcting codes, *Scientia Iranica D* (2012) 19 (3), 690–695.
- [14] D. W. Pessen, *Industrial Automation - Circuit Design and Components*. John Wiley, New York. 1989.
- [15] S.-K. Sim, P. S. K. Chua, Symbolic pattern manipulation of KarnaughVeitch maps for pneumatic circuits, *Artificial Intelligence in Engineering* 10 (1996) 71-83.
- [16] Mishchenko, A., Steinbach, B., & Perkowski, M., An algorithm for bi-decomposition of logic functions. In *Proceedings of the 38th annual Design Automation Conference* (pp. 103-108). ACM., (2001, June).
- [17] M. E., Holder, A modified Karnaugh map technique. *IEEE Transactions on Education*, 48(1), 206-207, (2005).
- [18] Yang, M., Li, Y., Zeng, L., Jin, D., & Su, L. (2012, September). Karnaugh-map like online embedding algorithm of wireless virtualization. In *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on* (pp. 594-598). IEEE.
- [19] A. M., Rushdi, Improved variable-entered Karnaugh map procedures. *Computers & electrical engineering*, 13(1), 41-52, (1987).



## Karayolu Ağında Kullanılan Değişken Mesaj İşaretlerine Yönelik Değerlendirme

Tuğba AKAR<sup>1,\*</sup>, Ebru ARIKAN ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> KGM, Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Trafik Planlaması ve Uygulaması A.B.D, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

### Öz

Karayolu ağında giderek yaygınlaşan Değişken Mesaj İşaretleri (DMİ) gerçek zamanlı verilerle sürücüye bilgi sağlamak ve trafiği yönetmek amacıyla kullanılan Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) en önemli bileşenlerinden birisidir. DMİ genellikle baş üstü direklere monte edilmekte olup LED ekran aracılığıyla resim, yazı ve rakam gösterebilen grafik tabanlı teknolojisi sayesinde çok fazla mesaj oluşturulabilmektedir. Bu çalışma, DMİ mesajların ve mesaj ekranının geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla, DMİ mesajlarının daha kolay kavranmasına yönelik bulgular ortaya koyan bir değerlendirme çalışmasıdır. Çalışmada öncelikle DMİ mesajlarının tasarımı ve sergilenmesi ile ilgili literatür incelenmiş ve güncel uygulamalar gözden geçirilmiştir. İkinci aşamada DMİ mesajların kavranmasına ilişkin bir anket çalışması yapılmıştır. Anket araştırması, sürücülerin üç farklı mesaj ve bu mesajların metin rengi, piktogram kullanımı ve piktogramın DMİ üzerinde gösterimi ile ilgili tercihlerini araştırmak üzere tasarlanmıştır. Çalışma bulguları, sürücülerin DMİ mesajlarını daha hızlı bir şekilde fark edebileceği, anlayabileceği ve reaksiyon gösterebileceği bir DMİ seti önermekte olup bulguların mesaj oluşturma aşamasında trafik mühendislerine yol göstereceği düşünülmektedir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 09/01/2017

Kabul: 26/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Değişken Mesaj İşaretleri

Piktogram

Akıllı Ulaşım Sistemleri

### Keywords

Variable Message Signs

Pictogram

Intelligent Transport

Systems

## Evaluation of Variable Message Signs Used in Highway Networking

### Abstract

Variable Message Signs (VMS), which is becoming increasingly popular in the highway network, is one of the most important components of Intelligent Transportation Systems (ITS) which are used to provide information to the driver in real time and to manage traffic. VMS is usually mounted on head-mounted pylons, and thanks to graphic-based technology that can display pictures, text and figures via LED display, a lot of messages can be generated. This study is an evaluation study that provides findings for easier understanding of VMS messages to help improve the VMS messages and message display. In the study, the literature on designing and exhibiting VMS messages was examined and current applications were reviewed. In the second stage, a questionnaire survey was conducted on the understanding of the messages in the VMS. The survey is designed to explore the drivers' preferences for three different messages and their text color, use of pictograms, and display of pictograms on VMS. The study findings suggest a set of VMS that drivers can recognize, understand and react to VMS messages more quickly and it is thought that the findings will lead traffic engineers in the message generation phase

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Değişken Mesaj İşaretleri (DMİ) baş üstü direğe monte edilen (Şekil 1), LED (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot) kullanılarak oluşturulmuş düzenli matris alan üzerinde yazı, şekil, rakam ve resim gösterebilen grafik tabanlı, programlanabilen elektronik bültenlerdir. Trafik güvenliğini ve sürüş konforunu artırmak için Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)’nin diğer bileşenlerinden alınan veriler (buzlanma, trafik yoğunluğu v.b.) değerlendirildikten sonra DMİ’de sürücülere sunulmakta ve bu bilgiler sürücüleri trafik yoğunluğu, trafik kazaları, hava ve yol durumu vb. hakkında bilgilendirmekte ve sürücülerin gereken tedbiri almalarına imkân sağlamaktadır [1].

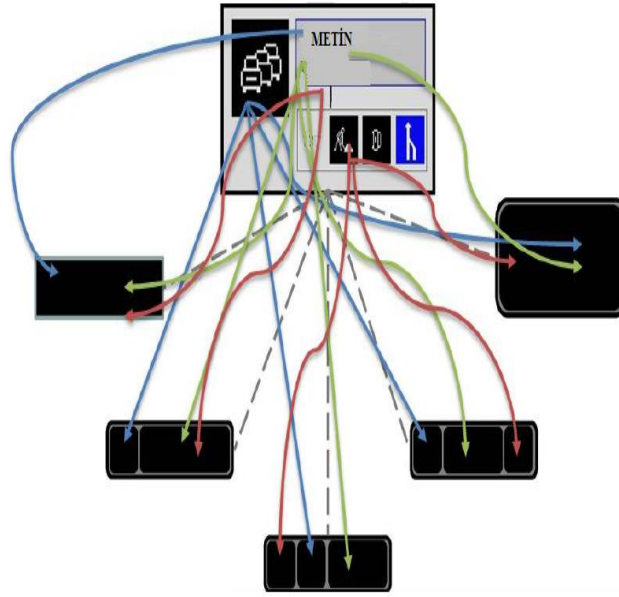


*Şekil 1. Baş üstü direğe monte edilmiş DMİ (VMS mounted on overhead sign bridges)*

Sürücülerin DMİ üzerinde verilen mesajı okuyup anlayabilmeleri için dikkatlerini belli bir süre mesaja vermeleri gerekmektedir ve bu süre standart trafik levhalarını anlayabilmek için verilen süreden daha fazladır. Trafikte sürücünün dikkati her zaman limitli bir kaynak olarak ele alınmalıdır ve dikkat kapasitesi aşılmamalıdır. DMİ’de verilen mesaj sürücünün dikkat kapasitesini aşarsa, zihinsel iş yükü de artar. Sonuç olarak, mesaj yeterli düzeyde anlaşılabilir ve sürücünün dikkati dağılır. Dikkati dağılan sürücünün davranışları, hız seçimlerindeki değişiklik ve frenleme olarak gözlemlenir. Hızdaki değişiklik ve fren yapma eğilimi de trafiği olumsuz etkiler. Bu sebeple DMİ’de verilen mesajların çok uzun ve karmaşık olmaması gerekmektedir. Olabildiğince kısa ve öz mesajlarla sürücü bilgilendirilip yönlendirilmelidir. Mesajlardaki metinlerin okunabilme süresi metnin uzunluğuna, karakter büyüklüğü ve yolun işletme hızına göre değiştiği için bu parametrelerin EN 12966 Standard’ında tanımlanan değerleri dikkate alınarak metinlerin hazırlanması trafik güvenliği açısından son derece önemlidir [2].

Verilen metin mesajlarının kısa ve öz olması kadar DMİ ekranının kullanımı da mesajın anlaşılabilirliğini ve okunurluğunu artırmaktadır. Özellikle metin ve piktogram yerleşimi sürücünün mesajı anlayabilmesi için son derece önemlidir. “DMİ Uyumu (VMS Harmonisation) Kitab”ında DMİ ekranının kullanımı, metin ve piktogram yerleşimi ile ilgili örnek mesajlara yer vermiştir (Şekil 2). Mesajların tasarımı ile ilgili prensip ve tavsiyeleri sentezleyen genel bir yol haritası ortaya koyduğu için DMİ mesajlarını dizayn ederken kesinlikle incelenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu kitapta birçok yol ve trafik durumu için özel mesajlar yer almaktadır. Bu kitap Avrupa Komisyonu’nun finans sağladığı EasyWay projesinin Uzman Çalışma Grubu 4 tarafından ulusal yol otoriteleri, otomotiv endüstrisi, Telekom operatörleri ve kamusal ulaşım paydaşları işbirliğiyle hazırlanmış ve A. Arbaiza, A. Lucas koordinatörlüğünde 2012 yılında yayınlanmıştır [3].





**Şekil 2.** DMİ'de metin-piktogram yerleşimi (Text – pictogram placement on VMS )

DMİ mesajlarının sürücüler tarafından kolayca anlaşılabilmesi, mesajların daha etkili olması anlamına gelmektedir [4]. Geçmiş çalışmalar piktogram ile verilen mesajların metin ile verilen mesajlardan daha hızlı anlaşıldığı göstermektedir [5]. DMİ mesajına piktogram eklemek sürücünün mesajı anlama kapasitesini artırmakta ve hızlıca tepki göstermesini sağlamaktadır. Araştırmalar piktogramın, metin mesajlarından daha çok faydalar sağladığını ortaya koymaktadır. Metin mesajlarıyla kıyaslanacak olursa, mesajı tanımak daha kolay ve hızlıdır, daha uzak mesafelerden, hatta kötü hava şartlarında bile okunabilmektedirler. Ayrıca metin mesajının dili bilinmese de, mesajlar farklı dilden insanlar tarafından da anlaşılabilir [1]. DMİ mesajların okunurluğunun, anlaşılabilirliğinin ve sürücü bilgilendirme ve yönlendirmede etkinliğinin artırılması için yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

K. R. Stern, (1984) çalışmasında; mesaj verilirken sadece piktogram kullanımının mesajı anlama süresini kısalttığını, fakat yazı ve piktogramın birlikte verildiği mesajlarda mesajın doğru anlaşılma oranının arttığını ifade etmiştir [6].

C. Cameron, W. A. McGill, (1968) çalışmalarında; geleneksel trafik işaretlerinde piktogram kullanımını araştırmış ve piktogram içeren trafik işaretlerinin daha uzak mesafelerden görülerek işarete göre hareket edildiğini tespit etmiştir [7].

D. Bruce ve diğerleri (2000) çalışmalarında; yazı içeren mesajların okunma süresinin piktogram içeren mesajlardan daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Mesajın anlaşılmasındaki performans farklılıklarının yaşla ve cinsiyetle değişiklik gösterip göstermeyeceği ile ilgili ise açık bir bulguya rastlanmadığını ifade etmişlerdir [8].

D. W. Kline, P. Fuchs, (1993) yaptıkları laboratuvar çalışmasında; yazı ve piktogram içeren mesajların okunabilirlik mesafesini araştırmışlardır. Piktogramın okunabilirlik mesafesinin, yazının okunabilirlik mesafesinin iki katı olduğunu bulmuşlardır [9].

R. M. Wulkowicz, (1988) kör nokta olarak ifade edilen yerlerde sürücüyü bilgilendirmeyi amaçlayan çalışmasında; özellikle bu noktalarda semboller kullanarak bilgisel işaretleri artırmayı hedeflemiştir. Çalışmasında sürücülerin sık sık karşılaştığı ve MUTCD (Manual On Uniform Traffic Control Devices)'de yer alan standart uyarı işaretlerini kullanmıştır [10].

T. P. Alkim ve diğerleri (2000), aynı sürüş koşulları altında hem DMİ'nin hem de grafik rota bilgi panellerinin (Şekil 3) (GRIPs-Graphical Route Information Panels) sürücüler tarafından algılanmasını bir sürüş simülasyonu yardımıyla test etmişlerdir. İlk başta DMİ'den verilen mesajlara daha hızlı tepki verirken, sürücülerin GRIPS'lere ise alıştıktan sonra daha hızlı cevap verdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca sürücülerin GRIPS'lere bakarak daha iyi rota buldukları da saptanmıştır [11].

E. Alena, ve S. Fridulv, (2006) yılında sürücünün dikkati ve davranışları üzerinde DMİ'nin etkileri konulu bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada sürücülerin DMİ üzerindeki verilen mesaja dikkatlerini belli bir süre vermeleri gerektiğini ve bu sürenin trafik levhalarını anlayabilmek için verilen süreden fazla olabileceği vurgulanmıştır. Makaleye göre sürücünün dikkatinin her zaman limitli bir kaynak olarak ele alınması gerekliliği üzerinde durulmuş ve araç kullanılırken bir göreve daha fazla dikkat verirken diğer görevler için daha az dikkat ayrıldığı dile getirilmiştir. Bir DMİ üzerinde okunan mesaj, dikkat kapasitesini aşıyorsa, zihinsel iş yükünün de artacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak, mesajın yeterli düzeyde anlaşılacak ya da sürücünün dikkatinin dağılacağı söylenmiştir. Alternatif rota tavsiye eden mesajların şerit değiştiren ya da yön değiştiren araç sayısını artırmasıyla da kaza riskinin yükseleceğine değinilmiştir. Makalede Oslo'da bulunan otoyol üzerine kurulmuş DMİ bulunan iki bölgede bir gözlem çalışması yürütülmüştür. DMİ'de otoyol üzerinde akış yönüne



**Şekil 3.** Grafik rota bilgi panellerinin Japonya'da kullanımı (Using graphical route information panels in Japan) [2]

doğru kapalı bir yol bölümü hakkında metin mesajları gösterilmiş ve alternatif bir rota tavsiyesi verilmiştir. Bir kontrol grubu elde etmek amacıyla, yaklaşık olarak ölçüm periyodunun yarısında DMİ göstergesinde mesaj gösterilmemiştir. Çalışmada, DMİ'deki mesajlar ve sürücü davranışları gözlemlenmiştir. Sürücü davranışları hız seçimlerindeki değişiklik ve frenleme olarak ortaya çıkmıştır. Hızdaki değişiklik ve fren yapma eğiliminin sürücünün zihinsel iş yükünün göstergesi olduğu çıkarımı yapılmıştır. DMİ'de verilen mesajların çok uzun ve karmaşık olmaması gerektiği vurgulanmıştır [12].

## 2. METOT (METHOD)

Bu araştırmanın amacı, çeşitli DMİ mesaj özelliklerinin sürücülerin anlama ve sürüş esnasındaki mesaja verdiği tepkiyi ve mesajı anlamasını nasıl etkilediğini test etmektir. Çalışmada sürücülerin DMİ mesajlarını anlama ve yanıtlanmasını etkileyebilecek faktörleri belirlemek için bir anket uygulanmıştır. Anket araştırması, sürücülerin üç farklı mesaj ve bu mesajların metin rengi, piktogram kullanımı ve piktogramın DMİ üzerinde gösterimi ile ilgili tercihlerini araştırmak üzere tasarlanmıştır. Uygulanan ankette sürücülere çoktan seçmeli sorular yöneltilerek sürücünün görüş ve tercihleri toplanmıştır.

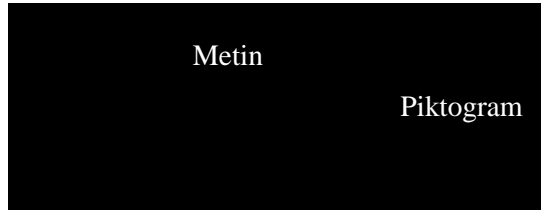
Katılımcılar tarafından yapılan tercihler, tercih yüzdeleri otomatik olarak makrolar kullanılarak hesaplanan Microsoft Excel® çalışma sayfasına girilmiştir. Buna ek olarak, her bir faktöre göre farklı varyasyonlar arasındaki önemi test etmek ve anket güvenilirliğini görmek için eşleştirilmiş t-testleri yapılmıştır.

### 3. DMİ'DE METİN VE PİKTOGRAM YERLEŞİMİ (TEXT AND PICTOGRAM SETTLEMENT IN VMS)

Metin ve piktogram yerleşimi sürücünün mesajı anlayabilmesini kolaylaştırdığı için son derece önemlidir. “DMİ Uyumu (VMS Harmonisation) Kitab”ında ekranın nasıl kullanılacağı anlatılmaktadır. DMİ’de verilen mesajın asıl konusu temel alınarak konuya uygun bir piktogram seçilmesi gerekmektedir. Ana piktogramın panonun sol kısmında (Şekil 4) verilmesi uygun olmakla birlikte sağ kısımda (Şekil 5) da verilebilir ya da sadece metin (Şekil 6) verilir piktogram kullanılmayabilir.



**Şekil 4.** Piktogram – metinden oluşan mesaj (Consisting of pictogram - text message)

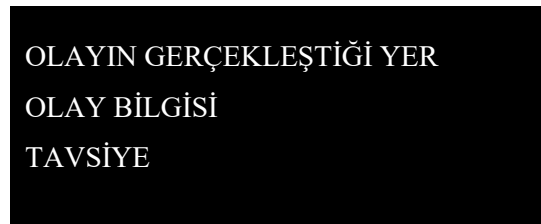


**Şekil 5.** Piktogram – metinden oluşan mesaj (Consisting of pictogram - text message)



**Şekil 6.** Sadece metinden oluşan mesaj (Just a text message)

Metin alanında verilen mesaj ise, 3 satırı aşmamakla birlikte (Şekil 7) birinci satırda olayın gerçekleştiği yer, ikinci satırda olay bilgisi ve üçüncü satırda tavsiye verilmesi gerekmektedir. Metin alanındaki bu sıralama mesajın anlaşılabilirliğini artırmaktadır ve Türkçe cümle yapısına da uyum sağlamaktadır.



**Şekil 7.** Metin alanının kullanımı (Use of text field)

#### 4. ANKET ÇALIŞMASI (QUESTIONNAIRE SURVEY)

DMİ mesajlarının görüntülenmesi ile ilgili sürücülerin görüş ve tercihlerini toplamak için bir anket oluşturulmuştur. Anket 10 sorudan oluşmaktadır. Her soru farklı renk şemalar, biçimler veya ifadelerde gösterilen birden fazla DMİ mesaj seçeneğini içermektedir. Anketin geliştirilmesi ve sunumunda gerçek DMİ'de görülen tüm dinamik özellikleri çoğaltma yeteneğine sahip Microsoft PowerPoint® kullanılmıştır.

Mesajlar Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan ve onaylanan DMİ mesaj kütüphanesinden seçilmiştir. Bu mesajlar otoyollarda, devlet ve il yollarında ortak kullanılan trafik durumu, bakım-onarım çalışması ve hava durumu ile ilgilidir. Seçilen mesajlar Tablo 1'de gösterilmektedir. Anketteki her soru standart siyah zemin üzerine birden fazla DMİ görüntü seçeneği ile sunulmaktadır.

Bir soru içindeki bu çoklu DMİ görüntüleri, sürücülerin yanıtlarını etkileyebilecek faktörlerin artırılması için oluşturulmuş ve bir soruda sadece tek bir faktör araştırılmıştır. Bu teknik belirli bir mesajlaşma faktörü ile ilgili en çok tercih edilen etkinin belirlenmesine yardımcı olmak için sistematik bir analiz yapılmasına da izin vermiştir.

**Tablo 1.** Anket çalışmasında yer alan mesajlar (Messages in the survey study)

Mesaj Tipi	Durum	Mesaj İçeriği
Trafik Durumu	Yoğun Trafik	1 KM SONRA YOĞUN TRAFİK DİKKATLİ OLUNUZ
Hava Durumu	Sis	YOĞUN SİS DİKKATLİ OLUNUZ
Bakım-Onarım Çalışması	Yolda Çalışma	1 KM İLERİDE YOLDA ÇALIŞMA SAĞDAN GİDİNİZ

Yoğun trafik, yoğun sis ve yolda çalışma ile ilgili piktogramlı ve piktogramsız mesajların yöneltildiği sorular Şekil 8a, 8b, 8c'de yer almaktadır.



**Şekil 8a.** Piktogramlı ve piktogramsız “yoğun trafik” mesajı (“Heavy traffic” message with pictogram and without pictogram)

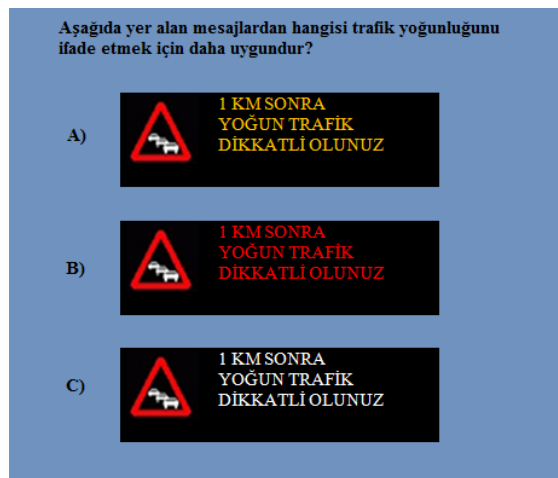


**Şekil 8b.** Piktogramlı ve piktogramsız “yoğun sis” mesajı (“Heavy fog” message with pictogram and without pictogram)

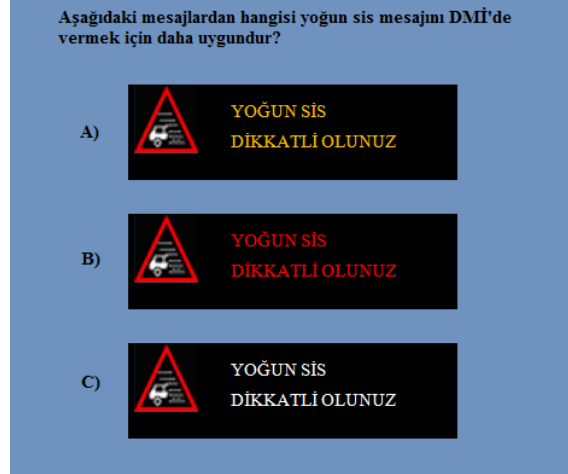


**Şekil 8c.** Piktogramlı ve piktogramsız “yolda çalışma” mesajı (“Work on road” message with pictogram and without pictogram)

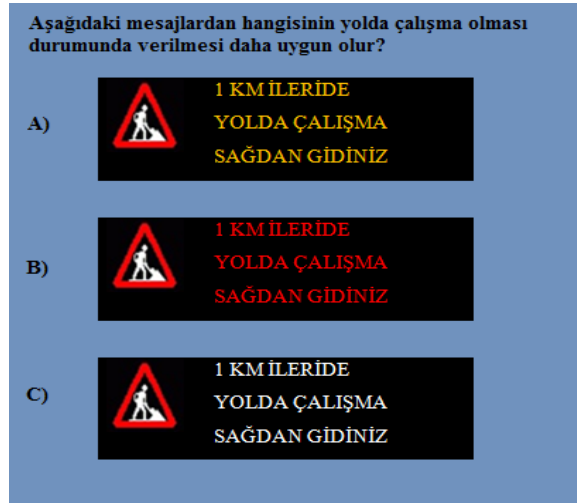
Yoğun trafik, yoğun sis ve yolda çalışma mesajlarının her biriyle ilgili soruların seçenekleri olarak farklı renklerde üç özdeş mesaj sunulmaktadır. Şekil 9a, 9b, 9c'de gösterildiği gibi biri amber, diğeri kırmızı, biri de beyaz renklidir.



**Şekil 9a.** “Yoğun trafik” mesajı için amber, kırmızı ve beyaz renkli metin (Amber, red and white colored text for “heavy traffic” message)



**Şekil 9b.** “Yoğun sis” mesajı için amber, kırmızı ve beyaz renkli metin (Amber, red and white colored text for “heavy fog” message)

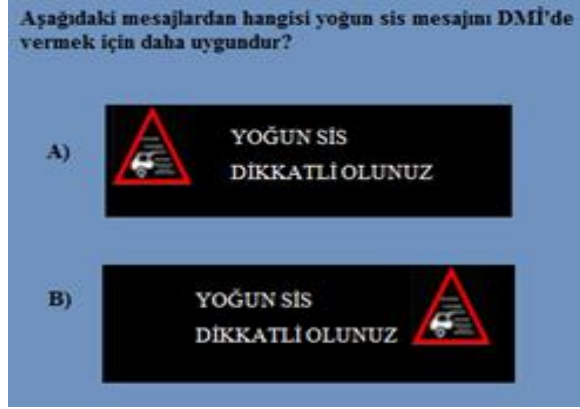


**Şekil 9c.** “Yolda çalışma” mesajı için amber, kırmızı ve beyaz renkli metin (Amber, red and white colored text for “work on road” message)

Yoğun trafik, yoğun sis ve yolda çalışma ile ilgili verilen mesajda piktogramın yerinin değiştirildiği (solda/sağda) sorular Şekil 10a, 10b, 10c’de verilmiştir.



**Şekil 10a.** Piktogramın solda ve sağda olduğu “yoğun trafik” mesajı (“Heavy traffic” message on the left and right of the pictogram)

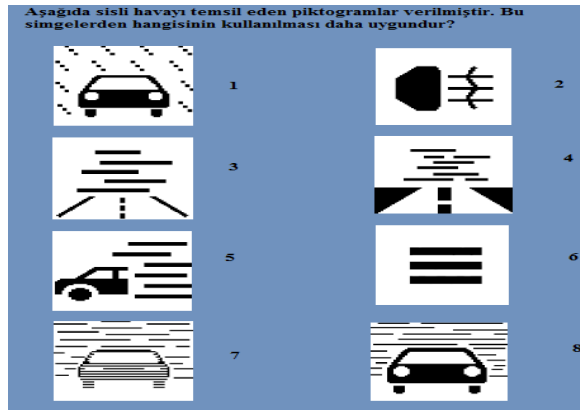


**Şekil 10b.** Piktogramın solda ve sağda olduğu “yoğun sis” mesajı (“Heavy fog” message on the left and right of the pictogram)



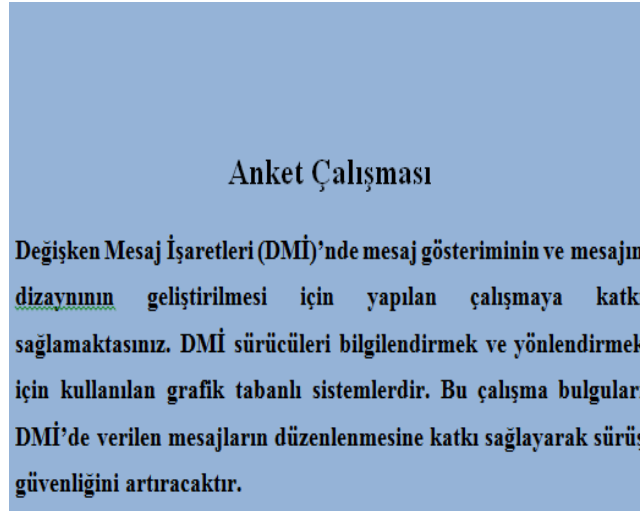
**Şekil 10c.** Piktogramın solda ve sağda olduğu “yolda çalışma” mesajı (“Work on road” message on the left and right of the pictogram)

Türkiye’de sisli havayı ifade edecek hem DMI’de hem de trafik işaretlerinde kullanılan standartlaşmış bir piktogramı bulunmamaktadır. Bu sebeple ulusal ve uluslararası kaynaklar taranmış ve sisli havalarda sürücüyü uyarmak için S. Egger’ın 2015 yılında “Methods for Improving Road Signs” konulu sunumunda yer verdiği Avrupa’da kullanılan piktogramlardan birinin Türkiye’de kullanılması için seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Bu piktogramlar Şekil 11’de verilmektedir [13]. Anket çalışmasında da hangi piktogramın daha anlaşılır olduğunu saptamak için katılımcılardan birden sekize kadar sıralanan piktogramlardan birini seçmeleri istenmektedir.



**Şekil 11.** Sisli havayı ifade eden piktogramlar (Pictograms expressing foggy air)

Katılımcıya ankete başladığında, önce bir bilgilendirme slaytı (Şekil 12) gösterilmektedir, ardından katılımcının demografik bilgileri ile ilgili diğer bir slayt gösterilmektedir (Şekil 13). Anket soruları daha sonra birer birer sunulmaktadır. Katılımcının kendisinin en çok tercih ettiği bir görüntü seçmesi ve daha sonra cevabı cevap sayfasında işaretlemesi istenmiştir. 11 sorunun tamamlanmasından sonra, katılımcılardan geri bildirim ve yorumlar istenmiştir. Katılımcılardan toplanan geribildirim ve yorumlar referans olarak belgelenmiştir.



*Şekil 12. Anket başlarken verilen bilgi ekranı (Survey getting started information display)*

*Şekil 13. Ankete katılanların demografik bilgisi (Demographic information of participants in the survey)*

## 5. ANKET SONUÇLARI (QUESTIONNAIRE FINDINGS)

Anket 20 kişilik bir katılımcı grubuyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların yaşları 21- 55 yaş arasında olup yaşlarının ortalaması 36'dır. Katılımcıların eğitim durumları ise lise (5), ön lisans (8), lisans (5), yüksek lisans (2) şeklinde bir dağılım göstermektedir.

Anket çalışmasıyla yoğun trafik, yoğun sis ve yolda çalışma konularında verilen DMİ mesajının rengi, piktogramın olup olmaması, piktogramın yeri ve sisi en iyi ifade eden piktogram hakkındaki katılımcıların tercihleri toplanmıştır. Katılımcılar tarafından yapılan tercihlerin yüzdeleri makrolar kullanılarak hesaplanan Microsoft Excel® çalışma sayfasına girilmiştir. Sonuçlar, Tablo 2'de gösterilmektedir. Buna ek olarak, her bir faktöre göre farklı varyasyonlar arasındaki önemi test etmek için eşleştirilmiş t-testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.



**Tablo 2.** Katılımcıların tercihlerinin yüzdelerle değerleri (Percentage values of participants' preferences)

DMİ Mesaj Özellikleri		Sonuçlar
Mesajın Tipi	Piktogramlı	% 90
	Sadece Metin	% 10
Mesaj Metninin Rengi	Amber	% 55
	Kırmızı	% 10
	Beyaz	% 35
Piktogramın Yeri	Sol tarafta	% 80
	Sağ tarafta	% 20

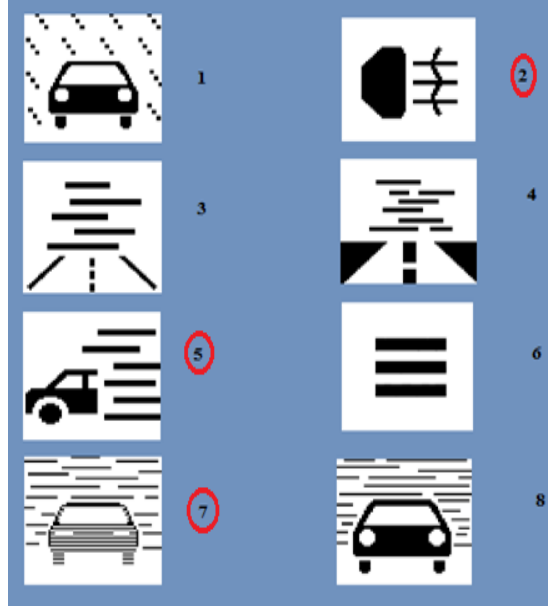
Katılımcıların grafik destekli mesajları (% 90) sadece metin mesajlarına (% 10) ( $p = 0.000$ ) tercih ettiğini görülmüştür. Katılımcılara DMİ mesajları farklı renklerle gösterildiğinde, çoğunluk amber (% 55), ardından beyaz (% 35) ve kırmızı (% 10) tercih edilmiştir. Amber ile beyaz arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $p = 0.223$ ). Ancak amber ve beyaz, kırmızıya göre daha fazla tercih edilmiştir ( $p = 0.000$ ).

Piktogramın metin mesajının sol tarafında olması (% 80) sağ tarafında olmasından (% 20) daha çok tercih edilmiştir. ( $p = 0.000$ ).

**Tablo 3.** T-test sonuçları (T-test result)

Karşılaştırılan ikili	p-değeri
Piktogramlı-Piktogramsız	0.000
Amber-Beyaz	0.223
Amber, Beyaz-Kırmızı	0.000
Piktogram solda- sağda	0.000

Şekil 14'te yer alan sisli hava durumunu ifade eden piktogramlardan katılımcıların piktogram seçimi 7 numaralı % 55, 5 numaralı % 30, 2 numaralı % 15 oranında olmuştur.



**Şekil 14.** Katılımcıların tercih ettiği sis piktogramları (Fog pictograms preferred by participants)

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

DMİ’de piktogram kullanımını, piktogramın yerini, metin rengini ve hangi sis piktogramının kullanılması gerektiğini analiz eden çalışmada, katılımcılara yöneltilen sorulara verilen cevaplar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda karayolu ağında kullanılan Değişken Mesaj İşaretlerinin geliştirilmesi için yapılabilecekler ve gelecekte yapılacak çalışmalara temel oluşturabilecek maddeler aşağıda sıralanmaktadır:

- D. W. Kline, P. Fuchs, tarafından yapılan çalışmada piktogramın okunabilirlik mesafesinin, yazının okunabilme mesafesinin iki katı olduğu ve mesajın daha çabuk anlaşıldığı ortaya konulmuştur. Bu çalışmadan yola çıkılarak katılımcılara piktogramlı ve piktogramsız seçeneklerin olduğu soru yöneltilmiştir. Soruya verilen cevaplar değerlendirildiğinde piktogram kullanılan mesajların, sadece metin içeren mesajlardan daha çok tercih edildiği görülmüştür. Bu sebeple mesajlar verilirken metni iyi özetleyen piktogramlar seçilerek mesajın anlaşılabilirliğinin artırılması ve daha uzak mesafelerden okunabilmesinin sağlanması gerekmektedir.
- DMİ’de metin rengi olarak katılımcıların çoğu amber ve beyaz tercih etmiş olup kırmızı rengin tercih edilme oranı ise oldukça düşüktür. Sadece acil durumlarda metin renginin kırmızı olması ve acil bir durum yokken amber veya beyaz rengin kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmaktadır.
- Sisli havalarda sürücülerini uyarmak için standart bir piktogramın belirlenmesi gerekli olup bu çalışma doğrultusunda 7 ya da 5 numaralı piktogramın kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.
- Mesajların yol kullanıcıları tarafından anlaşılabilmesi için “DMİ Uyum Kitabı”nda yer alan örnek mesajlar dikkate alınarak tasarım yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca, mesajın okunabilirliğini etkileyen parametrelerin (yolun hızı, metnin karakter büyüklüğü vs.) de EN 12966 standardında tanımlanan değerlerle uyumlu olması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. Wang, C. Collyer, S. Hesar, “Employing Graphics to Aid Message Display on Dynamic Message Signs”, 2006.
- [2] EN 12966, “Road Vertical Signs - Variable Message Traffic Signs”, 2014.
- [3] A. Arbaiza, ve A. Lucas-Alba, “Variable Message Signs Harmonisation Specific Messages Recommended”, 2012.
- [4] R. J. Hanowski, ve B. H. Kantowitz, “Driver Memory Retention of In-Vehicle Information System Messages”, Transportation Research Board, National Research Board, Washington, D.C., National Academy Press, 8-18, 1997.
- [5] L. Staplin, K. Lococo, J. Sim, “Traffic Control Design Elements for Accommodating Drivers with Diminished Capacity. Volume II”, Rapor No. FHWA-RD-90-055, Federal Highway Administration, Washington, DC., 1990.
- [6] K. R. Stern, “An Evaluation of Written, Graphics, and Voice Messages in Proceduralized Instruction”, Proceedings of the Human Factors Society 28th Annual Meeting, Santa Monica, 314-318, 1984.
- [7] C. Cameron, W. A. McGill, “A Comparative Evaluation of Speed Control Signs”, Australian Road Research, 3-11, 1968.
- [8] D. Bruce, D. A. Boehm-Davis, K. Mahach, “In-Vehicle Auditory Display of Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Symbolic Information”, Proceedings of the XIVth Society: Ergonomics for the New Millennium, San Diego, 230-233, 2000.
- [9] D. W. Kline, P. Fuchs, “The Visibility of Symbolic Highway Signs can be Increased Among Drivers of all Ages”, Human Factors, 35, 25-34, 1993.
- [10] R. M. Wulkowicz, “Enriched Information Signage”, Operations Review, 6(1), 15-22, 1988.
- [11] T. P. Alkim, W. H. Janssen, “Graphical Route Information on Variable Message Signs”, Proceeding of the 10th International Conference on Road Transport Information and Control, Londra, İngiltere, 2000.
- [12] E. Alena, ve S. Fridulv, Effects Of Variable Message Signs (VMS) On Driver Attention And Behaviour, Institute of Transport Economics, 2006.
- [13] S. Egger, “Methods for Improving Road Signs / Symbols / Text to Adapt to Today’s Driver’s Requirements”, 2015.



## Bir Dizel Motorda Mısır Yağı Biyodizeli Kullanımının Termodinamik Analizi

Abdülvahap ÇAKMAK<sup>1,\*</sup>, Atilla BİLGİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Kavak/Samsun

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon

### Öz

Termodinamik analiz (enerji ve ekserji analizi) ile içten yanmalı motorların performans değerlendirmesi daha etkili şekilde yapılabilir. Sunulan bu çalışmada, tek silindri bir dizel motorunda yakıt olarak mısır yağı metil esteri kullanımı, termodinamik açıdan incelenmiştir. Tam yük (%100) ve 2000 d/dk çalışma şartında motorda saf mısır yağı biyodizeli ve saf dizel yakıtı kullanılarak gerçekleştirilen motor deneylerinden termodinamik analiz için gerekli veriler sağlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre motorda yakıt olarak mısır yağı biyodizeli kullanıldığında motorun özgül yakıt tüketimi, %11,89 oranında artarken, motorun özgül enerji tüketimi %2,25 oranında azalmıştır. Her iki yakıt kullanımında motorun ikinci yasa verimi aynı olmasına rağmen biyodizel kullanımında motorun birinci yasa verimi %0,76 oranında artmıştır. Toplam ekserji yıkımı dizel yakıtı ve biyodizel için sırasıyla 6,77 kW ve 6,67 kW olarak hesaplanmıştır. Termodinamik açıdan bir değerlendirme yapıldığında mısır yağı biyodizelinin dizel motorları için uygun bir alternatif yakıt olduğu söylenebilir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 09/01/2017

Düzeltilme: 10/02/2017

Kabul: 03/05/2017

### Anahtar Kelimeler

Mısır yağı biyodizeli

Dizel motoru

Termodinamik analiz

### Keywords

Corn oil biodiesel

Diesel engine

Thermodynamic analysis

### Thermodynamic analysis of Corn Oil Biodiesel Usage as Fuel in a Diesel Engine

#### Abstract

An effective performance assessment of the internal combustion engine can be achieved by thermodynamic analysis (energy and exergy analysis). To that end, in this present study, a thermodynamic analysis of the corn oil biodiesel usage as fuel in single cylinder diesel engine was performed by evaluating experimental data. Experiments were carried out at full load and 2000 rpm by fueling the engine with diesel fuel and corn oil biodiesel. It was found that corn oil biodiesel gives 11.89% higher brake specific fuel consumption, while it results in 2.25% less brake specific energy consumption than diesel fuel. The same second law efficiency is obtained for tested fuels, although the use of corn oil biodiesel increases the first law efficiency by 0.76%. Additionally, total exergy destruction rate for diesel and biodiesel are calculated as 6.77 kW and 6.67 kW, respectively. Based on the comparative assessment of the thermodynamic analysis results, it can be said that corn oil biodiesel is a suitable alternative fuel for diesel engines.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sahip oldukları avantajlar nedeniyle içten yanmalı motorlar, günlük hayatta birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya nüfusu ile birlikte yaşam konforunun her geçen gün artması bu makinelerin çok daha hızlı yaygınlaşmasına yol açmaktadır. İçten yanmalı motorların yerine geçecek yeni güç sistemleri geliştirme çalışmaları olmasına rağmen günümüzde bu makinelerin yerini tamamen alabilecek yeni bir güç kaynağı tam olarak geliştirilememiştir. Bu nedenle, yıllardır içten yanmalı motorlar için yapılan yatırımlar, gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme çalışmaları gelecek birkaç on yıl içinde de devam edeceği öngörülmektedir [1]. Ancak hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan içten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtların kullanımı sonucu birçok sorunla karşılaşılmaktadır. Bununla birlikte yakın gelecekte petrol kökenli yakıtların artan yakıt talebinin karşılanmasında tek başına yetersiz kalacağı bilinmektedir.

\*İletişim yazarı, e-mail: [abdulvahap.cakmak@omu.edu.tr](mailto:abdulvahap.cakmak@omu.edu.tr)

Bu sebeplerden dolayı petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir, çevre dostu ve teknik olarak kullanılabilir yeni yakıt arayışları, bilim insanları için önemli bir çalışma konusu olmuştur. Dizel yakıtına yakın fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olan biyodizelin, dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi ve bu nedenle geleceğin alternatif yakıtı olarak görüldüğü bildirilmektedir [2-4]. Biyodizel-dizel yakıt karışımları ve/veya saf biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri biyodizelin hammaddesine, deney motorunun ve test cihazlarının teknik özelliklerine, motorun çalışma koşullarına, referans dizel yakıtına ve tercih edilen ölçüm tekniklerine göre farklılıklar göstermektedir [5]. Ancak genel olarak biyodizel ve biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının motorun özgül yakıt tüketimini arttırdığı, efektif motor gücünde düşüşe neden olduğu ve NO<sub>x</sub> emisyonları dışındaki egzoz emisyonlarını azalttığı bilinmektedir [6-9]. Daha ayrıntılı çalışmalar için biyodizelin yakıt olarak dizel motorda kullanımı, termodinamik açıdan da incelenmesi gerekmektedir. Termodinamiğin birinci yasasına (enerjinin korunumu) göre motora yakıtla giren enerjinin ne kadarının efektif güce dönüştürüldüğü, ne kadarının egzoz gazları ve motor soğutma sistemiyle atmosfere atıldığı ve ne kadarının diğer kayıplara harcandığı belirlenebilir. Fakat termodinamiğin birinci yasası bu enerjilerin nitelikleri hakkında herhangi bir fikir vermez. Bu enerjilerin kullanılabilirliği (yararlı iş potansiyeli) ancak termodinamiğin ikinci yasası ile belirlenebilir. Ayrıca termodinamiğin ikinci yasasına göre motorun termodinamik veriminin azalmasına neden olan ve tersinmezliklerin yol açtığı ekserji yıkımı da belirlenebilir. Bütün bu ayrıntılı bilgilere ancak ekserji analizi ile ulaşılabilir. Ekserji analizi, kütle ve enerjinin korunumu ilkeleri ile birlikte termodinamiğin ikinci yasasını da içeren ve termal sistemlerin tasarımında, analizinde, verimlerinin artırılmasında kullanılan etkili bir analiz yöntemidir [10].

Bu çalışmada, yakıt olarak saf mısır yağı biyodizeli ve dizel yakıtı kullanılan tek silindirli bir dizel motorunda yakıt enerjisinin diğer enerji bileşenlerine dönüşüm süreçleri termodinamik açıdan incelenmiştir. Elde edilen bulgular her bir yakıt kullanımı için karşılaştırılmıştır.

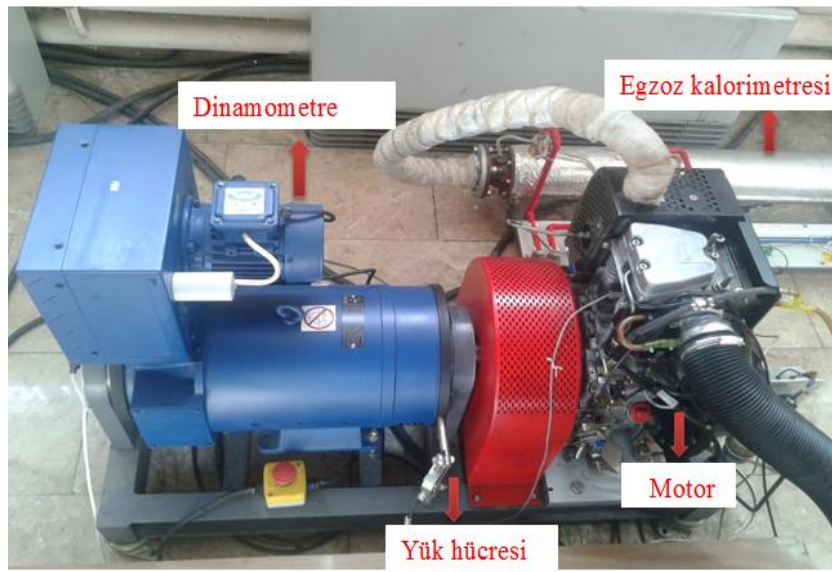
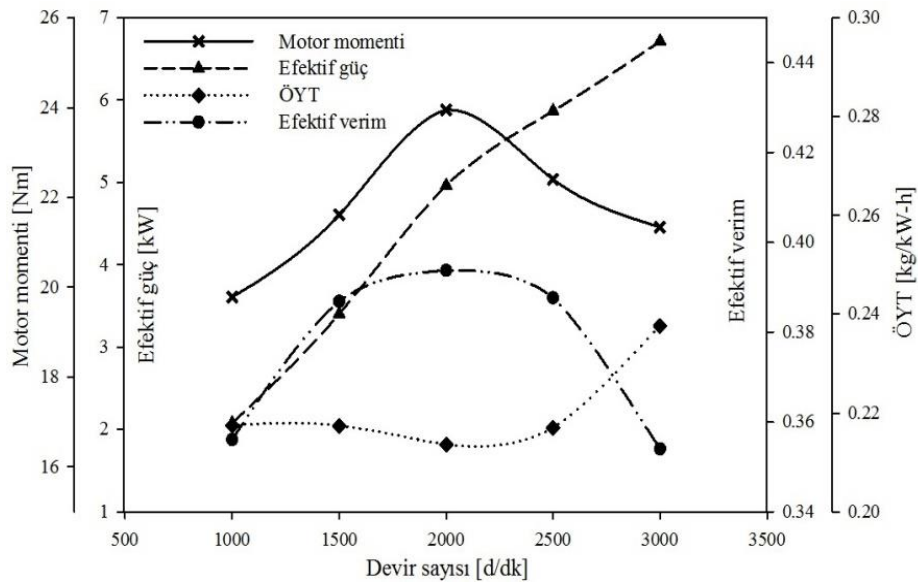
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL PROCESS)

Termodinamik analiz için gerekli veriler motor testlerinden elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarı'nda iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, motor deneylerinde kullanılmak üzere mısır yağından mısır yağı biyodizeli üretimi gerçekleştirilmiş ve ardından dizel yakıtının ve üretilen biyodizelin yoğunluk (ISO 4787), dinamik viskozite (DIN 53015) ve kinematik viskozite gibi bazı önemli yakıt özellikleri belirlenmiştir. Diğer bazı yakıt özellikleri ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Prof. Dr. Sadettin GÜNER Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde ölçülmüştür. Tablo 1'de dizel yakıtının ve mısır yağı biyodizelinin bazı yakıt özellikleri verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi mısır yağı biyodizelinin viskozite ve yoğunluk değerleri EN14142 standartlarına uygundur. Rafine mısır yağından biyodizel üretimi, mısır yağı biyodizeli için minimum kinematik viskozite değerini veren üretim parametreleri [11] (Katalizör miktarı: yağın kütlece %1,1'i kadar, alkol/yağ molar oranı: 9/1, reaksiyon sıcaklığı 60 °C ve reaksiyon süresi 60 dk.) dikkate alınarak transesterifikasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu için katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) ve alkol olarak %99,90 saflıkta metil alkol (CH<sub>3</sub>OH) kullanılmıştır. Bu reaksiyon koşulları altında biyodizel üretim makinesi yardımıyla motor deneyleri için yeterli miktarda biyodizel üretilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise saf biyodizel ve dizel yakıtı ile motor testleri yapılarak termodinamik analiz için gerekli ölçümler alınmıştır. Motor deneyleri, TecEquipment firması tarafından imal edilen TD 300 motor test düzeneğinde yapılmıştır. Test düzeneği tek silindirli bir dizel motoru, motorun yüklenmesinde kullanılan elektrikli dinamometre, egzoz gaz kalorimetresi, motor çevrim analizörü, basınç sensörü, krank mili konum algılayıcısı, motor devir sensörü, hava tankı, yakıt tankı, yakıt ölçüm büreti, termokupllar (ısı çifti), verilerin okunduğu ekranlardan ve tüm verilerin kaydedildiği bir bilgisayardan oluşmaktadır. Deney sistemi Şekil 1'de görülmektedir. Deneylerde kullanılan motor HATZ marka ve TD 302 model, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, maksimum gücü 7,3 kW (3600 d/dk'da; ISO 3046-1) ve sıkıştırma oranı 20,5 olan bir dizel motordur. Deney motorun hız karakteristikleri saf dizel yakıtı kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Belirlenen hız karakteristikleri ile üretici firmanın belirttiği hız karakteristiklerinin son derece uyumlu olduğu görülmüştür. Motorun hız karakteristikleri Şekil 2'de verilmiştir.

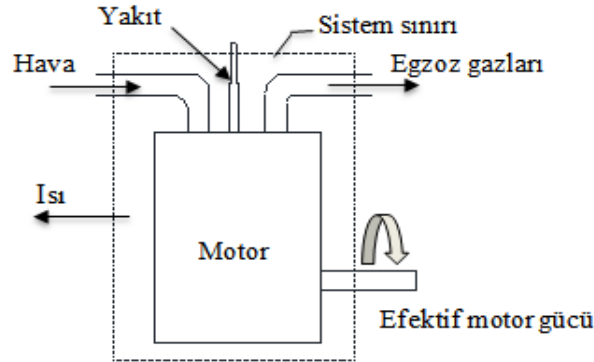
**Tablo 1.** Dizel yakıtı ve mısır yağı biyodizelinin bazı yakıt özellikleri (Some fuel properties of the diesel fuel and corn oil biodiesel)

Özellikler/Birimler	Dizel Yakıtı	Biyodizel	EN 14214
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup> (15°C'de)	827,600	881,360	860-900
Kinematik viskozite, mm <sup>2</sup> /s (40 °C'de)	2,8475	3,8679	3,50-5,00
Dinamik viskozite, kg/m-s (40 °C'de)	2,3392x10 <sup>-3</sup>	3,3839x10 <sup>-3</sup>	-
Mol kütlesi, kg/kmol	194,213	291,536	-
Kapalı formül	<sup>a</sup> C <sub>14,09</sub> H <sub>24,78</sub>	C <sub>18,66</sub> H <sub>35,13</sub> O <sub>2</sub>	-
Alt ısı değer, kJ/kg <sup>b</sup>	42797	37386	-
Alt ısı değer, kJ/L	35367	32902	-

<sup>a</sup>Kaynak: [12]<sup>b</sup>Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır.**Şekil 1.** Deney sisteminin görünümü (A view of the experimental setup)**Şekil 2.** Deney motorunun hız karakteristikleri (Speed characteristics of the test engine)

### 3. TERMODİNAMİK ANALİZ (THERMODYNAMIC ANALYSIS)

Belirtilen çalışma koşullarında, motorun termodinamik ayrıntılarının daha iyi belirlenmesi amacıyla motora enerji ve ekserji analizi birlikte uygulanmıştır. Bunun için Şekil 3’de görüldüğü gibi motor, kararlı durumda sürekli akışlı bir kontrol hacmi olarak ele alınmıştır.



Şekil 3. Motorun kontrol hacmi olarak seçilmesi (Selection of the engine as a steady state control volume)

Ayrıca bu çalışmada, sonuçları önemli derecede etkilemeyecek bazı kabuller yapılmıştır. Silindire emilen havanın ve silindirden çıkan egzoz gazlarının ideal gaz karışımı olduğu, kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimin ihmal edildiği, ayrıca motorda tam yanmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Referans çevrenin basıncı ( $P_0$ ) 1 atm ve sıcaklığı ( $T_0$ ) 25 °C olarak alınmıştır. Kontrol hacmine giren enerji ve ekserji sadece yakıtın enerjisi ve kimyasal ekserjisidir. Çünkü silindire emilen hava ve püskürtülen yakıt, referans çevre şartlarında motora girdiğinden emilen havanın termomekaniksel ve kimyasal ekserjisi ile yakıtın termomekaniksel ekserjisi sıfır olarak değerlendirilmiştir. Birim zamanda silindire giren yakıt enerjisi ve yakıt ekserjisi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmıştır [13].

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} H_u \quad [kW] \quad (1)$$

$$\dot{E}x_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} ex_{Kim,yakıt}^0 \quad [kW] \quad (2)$$

Burada;  $\dot{m}_{yakıt}$  [kg/s] yakıtın kütleli debisini,  $H_u$  [kJ/kg] yakıtın alt ısıl değerini ve  $ex_{Kim,yakıt}^0$  yakıtın özgül kimyasal ekserjisini ifade etmektedir. Yakıtın özgül kimyasal ekserjisi yakıtın ekserji katsayısı ve alt ısıl değerinin çarpımıyla belirlenir [14].

$$ex_{Kim,yakıt}^0 = \varphi H_u \quad [kJ/kg] \quad (3)$$

Yakıtın ekserji katsayısının belirlenmesinde ilk olarak Szargurt ve Styrylska tarafından geliştirilen ve %0,38 hata oranına sahip aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [14]:

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \frac{h'}{c'} + 0,0432 \frac{o'_y}{c'} + 0,2169 \frac{s'}{c'} \left( 1 - 2,0628 \frac{h'}{c'} \right) \quad (4)$$

Burada;  $c'$  [kg C/kg yakıt],  $h'$  [kg H/kg yakıt],  $s'$  [kg S/kg yakıt] ve  $o'_y$  [kg O/kg yakıt] sırasıyla karbonun, hidrojenin, kükürdün ve oksijenin yakıt içindeki kütleli oranını ifade etmektedir.

Efektif güç aynı zamanda efektif güç ekserjisi olarak alınmıştır.

$$\dot{E}x_{N_e} = N_e \quad [kW] \quad (5)$$

Egzoz gazlarıyla atmosfere atılan ısı enerjisi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır [15]:

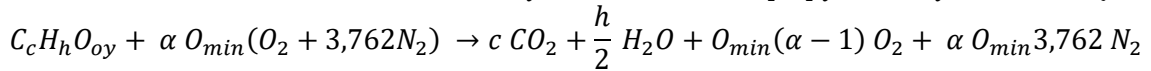
$$\dot{Q}_{egzoz} = \dot{m}_{su} c_{p,su} \frac{(T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} (T_{e2} - T_0) \quad [kW] \quad (6)$$

Burada;  $\dot{m}_{su}$  [kg/s] egzoz kalorimetresi soğutma suyu debisini,  $c_{p,su}$  [kJ/kg/K] egzoz kalorimetresi soğutma suyu özgül ısısını,  $T_{s2}$  [°C] ve  $T_{s1}$  [°C] egzoz gazı kalorimetresi soğutma suyu çıkış ve giriş sıcaklığını,  $T_{e2}$  [°C] ve  $T_{e3}$  [°C] egzoz gazlarının kalorimetreye giriş ve çıkış sıcaklığını ve  $T_0$  [°C] ortam

sıcaklığını belirtmektedir. Egzoz gazlarıyla birim zamanda kontrol hacminden dışarıya atılan ekserji (egzoz ekserjisi) her bir yanma ürününün termomekaniksel ve kimyasal ekserjisinin toplamıdır [14] ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{egzoz} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_i}{\mu_i} \{ [\bar{h}_i(T) - \bar{h}_i(T_0)] - T_0 [\bar{s}_i(T) - \bar{s}_i(T_0)] + [x_i \bar{e}x_{kim,i}^0 + \bar{R}T_0 x_i \ln x_i] \} [kW] \quad (7)$$

Yukarıdaki bağıntıda  $\dot{m}_i$  i. yanma ürününün kütleli debisi,  $\bar{h}_i(T)$  [kJ/kmol] ve  $\bar{s}_i(T)$  [kJ/kmol/K] i. yanma ürününün T [K] egzoz sıcaklığındaki özgül entalpisi ve özgül entropisi,  $\bar{h}_i(T_0)$  [kJ/kmol] ve  $\bar{s}_i(T_0)$  [kJ/kmol/K] i. yanma ürününün  $T_0$  [K] çevre sıcaklığındaki özgül entalpisi ve özgül entropisi,  $\bar{e}x_{kim,i}^0$  [kJ/kmol] ve  $\mu_i$  [kg/kmol] i. yanma ürününün standart kimyasal ekserjisi ve mol kütlesi,  $\bar{R}$  (=8,314 kJ/kmol/K) üniversal gaz sabiti olup,  $x_i$  egzoz gazları içindeki i. yanma ürününün molar oranıdır. Yanma ürünlerinin kütleli debisi ve molar oranları tam yanma denkleminin [16] yazılmasıyla belirlenmiştir.



Burada  $\alpha$  hava fazlalık katsayısı ve  $O_{min}$  [kmol $O_2$ /kmol yakıt] stokiyometrik oksijen miktarıdır.

Egzoz gazları dışında motorda (kontrol hacminde) meydana gelen toplam ısı kayıpları kontrol hacmi için enerji dengesinin [17] yazılmasıyla bulunur.

$$\sum_g \dot{E} - \sum_c \dot{E} = dE_{sistem} / dt = \underset{\text{kararlı durumda sürekli akışlı açık sistem}}{0} \quad (8)$$

Motora giren enerji sadece yakıtın yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisidir. Motordan çıkan enerjiler ise efektif motor gücü, egzoz ısı ve toplam ısı kayıplarıdır. Bu durumda birim zamandaki toplam ısı kayıpları aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir:

$$\dot{Q}_{toplam} = \dot{E}_{yakıt} - N_e - \dot{Q}_{egzoz} [kW] \quad (9)$$

Burada, toplam ısı kaybı motor bloğundan ortam havasına transfer edilen ısı enerjisi ile sürtünmeler ve radyasyon gibi diğer belirlenemeyen enerjilerin toplamıdır. Toplam ısı kayıpları ekserjisinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [14]:

$$\dot{E}x_{Q_{toplam}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_m}\right) \dot{Q}_{toplam} [kW] \quad (10)$$

Burada,  $\dot{Q}_{toplam}$  birim zamandaki toplam ısı kaybı,  $T_o$  [K] ortam sıcaklığı ve  $T_m$  [K] deneysel çalışma sırasında ölçülen motor bloğu ortalama yüzey sıcaklığıdır.

Motora giren yakıt ekserjisinin bir kısmı efektif motor gücüne dönüşmekte, bir kısmı egzoz gazları ve ısı transferiyle kaybedilmekte ve geri kalan kısmı da sistemdeki tersinmezlikler nedeniyle yıkıma uğramakta yani yok olmaktadır. Birim zamanda motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımı (yok olan ekserji) motor için ekserji dengesinin yazılması ile belirlenmiştir. Sistemdeki tersinmezlikler ekserji yıkımına neden olmakta ve yok olan ekserji, yararlı işe dönüştürülemeyen iş potansiyelini temsil etmektedir. Motor için ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir [15]:

$$\underbrace{\dot{E}x_{yakıt}}_{\text{Motora giren ekserji}} - \underbrace{\dot{E}x_{N_e} + \dot{E}x_{egzoz} + \dot{E}x_{Q_{toplam}}}_{\text{Motordan çıkan ekserji}} - \underbrace{\dot{E}x_{yıkım}}_{\text{Yok olan ekserji}} = 0 \quad (11)$$

Bu eşitlikten  $\dot{E}x_{yıkım}$  çekilerek birim zamanda motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımı belirlenmiştir.

$$\dot{E}x_{yıkım} = \dot{E}x_{yakıt} - \dot{E}x_{N_e} - \dot{E}x_{egzoz} - \dot{E}x_{Q_{toplam}} [kW] \quad (12)$$

Motorlarda ekserji yıkımı yanma, ısı transferi, sürtünme ve karışım oluşumu sırasında meydana gelen tersinmezliklerden kaynaklanır. Motorda meydana gelen ekserji yıkımının önemli bir bölümü yakıtın yanması sırasında oluşan tersinmezlikler nedeniyle gerçekleşmektedir [18] ve bu tersinmezlikler yanma



sırasındaki kimyasal reaksiyonlar, yanma ürünleri ve reaktanların karışması ve soğuk reaktanlarla sıcak ürünler arasında gerçekleşen ısı transferinden kaynaklanmaktadır [14].

Birinci yasa verimi, efektif motor gücünün, birim zamanda motora giren yakıt enerjisine oranıdır ve motora giren yakıt enerjisinin ne kadarının net işe dönüştürüldüğünü belirtir [17]. Motorlar için ikinci yasa verimi, motora giren ekserjinin ne kadarının efektif güce dönüştürüldüğünün bir ölçüsüdür [19]. Motorun birinci ve ikinci yasa verimi aşağıdaki bağıntılardan belirlenmiştir:

$$\eta_U = \frac{N_e}{\dot{E}_{yakıt}} \quad ve \quad \eta_{II} = \frac{N_e}{\dot{E}x_{yakıt}} \quad (13)$$

Daha ayrıntılı bir termodinamik analiz için her bir yakıt kullanımında motorun birim ekserji maliyeti belirlenmiştir. Birim ekserji maliyeti, birim zamanda motora giren yakıt ekserjinin efektif güç ekserjisine oranıdır. Diğer bir ifade ile ekserji veriminin tersidir [20]:

$$C = \frac{\dot{E}x_{yakıt}}{\dot{E}x_{N_e}} \quad (14)$$

Birim ekserji maliyeti ile bir birim efektif güç üretmek için gerekli yakıt ekserjisi belirlenebilir ve yakıtların karşılaştırılmasında önemli bilgiler sağlar [20].

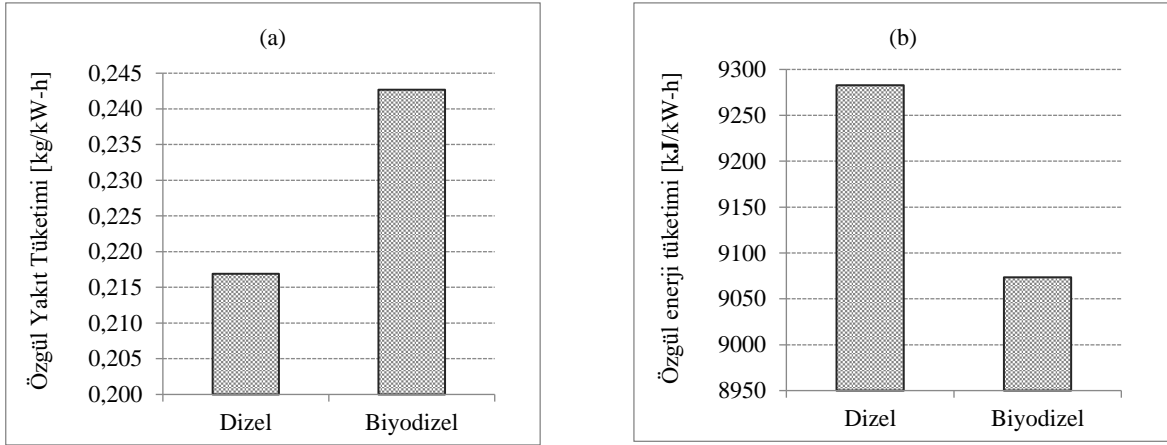
Bu çalışmada, sonuçların anlamlılığını ve güvenilirliğini belirlemek amacıyla ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin belirsizlik analizi kaynak [21]'de önerilen yöntemle yapılmıştır.

$$w_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n\right)^2} \quad (15)$$

Bu bağıntıda,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  bağımsız değişkenler  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  bağımsız değişkenlerin belirsizliği ve  $w_R$  bağımlı büyüklüğün belirsizliğidir. Özgül yakıt tüketimi, efektif motor gücü, birinci yasa verimi, ikinci yasa verimi ve ekserji yıkımı için maksimum oransal belirsizlikler sırasıyla, %0,6929, %0,6906, %0,6929, %0,6959 ve %1,7792 olarak belirlenmiştir. Bu değerler söz konusu büyüklüklerin ölçümlerinin yeterli duyarlılıkta yapıldığını ve hesaplanan büyüklüklerin güvenilirliğinin iyi olduğunu göstermektedir.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Tam yükte, motorun maksimum efektif verimi ve minimum özgül yakıt tüketimi 2000 d/dk'da elde edildiğinden, termodinamik analiz için bu devir sayısı seçilmiştir. Bu devir sayısında saf dizel yakıtı ve saf mısır yağı biyodizeli kullanılarak motorun performans parametreleri ve termodinamik detayları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar her bir yakıt kullanımı için karşılaştırılmıştır. Şekil 4a'da dizel yakıtı ve biyodizel için motorun özgül yakıt tüketimi verilmiştir. Motorda sırasıyla dizel yakıtı ve mısır yağı biyodizeli kullanıldığında motorun özgül yakıt tüketimi 0,2169 kg/kW-h ve 0,2427 kg/kW-h olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre %6,34 oranında daha yüksek yoğunluğa ve %6,97 oranında (hacimsel bazda) daha düşük ısı değere sahip olan mısır yağı biyodizeli, motorun özgül yakıt tüketimini dizel yakıtına göre %11,89 oranında artırmıştır. Ancak yakıtların enerji içeriği (ısı değeri) farklı olduğundan daha etkili bir değerlendirme yapmak amacıyla her bir yakıt kullanımında motorun özgül enerji tüketiminin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma grafiksel olarak Şekil 4b'de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi deney motorunda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında birim efektif güç için daha az yakıt enerjisi tüketilmektedir. Dizel yakıtı kullanımına göre aynı efektif motor gücünü elde etmek için motor biyodizel ile çalıştırıldığında dizel yakıtına göre %2,25 oranında daha az yakıt enerjisi gerekmektedir. Şekil 6a'da da görüleceği gibi biyodizel kullanımında motorun birinci yasa veriminin (efektif verimin) artması bu durumu destekler niteliktedir. Biyodizel kullanımında böyle bir durumunu ortaya çıkması, mısır yağı biyodizelinin oksijen içeriği sayesinde yanma veriminin artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca biyodizelin kükürt içeriği olmamasına rağmen yağlayıcılık özelliğinin dizel yakıtına göre daha iyi olması, mekanik sürtünmeleri azaltarak, mekanik sürtünmelere harcanacak olan gücün efektif güç olarak kazanılmasını sağladığı düşünülmektedir. Bu durum motorun mekanik verimiyle de açıklanabilir. Deney motorunda dizel yakıtı ve mısır yağı biyodizeli kullanıldığında motorun mekanik verimi sırasıyla %82,57 ve %83,61 olarak belirlenmiştir.

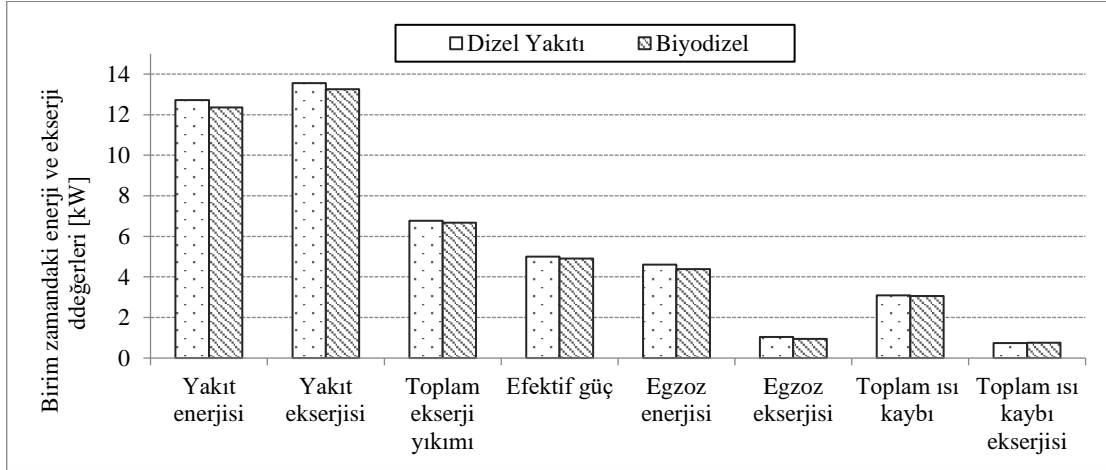


**Şekil 4.** Test yakıtları için motorun özgül yakıt tüketimi (a) ve özgül enerji tüketimi (b) (Specific fuel consumption (a) and specific energy consumption (b) for test fuels)

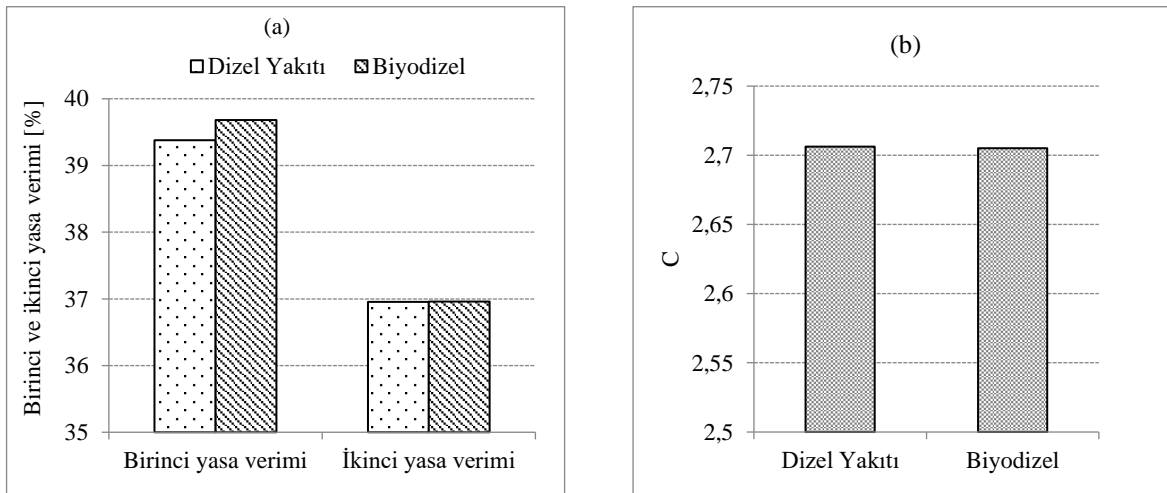
Şekil 5'te dizel yakıtı ve biyodizel için birim zamandaki enerji ve ekserji bileşenlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yüksek ısıl değerinden dolayı dizel yakıtı kullanımında silindire daha fazla yakıt enerjisi ve yakıt ekserjisi girmiştir. Ancak biyodizelin yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle biyodizelin hacimsel ısıl değeri artmıştır. Dolayısıyla mekanik püskürtme sistemine sahip test motorunda mısır yağı biyodizeli kullanıldığında dizel yakıtına göre silindire birim zamanda sırasıyla %2,87 ve %2,14 oranında daha az yakıt enerjisi ve yakıt ekserjisi girmiştir. Ayrıca biyodizelin kimyasal ekserji katsayısının dizel yakıtına göre daha yüksek olması yakıt ekserjileri arasındaki farkı daha da azaltmıştır. Dizel yakıtı ve mısır yağı biyodizeli için motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımı ve elde edilen efektif güç değeri karşılaştırıldığında, dizel yakıtına göre ısıl değerinin düşük (%6,97) ve kinematik viskozitesinin yüksek (%35,84) olması nedeniyle biyodizel kullanımında %2,13 oranında daha az efektif motor gücü elde edilmiştir. Ancak biyodizel kullanımında tersinmezlikler nedeniyle motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımının sayısal değeri, dizel yakıtına göre % 1,48 oranında daha azdır. Mısır yağı biyodizelinin kütlece %10,98 oranında oksijen içermesi ve setan sayısının yüksek olması daha verimli bir yanmanın gerçekleşmesinde etkili olduğu [18] ve bu nedenle ekserji yıkımının azaldığı söylenebilir. Ayrıca biyodizelin yağlama özelliğinin iyi olması mekanik yakıt pompası ve yakıt sisteminin geri kalan kısmındaki sürtünmeleri azaltarak ekserji yıkımının daha düşük değerler almasını sağladığı düşünülmektedir. Dizel ve biyodizel yakıtı için motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımı, efektif motor gücü değerinden sırasıyla %35,19 ve %36,14 oranında daha yüksektir. Bu nedenle motorun efektif gücünü arttırmak için motordaki ekserji yıkımının azaltılması gerekmektedir. Yine Şekil 5'te motorda kullanılan her iki yakıt için egzoz enerjisi, toplam ısı kaybı ve bu enerjilerin kullanılabilirlikleri verilmiştir. Dizel yakıtı kullanımında egzoz gazları sıcaklığı daha yüksek (%5,25) olduğundan biyodizele göre %5,02 oranında daha fazla enerji egzoz yoluyla atmosfere atılmıştır. Toplam ısı kayıpları bakımından yakıtlar arasında kayda değer bir farkın olmadığı görülmüştür. Ancak birim zamandaki toplam ısı kayıpları ve egzoz enerjisinin yararlı iş potansiyeli şekilden de görüleceği gibi oldukça düşüktür. Bu enerjilerin birim zamandaki faydalı iş potansiyeli her iki yakıt için de 1 kW'tan azdır.

Şekil 6a'da motorun birinci ve ikinci yasa veriminin kullanılan yakıtlara göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi biyodizel kullanımında motorun birinci yasa verimi dizel yakıtı kullanımına göre %0,76 oranında artmakta ancak motorun ikinci yasa verimi her iki yakıt içinde aynı olmaktadır. Tam yükte ve 2000 d/dk'da dizel ve biyodizel kullanımıyla motorun birinci ve ikinci yasa verimi sırasıyla %39,38, %39,68 ve %36,95, %36,96 olarak belirlenmiştir. Yüksek viskozitesine rağmen biyodizel kullanımında ekserji yıkımının azalması motorun ikinci yasa verimini iyileştirmiştir. Ancak her bir yakıt için aynı efektif güce karşılık harcanan yakıt ekserjisinin harcanan yakıt enerjisinden fazla olması, ikinci yasa veriminin birinci yasa verimine göre daha düşük olmasına neden olmuştur. İkinci yasa verimini hesaplamak için literatürde egzoz ekserjisi ve diğer ekserji kayıplarını dikkate alan bağıntılar mevcuttur [15]. Fakat bu çalışmada kayıp ekserjilerden (egzoz gazları ve toplam ısı kayıplarıyla gerçekleşen ekserji kaybı) faydalanılmadığı için motorun ikinci yasa verimi fayda sağlanan tek ekserji bileşeni olan efektif motor gücünün yakıt ekserjisine oranı şeklinde tanımlanmıştır.

Motorun birim ekserji maliyetinin kullanılan yakıtlara göre değişimi Şekil 6b’de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi her iki yakıt için birim ekserji maliyeti aynı olmaktadır. Yani bu yakıtların kullanımıyla motordan elde edilen 1 birim efektif güç için 2,71 birim yakıt ekserjisi harcanmıştır. Bu oranın artırılması için ekserji yıkımının azaltılması, egzoz gazları ve toplam ısı kayıplarıyla kaybedilen bir miktar enerjinin geri kazanılması gerekir.



Şekil 5. Test yakıtları için birim zamandaki enerji ve ekserji değerleri (Energy and exergy rates for test fuels)

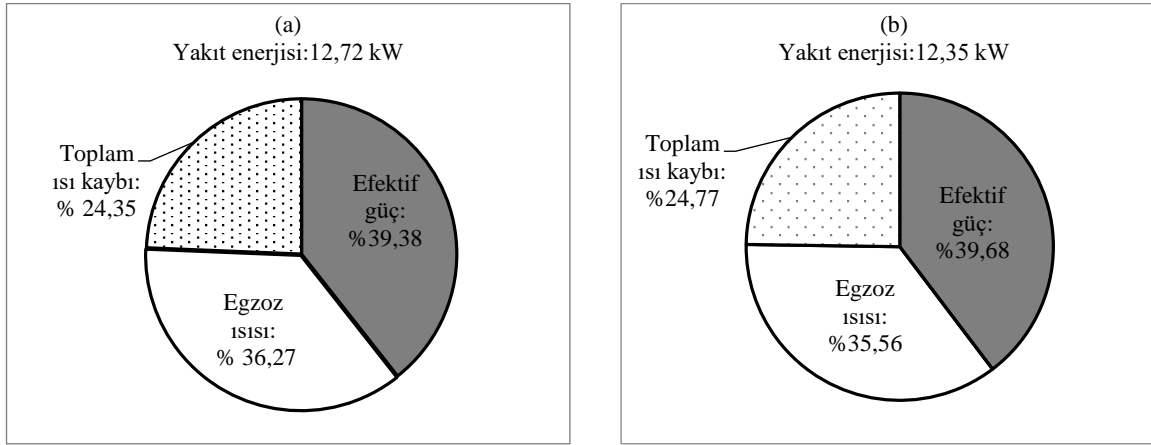


Şekil 6. Motorun birinci ve ikinci yasa verimi (a) ile birim ekserji maliyeti (b) (First and second law efficiencies (a), and unitary exergetic cost (b) of the engine for test fuels)

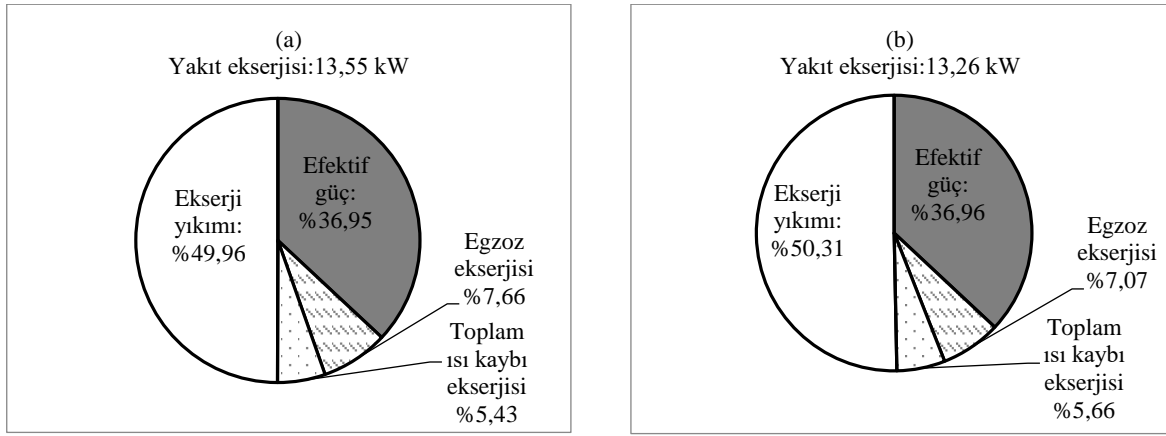
Şekil 7a ve 7b’de dizel yakıtı ve biyodizel kullanımında enerji bileşenlerinin yakıt enerjisine göre yüzdelik dağılımı verilmiştir. Dizel yakıtı ve biyodizel kullanımında birim zamanda silindire giren yakıt enerjisinin sırasıyla %60,62’si ve %60,33’ü egzoz gazları ve diğer kayıplarla motordan çıkmakta, geriye kalan yakıt enerjisinin %39,38’si ve %39,68’i efektif motor gücüne dönüşmektedir. Deney sisteminde motordan kayıp olarak çıkan bu enerjilerden hiçbir şekilde faydalanılmamaktadır. Oysa motorun verimi kayıp bu enerjiler turboşarj, egzoz gazı ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi, ön ısıtma, termoelektrik jeneratör gibi sistemlerde kullanılarak artırılabilir.

Şekil 8a ve 8b’de dizel yakıtı ve biyodizel kullanımında ekserji bileşenlerinin yakıt ekserjisine göre yüzdelik dağılımı verilmiştir. Egzoz gazları ve toplam ısı kayıplarıyla motordan çıkan toplam ekserji kaybı dizel yakıtı ve biyodizel için sırasıyla yakıt ekserjilerinin %13,09’u ve %12,73’ü olmaktadır. Dizel yakıtı ve biyodizel kullanımında motorda gerçekleşen toplam ekserji yıkımı yakıt ekserjilerinin sırasıyla

%49,96'sı ve %50,31'i olarak gerçekleşmiştir. Motordaki mevcut tersinmezliklerin yol açtığı ekserji yıkımı, yakıt ekserjisinin yaklaşık olarak yarısı kadar bir iş potansiyelinin kaybedilmesine neden olmuştur. Gerçekte, motordaki tersinmezliklerin tamamı yok edilemez. Ancak bazı önlemleri almak suretiyle ekserji yıkımı azaltılarak motor performansı artırılabilir. Fakat ekserji yıkımını azaltmak için alınan önlemler diğer ekserji kayıplarını (ısı ve egzoz gazlarıyla transfer edilen ekserjiyi) arttırabileceğinden efektif güçte, azaltılan ekserji yıkımı kadar artış elde edilemez. Dolayısıyla motorun termodinamik verimini daha da arttırmak için ekserji yıkımını azaltacak önlemleri almakla birlikte kayıp ekserjilerin de geri kazanılması gerekmektedir [22].



Şekil 7. Dizel yakıtı (a) ve biyodizel (b) kullanımında enerji bileşenlerinin yakıt enerjisine göre dağılımı (Energy distribution for diesel (a) and biodiesel (b))



Şekil 8. Dizel yakıtı (a) ve biyodizel (b) kullanımında ekserji bileşenlerinin yakıt ekserjisine göre dağılımı (Exergy distribution for diesel (a) and biodiesel (b))

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sunulan bu çalışmada mısır yağı biyodizelinin tam yük (%100) ve 2000 d/dk çalışma şartında, tek silindirli bir dizel motorunun performansına etkisi termodinamik açıdan incelenmiştir. Elde edilen bulguları karşılaştırmak için petrol kökenli dizel yakıtı referans yakıt olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre motorda yakıt olarak mısır yağı biyodizeli kullanıldığında motorun özgül yakıt tüketiminin arttığı ancak özgül enerji tüketiminin azaldığı, birim zamanda daha az ekserji yıkımına yol açtığı ve motorun birinci yasa veriminin arttığı görülmüştür. Her iki yakıt kullanımında motorun ikinci yasa veriminde ve birim ekserji maliyetinde önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Motora giren yakıt enerjisinin yaklaşık olarak %60'ı egzoz gazları ve diğer kayıplarla motordan atıldığı, ancak kayıp bu enerjilerin birim zamandaki toplam yararlı iş potansiyelinin 1,7 kW'tan daha az olduğu hesaplanmıştır. Biyodizel kullanımında motorun efektif verimi %0,76 oranında artmıştır. Verimdeki bu artış oranı küçük olmasına rağmen küresel çapta yakıt tüketiminin ve zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasında büyük bir etkiye sahip olacağı açıktır.

**SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)**

$C$	: Birim ekserji maliyeti
$\dot{E}$	: Birim zamandaki enerji [kW]
$\dot{E}_x$	: Birim zamandaki ekserji [kW]
$\bar{h}$	: Özgül entalpi [kJ/kmol]
$\dot{m}$	: Kütleli debi [kg/s]
$N_e$	: Efektif motor gücü [kW]
$\bar{s}$	: Özgül entropi [kJ/kmol/K]
$\dot{OYT}$	: Özgül yakıt tüketimi [kg/kW-h]
$\dot{Q}$	: Birim zamandaki ısı [kW]
$T$	: Sıcaklık [°C veya K]
$x$	: Molar oran
$y$	: Kütleli oran
$\eta$	: Verim

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Reitz, R.D., "Directions in Internal Combustion Engine Research", *Combustion and Flame*, 160, 1-8, 2013.
- [2] Ghaudhari, S.G., Modi, M.A., Patel, T.M. and Rathod, G.P., "Exergy Analysis of Compression Ignition Engine Using Biodiesel Blend: Effect of Compression Ratio and Injection Pressure, *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 6, 13-19, 2016.
- [3] Shukla, P.C., Gupta, T., Labhsetwar, N.K. and Agarwal, A.K., "Trace metals and ions in particulates emitted by biodiesel fuelled engine", *Fuel*, 188, 603-609, 2017.
- [4] Sharma, Y.C. and Singh, V., "Microalgal Biodiesel: A possible solution for India's energy security", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 72-88, 2017.
- [5] Mojifur, M., Rasul, M.G. and Hyde, J., "Recent Developments on Internal Combustion Engine Performance and Emissions Fuelled with Biodiesel-Diesel-Ethanol Blends", *Procedia Engineering*, 105, 568-664, 2015.
- [6] Ghazali, W.N.M.W., Mamat, R., Masjuki, H.H. and Najafi G., "Effects of biodiesel from different feedstock on engine performance and emissions: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585-602, 2015.
- [7] Kumar, N., Varun, Chauhan, S.R., "Performance and emissions characteristics of biodiesel from different origins: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 633-658, 2013.
- [8] Lin, B. F., Huang, J.H. and Huang, D.Y., "Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance Characteristics and pollutant emissions, *Fuel*, 88, 1779-1785, 2009.
- [9] Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A. and Masjuki, H.H., "Biodiesel Feasibility Study: An Evaluation of Material Compatibility; Performance; Emission and Engine Durability", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1314-1324, 2011.

- [10] Rosen, M. A. and Dincer, I., "Exergy as the Confluence of Energy, Environment and Sustainable Development", *International Journal of Exergy*, 1, 3-13, 2001.
- [11] Gülüm, M., Bilgin, A. ve Çakmak, A., "Sodyum hidroksit (NaOH) ve Potasyum hidroksit (KOH) Kullanılarak Üretilen Mısır Yağı Biyodizellerinin Optimum Reaksiyon Koşullarının Karşılaştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (3), 503-511, 2015.
- [12] Canakcı, M., "Combustion Characteristics of a Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fuelled With Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel", *Biosource Technology*, 98, 1167-1175, 2007.
- [13] Kopac, M. and Kokturk, L., "Determination of Optimum Speed of an Internal Combustion Engine by Exergy Analysis", *International Journal of Exergy*, 2(1) 40-52, 2005.
- [14] Kotas, T. J., "The Exergy Method of Termal Plant Analysis", Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1995.
- [15] Çakmak, A., "Yakıt Olarak Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanıldığı Tek Silindirli bir Dizel Motoruna Ekserji Analizinin Uygulanması", Yüksek lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [16] Durgun, O., "Motor Termodinamiği Ders Notları", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, (Basılmamış), 2010.
- [17] Çengel, Y., A. ve Boles, M., A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", Editör Pınarbaşı, A., Yedinci Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2013.
- [18] Jena, J. and Misra, R. D., "Effect of Fuel Oxygen on the Energetic and Exergetic Efficiency of a Compression Ignition Engine Fuelled Separately with Palm and Karanja Biodiesels", *Energy*, 68, 411-419, 2014.
- [19] Rakopoulos, C.D. and Giakoumis E.G. "Second Law Analysis Applied to Internal Combustion Engines Operation", *Progress in Energy Combustion Science*, 32, 2-47. 2006.
- [20] López, I., Quintana, C. E., Ruiz, J.J., Cruz-Peragón, F. and Dorado, M.P., "Effect of the Use of Olive-Pomace Oil Biodiesel/Diesel Fuel Blends in a Compression Ignition Engine: Preliminary Exergy Analysis", *Energy and Conversion Management*, 85, 227-233, 2014.
- [21] Holman, P., "Experimental Methods for Engineers", 8th Edition, McGraw-Hill, New York, USA, 2012.
- [22] Fu, J., Liu, J., Feng, R., Yang, Y., Wang, L. and Wang, Y., "Energy and Exergy Analysis on Gasoline Engine Based on Mapping Characteristics Experiment", *Applied Energy*, 102, 622-630, 2013.



## Gaz Yakıtlı Bir Turbo Blower Santralinin Performans Analizi

Alper ERGÜN<sup>1,\*</sup>, Ümit ARSLAN<sup>2</sup>, Mehmet ÖZKAYMAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050, 100.Yıl/KARABÜK

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, 78050, 100.Yıl/KARABÜK

### Öz

Demir-çelik tesisleri bünyesinde birbirinden farklı birçok alt tesisi barındırmaktadır. Bu tesislerin en önemli ekipmanı demir cevherinin işlendiği yüksek fırınlardır. Bu tesise yüksek basınçta yakma havası sağlanması gerekir ve bu hava turbo blower ile sağlanmaktadır. Turbo blower temelde bir enerji santralidir ve türbin kısmına yüksek basınçta hava sağlayacak bir kompresör akuple edilmiştir. Bu çalışmada, entegre demir çelik fabrikalarında üretim sırasında atık gaz olarak ortaya çıkan yüksek fırın ve kok gazının yakıt olarak kullanıldığı bir santralin ekserji analizi yapılmıştır. Ekserji analizinde proses içindeki her bir ekipmanın ekserji yıkımları ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda sistemin toplam iyileştirme potansiyeli 54717.427 kW genel sistem verimi ise %27.6 olarak tespit edilmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 22/12/201X  
Düzeltilme: 22/12/201X  
Kabul: 06/12/201X

### Anahtar Kelimeler

Demir çelik  
Enerji santrali  
Ekserji analizi  
Turbo blower

### Keywords

Iron and steel  
Power plant  
Exergy analysis  
Turbo blower

## Performance Analysis of Gas Fired Turbo Blower Power Plant

### Abstract

Iron and steel production has huge importance in industrializing countries. Various sub-plants have been located in the iron and steel plants. The significant equipment of those plants is the blast furnaces where iron ore is melted and processed. The blast furnaces need high pressure combustion air to perform burning process and the turbo blower supplies this combustion air. Turbo blower is mainly a kind of power plant and a compressor is connected to the turbine section for providing high pressure air. In this study, an exergy analysis of a power plant that uses waste gasses, such as blast furnace gas and coke breeze gas, as a fuel during production process in integrated iron and steel plants was performed. Exergy destructions and efficiencies were calculated for all equipment. At the end of the study total improvement potential of system and general system efficiency were calculated as 54717.427 kW and 27.6 % respectively

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji günümüz dünyasında en büyük ihtiyaçların başında gelmektedir. Dünya nüfusunun artması ve gelişen sanayi ile birlikte enerjiye olan talepte giderek artmış ve ülkeler için en büyük gelişmişlik göstergesi olmuştur. Birincil enerji kaynaklarının tükenebilir olmasından dolayı enerjinin verimli kullanılması giderek daha büyük önem kazanmış ve enerji politikaları tekrar gözden geçirilmeye başlanmıştır. Bilimsel yöntemlerle desteklenen ve analiz edilen enerji sistemleri hem daha verimli kullanılmaya başlanmış hem de enerji tüketimini minimuma indirmiştir. Enerji kullanımı sanayide birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de demir-çelik üretimidir. Günümüzde entegre demir-çelik üretim sistemleri ülkemiz için en önemli tesislerin başında gelmektedir. Türkiye demir-çelik üretiminde dünyada 8., Avrupa da ise 2. sırada yer almaktadır [1]. Demir çelik üretiminde en önemli ekipman yüksek fırındır. Yüksek fırında demir üretimi için yüksek basınçta yakma havası gerekmektedir. Bu hava genellikle bir türbin ve bu türbine akuple kompresör aracılığı ile temin edilmektedir. Blower olarak adlandırılan bu sistem, demir-çelik üretiminde oldukça yüksek enerji gereksinimine ihtiyaç duyan bir santraldir. Bu santralin enerji etüdünün doğru yapılması son derece önemlidir. Günümüzde enerji santrallerinde genellikle termodinamiğin I. kanunu kullanılarak enerji analizleri yapılmaktadır. Fakat birçok çalışmada, sadece I.

\*İletişim yazarı, e-mail: alperergun@karabuk.edu.tr

kanunun yeterli olmadığı ve II. kanuna dayalı ekserji analizlerinin de yapılması gerektiği vurgulanmaktadır [2]. Yazıcı ve Selbaş [3], çalışmasında bir buharlı güç santralının enerji ve ekserji analizini yapmıştır. 500 MW gücündeki buharlı güç santraline termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak enerji denklemleri yazılmış, buhar türbininden gerekli gücün elde edilebilmesi için farklı kazan sıcaklıklarında kazana verilen ısı, güç akışkanının debisi, pompa gücü ve yoğunlaştırıcıdan soğutma suyuna aktarılan ısı miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buharlı güç santralının ana elemanları olan kazan ve yoğunlaştırıcıya termodinamiğin ikinci kanunu uygulanmış, bu sistem elemanlarının ekserji analizleri yapılmıştır. Sistemin toplam tersinmezliği hesaplanmış ve en fazla tersinmezlik üreten sistem elemanını yoğunlaştırıcı olarak belirlemişlerdir. Rahim ve Gündüz [4] tasarladıkları bir ısı-güç (kojenerasyon) çevrim sistemine termodinamiğin birinci ve ikinci yasası (ekserji analizi) uygulayarak, santraldeki kayıpların belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın kendi elektrik üretimini yapmak isteyen endüstriyel kuruluşlar için oldukça önemli ve verimli olduğunu belirterek, bu tarz sistemlerin giderek tükenen fosil yakıtlardan tasarruf edildiği ve küresel ısınma riskini azalttığını tespit etmişlerdir. Filiz, tarafından yapılan çalışmada [5], Kardemir A.Ş.'de bulunan, yakıt olarak demir çelik üretimi sırasında açığa çıkan atık gazlardan kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının yakıldığı gaz yakıtlı bir buhar kazanında enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizler gerçekleştirilerek kazanın performansı değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 91 ve % 46 olarak tespit etmişlerdir. Eyidoğan vd. [6] bir sanayi kuruluşunun LNG (sıvılaştırılmış doğalgaz) yakıtlı haddehane tav fırınında enerji verimliliği çalışması yapmışlardır. Fırının işletme koşullarındaki sıcaklık, basınç, hız ve yanma gazı gibi parametreler ölçülerek elde edilen bu veriler ile kütle ve enerji dengesi çözümlerini yapmışlardır. Çalışmanın sonunda; fırın verimini %52.76 olarak tespit etmiş ve başlıca verim kayıplarının; fırının yüksek hava fazlalık katsayısıyla çalıştırılması, rekuperatör ısı transfer yüzey alanının yetersiz kalması ve fırın yüzeyi ısı kayıplarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Uysal tarafından yapılan çalışmada [7], Zonguldak Çatalağzı'nda kurulu bulunan 160 MW kapasiteli termik santralin ekserji ve termoekonomik analizi yapılarak performansı değerlendirilmiştir. Ekserji analizinde, sistem ve bileşenleri için ekserji verimleri, ekserji yıkımları ve iyileştirme potansiyellerini hesaplanmıştır. Ekserji analizi sonucunda, sistemde en düşük ekserji verimine sahip ekipmanları sırasıyla % 29.95 ile kondenser ve % 33.24 ile kazan olduğunu tespit etmiş, sistemin toplam ekserji verimini ise %39.89 olarak hesaplamıştır. Sistemin toplam iyileştirme potansiyelini ise 130903.74 kW olarak tespit etmiştir. Filiz vd. [8], çalışmasında Kardemir'de bulunan, yakıt olarak demir çelik üretimi sırasında açığa çıkan atık gazlardan kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının yakıldığı gaz yakıtlı bir buhar kazanının enerji ve ekserji analizi yardımıyla performansını değerlendirmiştir. Kazan açık sistem olarak tek bir ünite halinde ele alınmış ve buna göre enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Kazanın enerji ve ekserji analizi sonucunda, enerji veriminin % 91, ekserji veriminin ise % 46 olduğu bulunmuştur. Enerji kaybının 6445.5 kW, ekserji yıkımının ise 21185.81 kW olduğu belirlenmiştir. Ünal ve Özkan [9] Türkiye'de çalışmakta olan Tunçbilek Termik Santrali, ünite ekipmanlarının her birinin termodinamik analizini yaparak değerlendirmişlerdir. Termik santral ünitesinde belirlenen yirmi yedi düğüm noktasının termodinamik özelliklerine bağlı olarak enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar ile ekipmanların ayrı ayrı enerji ve ekserji dengeleri kurularak ortalama kayıp ve tahrip olan enerji ve ekserjiler hesaplanmış, kayıp enerji oranı ve yok olan ekserji oranı bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları grafik olarak verilmiştir. Buna göre, en yüksek enerji kaybı oranı ve en yüksek ekserji kaybı oranı olan ekipman sırasıyla %71.1 ve %79.5 ile kazan olarak bulunmuştur. Elde edilen termodinamik özellikler yardımıyla Termik Santral'in ısı ve ikinci yasa verimleri sırasıyla %32.3 ve %75.1 olarak bulunmuştur. Özkaymak [10] Bursa ilindeki BOSEN enerji santralinde bulunan kojenerasyon tesisinden alınan işletme verileri aracılığıyla, enerji ve ekserji analizleri yapmış ve santralde her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki enerji ve ekserji değerlerini hesaplamıştır. Bu değerlere bağlı olarak kayıp enerji ve ekserji değerlerini belirlemiştir. Her bir ünitenin enerji ve ekserji kayıpları birbirleriyle karşılaştırarak, tesisdeki toplam enerji kaybını 3974.34 kW ve toplam ekserji kaybını 18758.03 kW olarak tespit etmiştir. Tesis üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda en büyük enerji kaybı buhar türbininde (2781.4 kW), ekserji kaybı ise yine buhar türbininde (9034.87 kW) olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuçlara göre, verimliliğin artırılması için iyileştirme çalışmalarının türbinde yapılması gerektiğini belirtmiştir. Atif ve Al-Sulaiman [11] güneş kuleli sistem ile çalışan süper kritik bir CO<sub>2</sub> yeniden sıkıştırılmalı brayton çevriminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada geliştirilen model Suudi Arabistan da ki 6 farklı şehir için uygulanmıştır. Kaushik vd. tarafından yapılan çalışmada [12], kömür ve gaz ile çalışan termik santraller üzerinde yapılan çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Enerji ve ekserji analizleri karşılaştırılarak mevcut santrallerde daha fazla araştırma ve iyileştirme önerilerine ışık tutacağını belirtmişlerdir. İbrahim vd. [13] bir gaz türbini santralının enerji ve

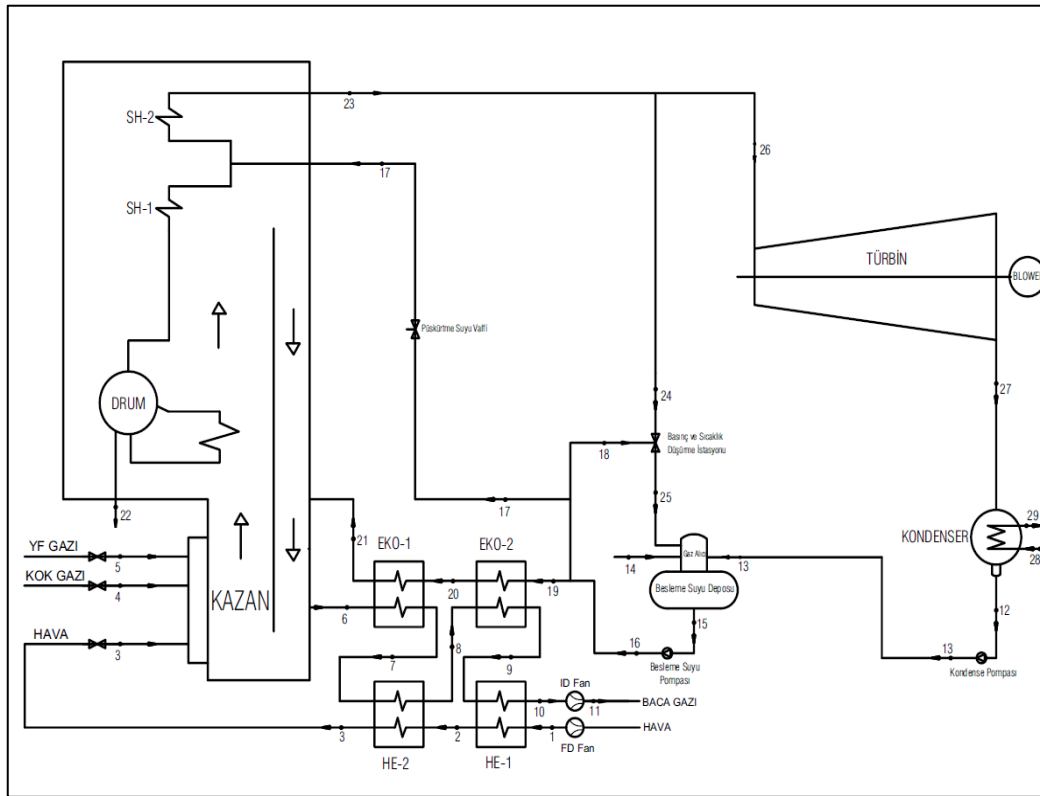


ekserji analizi ile ilgili yaptıkları çalışmada, enerji analizinin niceliksel, ekserji analizinin ise daha niteliksel olduğunu belirtip, termodinamiğin I. ve II. kanunu kullanarak, gaz türbini güç santrali için bir model geliştirmişlerdir. Sistemdeki bütün ekipmanların ekserji yıkımlarını tespit ederek en yüksek yıkım değerini yanma odasında tespit etmişlerdir. Ayrıca sistemin enerji ve ekserji verimini sırasıyla % 34.3 ve % 32.4 olarak hesaplamışlardır. Yapılan literatür taramasında daha önce demir-çelik tesislerinde bulunan enerji santrallerinde çok fazla çalışma yapılmadığı ve yapılan çalışmaların hiç birinde turbo blower'ın olmadığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada Karabük ilinde bulunan bir Demir-Çelik fabrikası bünyesindeki gaz yakıtlı, 100 t/h buhar kapasiteli buhar kazanı ve 24.071 MW güç üreten bir Turbo Blower içeren enerji santralinin ekserji analizi yapılmıştır. Çalışma sonunda bulunan sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmış ve gerekli öneriler verilmiştir.

## 2. SİSTEM TANIMI VE ÖZELLİKLERİ (SYSTEM DESCRIPTION AND PROPERTIES)

Bu çalışmada incelenen sistem, Karabük ilinin en büyük sanayi kuruluşu olan bir Demir-Çelik fabrikası bünyesinde bulunan, yakıt olarak demir üretim prosesi sırasında ortaya çıkan yüksek fırın gazı ve kok gazını kullanan, ana ekipman olarak 100 t/h buhar kapasiteli buhar kazanı ve maksimum 24.071 MW güç üreten Turbo Blower içeren bir enerji santralidir. Santralin kuruluş amacı 2014 yılında yatırımı tamamlanan 5 Nolu Yüksek Fırın tesisindeki demir üretimi için gerekli olan yüksek debili ve basınçlı yakma havasını temin etmektir. Bu nedenle prosesin en sonundaki ekipman bir buhar türbinine akuple olan kompresör diğer adıyla "Blower" dır. Sistemin akış şeması Şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Sistemin Akış Şeması.

Sistemde bulunan buhar kazanı su borulu, gaz yakıtlı çalışan bir kazandır ve 505 °C sıcaklıkta 65 bar basınçta 100 t/h buhar kapasitesine sahiptir. Kazan yakma havası FD fan aracılığıyla temin edilerek, hava ekonomizeri ile baca gazı içinde bulunan yanma ürünlerinin sıcaklığı aracılığıyla ısıtılır. Kazandan açığa çıkan baca gazları ise ID fan ile emilerek dışarı atılır. Kazanda elde edilen buhar, termik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürüldüğü buhar türbinine gönderilmektedir. 505 °C sıcaklık ve 65 bar basınçtaki buhar enerjisini, buhar türbinin ilk genişleme alanından rotor üzerindeki kanatlara verir ve yoğuşma basıncına kadar genişler. Çürük buhar türbin gövdesinden kondensere geçer. Ardından kondensere gönderilen

akışkan bu noktada soğutma suyu yardımı ile yoğuşturulup sıkıştırılmış sıvı fazına geçmektedir. Bu noktada kondenser pompası yoğuşan suyu emerek kazan besleme deposuna göndermektedir. Sistemde kullanılan besleme deposu ve degazör buhar kazanının ihtiyacı olan kazan besi suyunu depolayıp, bu suyu kazan ekonomizer girişi öncesi istenen giriş sıcaklığına getirerek su içerisinde istenmeyen ve çözünmemiş gazları uzaklaştırmaktadır. 15 noktasında besleme suyu pompası tarafından emilen su, kazanın buhar üretimi için ihtiyacı olan basınçlandırma görevini yapmaktadır. Sistemde kullanılan basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu, kazan çıkış kollektöründeki yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı buharı, yardımcı ekipmanlar ve sistemlerin ihtiyacı olan sıcaklık ve basınca düşürmektedir. İstasyon çıkışındaki buharın büyük bir kısmı besleme deposundaki suyun ısıtılması için kullanılmaktadır. Ekonomizerler 19 noktasında besleme suyu deposundan alınan 150 °C ve 85 bar basınçtaki suyu yanma ürünü yardımı ile 280 °C'ye kadar ısıtıp doma göndermektedir. Sistemin her bir noktası, bu noktadaki akışkan ve termodinamik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1. Santrale ait noktalar ve termodinamik özellikleri**

Noktası	Akışkan Tipi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Debi	
		T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg- kJ/Nm <sup>3</sup> )	s (kJ/kgK)	$\dot{V}$ (Nm <sup>3</sup> /s)	$\dot{m}$ (kg/s)
1	Hava	298.15	104.325	424.17	3.8697	-	24.382
2	Hava	409.55	104.075	536.71	4.1911	-	17.697
3	Hava	569.05	103.825	700.79	4.5299	-	12.704
4	Kok Gazı	303.15	2.450	16555(kJ/Nm <sup>3</sup> )	-	0.639	0.345
5	Y.F. Gazı	303.15	3.430	3111(kJ/Nm <sup>3</sup> )	-	24.904	31.130
6	Yanma Ürünü	874.35	101.149	-	-	46.389	-
7	Yanma Ürünü	630.15	100.985	-	-	46.389	-
8	Yanma Ürünü	568.15	101.889	-	-	46.389	-
9	Yanma Ürünü	472.25	100.751	-	-	46.389	-
10	Yanma Ürünü	423.15	100.655	-	-	46.389	-
11	Yanma Ürünü	423.15	108.96	-	-	46.389	-
12	Su	313.15	40.0	167.88	0.57225	-	24.444
13	Su	313.15	920.0	167.56	0.57239	-	24.444
14	Su	293.15	300.0	84.14	0.29623	-	0.556
15	Su	423.15	500.0	632.19	1.84180	-	28.611
16	Su	423.15	8500.0	637.17	1.83300	-	28.611
17	Su	423.15	8500.0	637.17	1.83300	-	1.389
18	Su	423.15	8500.0	637.17	1.83300	-	0.278
19	Su	423.15	8500.0	637.17	1.83300	-	26.944
20	Su	463.15	7950.0	810.55	2.22580	-	26.944
21	Su	553.15	7400.0	1236.30	3.06510	-	26.944
22	Buhar	573.15	7400.0	2819.70	5.87860	-	0.556
23	Buhar	778.15	6500.0	3429.30	6.85540	-	27.778
24	Buhar	778.15	6500.0	3429.30	6.85540	-	3.333
25	Buhar	453.15	400.0	2818.60	7.08090	-	3.611
26	Buhar	778.15	6500.0	3429.30	6.85540	-	24.444
27	Buhar	315.65	8.315	2578.86	8.21734	-	24.444
28	Su	303.15	280.0	125.99	0.43667	1.369	1369.444
29	Su	310.55	250.0	156.88	0.53747	1.369	1369.444

### 3. SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ (THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SYSTEM)

Termodinamiğin I. kanunu enerjinin korunumu ve sistemlerdeki enerji dengesiyle ilgili olup, termal sistemlerin gerçek enerji performans değerlendirilmesi için yeterli değildir [14]. Termodinamiğin II. Kanunu ise enerjinin kalitesini veya iş yapma potansiyelini sayısal olarak ifade edilmesini sağlar. Bu işlemler ise ekserji adı verilen bir özelliğin tanımlanmasını sağlamıştır. Ekserji, enerjinin işe çevrilebilme potansiyeli olarak tanımlanır ve bir kaynaktan elde edilebilecek maksimum işi ifade eder [15].

Akış halindeki bir madde, kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal olmak üzere, 4 ekserji bileşeninden oluşur. Buna göre toplam özgül ekserji aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$ex_{top} = ex_{potansiyel} + ex_{kinetik} + ex_{fiziksel} + ex_{kimyasal} \quad 3.1$$

Kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilebilir olduğundan toplam ekserji;

$$ex_{top} = ex_{fiziksel} + ex_{kimyasal} \quad 3.2$$

halini alır. Fiziksel ekserji, saf madde için Eşitlik 3.3, ideal gazlar için ise Eşitlik 3.4 ile hesaplanabilir.

$$ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad 3.3$$

$$ex_{fiz} = Cp \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right] + RT_0 \ln \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad 3.4$$

Sistemde kullanılan yüksek fırın ve kok gazı ideal gaz olarak kabul edilip fiziksel ekserjileri Eşitlik 3.4 ile bulunabilir. Burada yakıtın özgül ısısı sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir ve aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir [16].

$$Cp = a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 \quad 3.5$$

Sistemin ekserji analizi yapılırken kimyasal ekserjilerde dikkate alınmıştır. Gaz yakıtlar için kimyasal ekserji Eşitlik 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $\Phi$  kimyasal ekserji faktörüdür, yüksek fırın gazı için 0.98 kok gazı için ise 1.05 olarak alınmıştır [17].

$$ex_{kim} = \varphi \times H_{alt} \quad 3.6$$

İdeal gaz ve suyun molar kimyasal ekserjileri ise Eşitlik 3.7 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$\bar{e}_{x_{kim}} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln (y_i / y) = \sum_i y_i \bar{e}_{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad 3.7$$

Sistemin en önemli ekipmanı olan kazanın ekserjisi hesaplanırken, kazana yakıt olarak giren yüksek fırın ve kok gazı, çıkan ürünlerden ise yanma ürünlerinin termodinamik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Yüksek fırın ve kok gazından alınan numuneler sonucunda yakıtların alt ısı değerleri bulunmuştur. Numune analizleri sonucunda elde edilen veriler Tablo 2’de görülmektedir.

**Tablo 2.** Kok ve yüksek fırın gazı numunelerinin kimyasal bileşimi ve ısı değerleri

Kok Gazı Hacimsel (molar) Oranları (%)		Yüksek Fırın Gazı Hacimsel (molar) Oranları (%)	
CO	6.95	CO <sub>2</sub>	18.08
CO <sub>2</sub>	3.02	CO	23.12
H <sub>2</sub>	57.58	H <sub>2</sub>	1.74
CH <sub>4</sub>	22.18	N <sub>2</sub>	57.06
N <sub>2</sub>	7.14	---	---
O <sub>2</sub>	0.36	---	---
C <sub>2+</sub>	2.77	---	---
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	16555	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3111
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	18711	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3144

Yanma ürünlerinin molar debisi ise Eşitlik 3.8 ile tespit edilmiştir.

$$\dot{n}_{yanma\ ürünleri} = \frac{P_{yanma\ ürün} \times \dot{V}_{yanma\ ürün}}{R \times T_{yanma\ ürün}} \quad 3.8$$

Yanma sonucu açığa çıkan yanma ürünleri, yanma tam olarak gerçekleştiği kabul edilerek O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> olarak belirlenmiş ve baca gazları içerisinde başka bir yanma ürünü olmadığı varsayılmıştır. Yanma ürünü bileşenleri ise yanma ürünü analizörü ile yüzdesel olarak tespit edilmiştir. Molar oranın hacimsel orana eşit olduğu varsayılarak bu yüzdesel değerler molar oran şeklinde yazılmıştır. Elde edilen bu değerler toplam yanma ürünü molar debisi ile oranlanarak, her bir bileşene ait molar debiler tespit edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 3'te görülmektedir.

**Tablo 3. Yanma ürünleri bileşenlerinin molar oranları ve debileri.**

Yanma ürünü bileşenleri	Hacimsel (molar) oranı, y <sub>i</sub>	Molar debi, n <sub>i</sub> (kmol/s)	Standart molar kimyasal ekserjisi $e^{kim}$ (kJ/kmol)
O <sub>2</sub>	0.02	0.02872	3970
CO <sub>2</sub>	0.2513	0.3608	20140
H <sub>2</sub> O	0.0178	0.0255	11710
N <sub>2</sub>	0.7108	1.0207	720
Toplam	1	1.436	

Yanma ürününün entalpi değeri, yanma ürününün özgül ısısına göre belirlenerek Eşitlik 3.9 ile hesaplanmıştır.

$$\bar{c}p_{yanma\ ürün} = (\bar{h} - \bar{h}_0)/(T - T_0) \quad 3.9$$

Burada yanma ürünü özgül ısısı, yanma ürünü bileşenlerine göre Eşitlik 3.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\bar{c}p_{yanma\ ürün} = y_{CO_2} \times \bar{c}p_{O_2} + y_{H_2O} \times \bar{c}p_{H_2O} + y_{N_2} \times \bar{c}p_{N_2} \quad 3.10$$

Sistem ekipmanlarının ve sistemin ekserji yıkımları kayıp noktalarının tespit edilip iyileştirme potansiyellerinin belirlenmesi için son derece önemlidir. Ekserji yıkımlarının genel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\sum \dot{E}x_{yık} = \sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{çıkan} \quad 3.11$$

Sistem ekipmanların ekserji verimleri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\eta_{ex} = \frac{\sum \dot{E}x_{giren}}{\sum \dot{E}x_{çıkan}} \quad 3.12$$

Sistemin genel verimi elde edilen türbin işinin, giren yakıtların ekserjisine oranı ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{sistem} = \frac{\dot{W}_{turbin}}{\dot{E}x_4 + \dot{E}x_5} \quad 3.13$$

Genel ifade ile sistem ekipmanlarının ekserji yıkımları ve verimleri Tablo 4'te verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Ekserji yıkımları ve verimlere ait eşitlikler

Ekipman	Ekserji Yıkımı	Ekserji Verimi
Buhar kazanı	$\bar{E}_{y,kazan} = (\bar{E}x_3 + \bar{E}x_4 + \bar{E}x_5 + \bar{E}x_{17} + \bar{E}x_{21}) - (\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{22} + \bar{E}x_{23})$	$\eta_{kazan} = \frac{\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{22} + \bar{E}x_{23}}{\bar{E}x_3 + \bar{E}x_4 + \bar{E}x_5 + \bar{E}x_{17} + \bar{E}x_{21}}$
Türbin	$\bar{E}_{y,türbin} = \bar{E}x_{26} - (\bar{E}x_{27} + W_{türbin})$	$\eta_{türbin} = \frac{\bar{E}x_{27} + W_{türbin}}{\bar{E}x_{26}}$
Kondenser	$\bar{E}_{y,kondenser} = (\bar{E}x_{27} + \bar{E}x_{28}) - (\bar{E}x_{12} + \bar{E}x_{29})$	$\eta_{kondenser} = \frac{\bar{E}x_{12} + \bar{E}x_{29}}{\bar{E}x_{27} + \bar{E}x_{28}}$
Kondense pompası	$\bar{E}_{y,kp} = (\bar{E}x_{12} + W_{kp}) - (\bar{E}x_{13})$	$\eta_{kp} = \frac{\bar{E}x_{13}}{\bar{E}x_{12} + W_{kp}}$
Besleme Deposu (Degazör)	$\bar{E}_{y,bd} = (\bar{E}x_{13} + \bar{E}x_{14} + \bar{E}x_{25}) - (\bar{E}x_{15})$	$\eta_{bd} = \frac{\bar{E}x_{15}}{\bar{E}x_{13} + \bar{E}x_{14} + \bar{E}x_{25}}$
Besleme Suyu Pompası	$\bar{E}_{y,bsp} = (\bar{E}x_{15} + W_{bsp}) - (\bar{E}x_{16})$	$\eta_{bsp} = \frac{\bar{E}x_{16}}{\bar{E}x_{15} + W_{bsp}}$
Basınç ve Sıcaklık Düşürme İstasyonu	$\bar{E}_{y,düşürücü} = (\bar{E}x_{18} + \bar{E}x_{24}) - (\bar{E}x_{25})$	$\eta_{düşürücü} = \frac{\bar{E}x_{25}}{\bar{E}x_{18} + \bar{E}x_{24}}$
Ekonomizer-1 (EKO-1)	$\bar{E}_{y,eko1} = (\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{20}) - (\bar{E}x_7 + \bar{E}x_{21})$	$\eta_{eko1} = \frac{\bar{E}x_7 + \bar{E}x_{21}}{\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{20}}$
Ekonomizer-2 (EKO-2)	$\bar{E}_{y,eko2} = (\bar{E}x_8 + \bar{E}x_{19}) - (\bar{E}x_9 + \bar{E}x_{20})$	$\eta_{eko2} = \frac{\bar{E}x_9 + \bar{E}x_{20}}{\bar{E}x_8 + \bar{E}x_{19}}$
Hava Ekonomizeri-1 (HE-1)	$\bar{E}_{y,he1} = (\bar{E}x_1 + \bar{E}x_9) - (\bar{E}x_2 + \bar{E}x_{10})$	$\eta_{he1} = \frac{\bar{E}x_2 + \bar{E}x_{10}}{\bar{E}x_1 + \bar{E}x_9}$
Hava Ekonomizeri-2 (HE-2)	$\bar{E}_{y,he2} = (\bar{E}x_2 + \bar{E}x_7) - (\bar{E}x_3 + \bar{E}x_8)$	$\eta_{he2} = \frac{\bar{E}x_3 + \bar{E}x_8}{\bar{E}x_2 + \bar{E}x_7}$
Aspiratör (ID Fan)	$\bar{E}_{y,ID fan} = (\bar{E}x_{10} + W_{ID fan}) - (\bar{E}x_{11})$	$\eta_{ID fan} = \frac{\bar{E}x_{11}}{\bar{E}x_{10} + W_{ID fan}}$

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Yapılan çalışmanın sonucunda, gaz yakıtlı bir santralin detaylı bir ekserji analizi yapılmıştır. Akış şemasındaki, her bir noktaya ait ekserji değerleri 3. bölümdeki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 5'te detaylı olarak görülmektedir.

**Tablo 5.** Noktasal ekserji değerleri

NOKTA	EKİPMAN	AKIŞKAN TİPİ	EKSERJİ E <sub>x</sub> (kW)
1	Hava Isıtıcı-1 Primer Giriş	Hava	61.791
2	Hava Isıtıcı-1 Primer Çıkış (Hava Isıtıcı-2 Primer Giriş)	Hava	340.655
3	Hava Isıtıcı-2 Primer Çıkış	Hava	1045.738
4	Yakıcı-1 Giriş	Kok Gazı	11109.290
5	Yakıcı-2 Giriş	YF Gazı	76018.650
6	Ekonomizer-1 Primer Giriş	Yanma Ürünü	18157.543
7	Ekonomizer-1 Primer Çıkış (Hava Isıtıcı-2 Sekonder Giriş)	Yanma Ürünü	11328.831
8	Hava Isıtıcı-2 Sekonder Çıkış (Ekonomizer-2 Primer Giriş)	Yanma Ürünü	9911.695
9	Ekonomizer-2 Primer Çıkış (Hava Isıtıcı-1 Sekonder Giriş)	Yanma Ürünü	7973.155
10	Hava Isıtıcı-1 Sekonder Çıkış (FD fan giriş)	Yanma Ürünü	7207.685
11	FD Fan Çıkış	Yanma Ürünü	7489.896
12	Kondense Pompası Giriş (Kondenser Primer Çıkış)	Su	44.532
13	Kondense Pompası Çıkış (Besleme Suyu Deposu Giriş)	Su	35.689
14	Besleme Deposu Giriş (Su Takviye)	Su	0.210
15	Besleme Suyu Deposu Çıkış (Besleme Suyu Pompası Giriş)	Su	2506.774

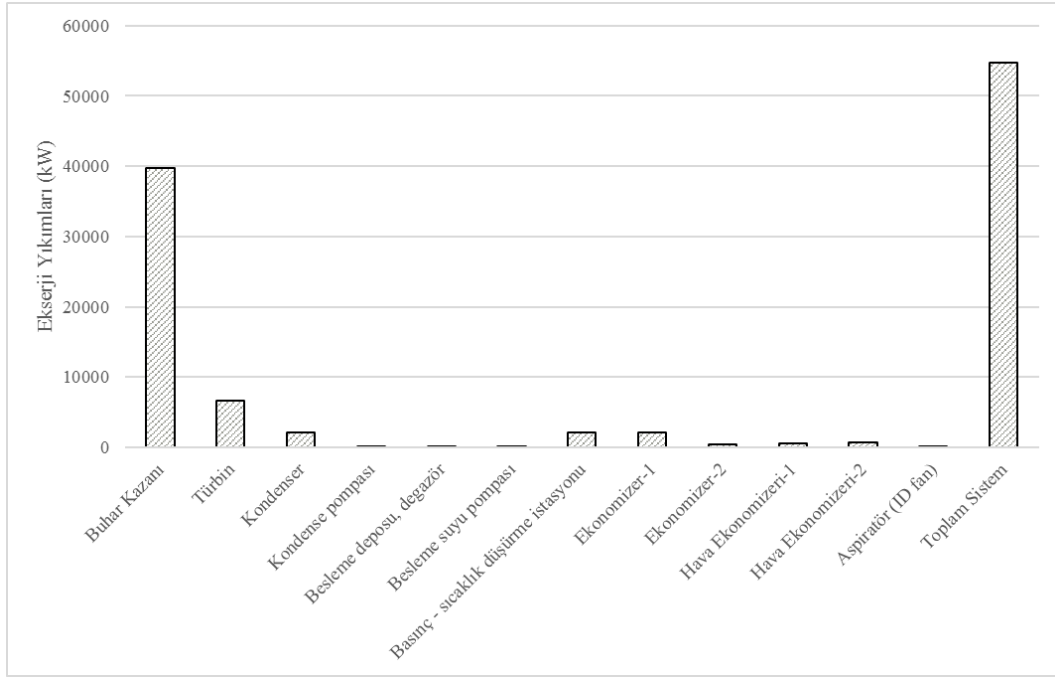
16	Besleme Suyu Pompası Çıkış	Su	2724.325
17	Püskürtme Suyu Giriş	Su	132.249
18	Püskürtme Suyu Çıkış	Su	26.450
19	Ekonomizer-2 Sekonder Giriş	Su	2565.627
20	Ekonomizer-2 Sekonder Çıkış (Ekonomizer 1-Sekonder Giriş)	Su	4081.701
21	Ekonomizer-2 Sekonder Çıkış (Kazan Su Giriş)	Su	8810.794
22	Kazan Blöf	Buhar	595.307
23	Kızgın Buhar Çıkış	Buhar	38608.905
24	Basınç Düşürme İstasyonu Giriş	Buhar	4633.069
25	Basınç Düşürme İstasyonu Çıkış	Buhar	2571.067
26	Buhar Türbini Giriş	Buhar	33975.836
27	Buhar Türbini Çıkış (Kondenser Primer Giriş)	Buhar	3261.357
28	Soğutma Suyu Giriş	Su	486.052
29	Soğutma Suyu Çıkış	Su	1631.564

Noktasal ekserji değerleri bulunduktan sonra sistemdeki her bir ekipmanın ekserji yıkımları ve ekserji verimleri belirlenmiştir. Bu değerler hesaplanırken Tablo 4'teki eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler aracılığıyla elde edilen değer Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Ekipmanların ekserji yıkımları ve ekserji verimleri

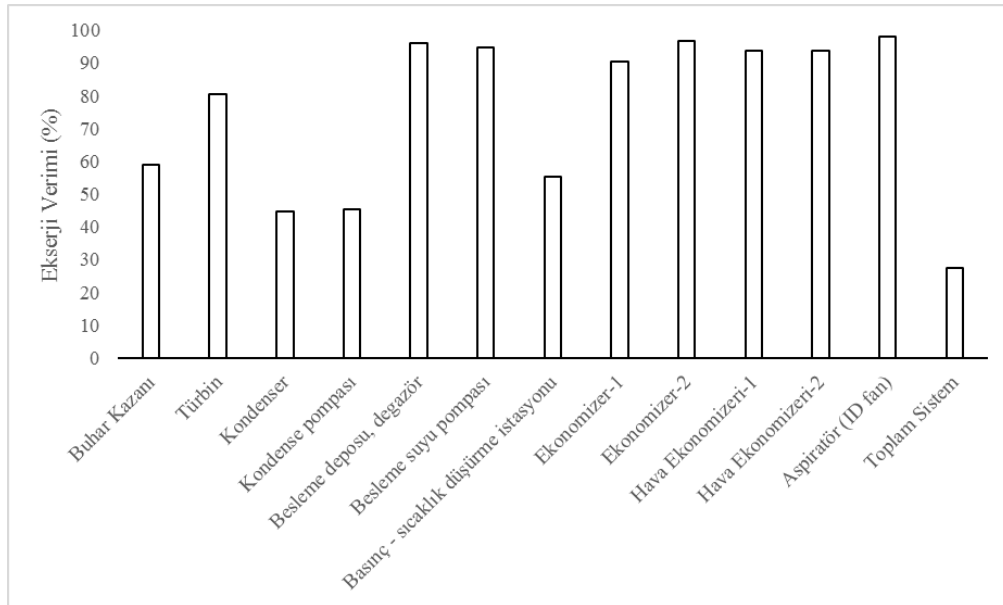
Ekipman	Ekserji Yıkımları (kW)	Ekserji Verimi (%)
Buhar Kazanı	39754.966	59.1
Türbin	6643.479	80.4
Kondenser	2071.613	44.7
Kondense pompası	42.843	45.3
Besleme deposu, degazör	100.192	96.2
Besleme suyu pompası	152.449	94.7
Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu	2088.452	55.2
Ekonomizer-1	2099.619	90.6
Ekonomizer-2	422.466	96.6
Hava Ekonomizeri-1	486.606	93.9
Hava Ekonomizeri-2	712.053	93.9
Aspiratör (ID fan)	137.789	98.2
Toplam Sistem	54717.427	27.6

Tablo 6'da elde edilen değerlerin daha iyi anlaşılabilmesi için, Şekil 2'de grafiksel olarak verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, sistemdeki en büyük ekserji yıkımı buhar kazanında gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.** Sistemin ve Ekipmanları Ekserji Yıkımları

Sistem ve ekipmanlarının ekserji verimleri ise Şekil 3’te grafiksel olarak verilmiştir. Sistemde buhar kazanı en yüksek yıkım ile çalışan ekipmandır fakat bu ekipmanın yüksek verimle çalıştığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak, buhar kazanı üzerinde birçok noktada ekserji akımları bulunmaktadır. Her bir ekserji akımdan doğan yıkım değerleri kazanın kayıp miktarını arttırmaktadır. Kazanın kayıp değeri artmasına rağmen bulunan verim değeri literatürle benzerlik göstermektedir. Ekserji akımlarının yıkımları azaltıldığında, kazan ve sistemin yıkımları da azalacaktır.



**Şekil 3.** Sistemin ve Ekipmanları Ekserji Verimleri

Sistemde en yüksek verime sahip ekipman aspiratör olarak görev yapan ID fanıdır. Ayrıca sistemdeki ekonomizerlerinde yüksek verimle çalıştığı tespit edilmiştir. Analiz yapılan sistemde ekonomizer olarak kullanılan ısı değiştiricilerinin sisteme uygun olarak seçildiği Şekil 3’te açıkça görülmektedir. Sistemin en düşük ekserji verimine sahip ekipmanı ise kondenserdur. Tıpkı ekonomizerlerde olduğu gibi, kondenserde de ısı geçişini arttırmak hem kondenserin hem de sistemin verimini arttıracaktır.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan bu çalışmada, Karabük ilinde kurulu bulunan bir demir - çelik fabrikasında, yeni Yüksek Fırın yatırımı kapsamında kurulmuş olan; ana ekipman olarak 100 t/h kapasitede bir buhar kazanı ile 24.071 MW kapasitede bir Turboblower ve yardımcı ekipmanlarından oluşan santralin ekserji yoluyla performansı değerlendirilmiştir. Yapılan ekserji analizi sonucunda, en düşük ekserji verimi sırasıyla % 44.7 ile kondenserde, % 45.3 ile kondenser pompasında, %55.2 ile basınç ve sıcaklık düşürme istasyonunda, % 59.1 ile buhar kazanında meydana geldiği tespit edilmiştir. Maksimum ekserji yıkımı ise sırasıyla 39754.966 kW ile kazanda ardından 6643.479 kW ile türbinde meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek iyileştirme potansiyeline ekipmanların sırasıyla 39754.966 kW ile buhar kazanı ve 6643.479 kW ile türbin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla sistemde iyileştirme çalışmaları yapılırken dikkate alınacak öncelikli ekipmanlar kazan ve türbindir. Sistemin toplam iyileştirme potansiyeli 54717.427 kW olarak bulunmuştur, genel sistem verimi ise %27.6 olarak tespit edilmiştir.

## SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

$c_p$	: Sabit basınçta özgül ısı
$Ex$	: Ekserji akımı (kW)
$h$	: Özgül entalpi (kJ/kgK)
kcal	: Kilo kalori
kg	: Kilogram
kW	: Kilo watt
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
$Nm^3$	: Normal metre küp
$\dot{n}$	: Molar debi (%)
P	: Basınç (bar)
s	: Özgül entropi (kJ/kgK)
T	: Sıcaklık ( $^{\circ}C, K$ )
t	: Ton
W	: İş enerjisi (kW)
$\eta$	: Verim (%)
bd	: Besleme deposu
bsp	: Besleme suyu pompası
kokg	: Kok gazı
kp	: Kondense pompası
yfg	: Yüksek fırın gazı
AID	: Alt ısıl değer
FD	: Forced draft (zorlamalı çekişli)
ID	: Induced draft (Cebri çekişli)

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T.C. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, Demir Çelik Sektör Raporu (2014), [http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr\\_523\\_TN1D55SP\\_Demir-celik-Sektor-Raporu-2014.pdf](http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_523_TN1D55SP_Demir-celik-Sektor-Raporu-2014.pdf). (Son ziyaret 17.05.2017)
- [2] A. Ergün, T. Menlik, M.G. Özkaya, Energy and Exergy Analyses of the Heating System in a Multipurpose Building. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1:1 (2015) 195-218.
- [3] H. Yazıcı, R. Selbaş, Bir Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi, 10:1 (2011) 117-135.
- [4] M.A. Rahim, D. Gündüz, Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama, Tübv Bilim Dergisi, 6:2 (2013) 19-27.



- [5] Ç. Filiz, Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012.
- [6] M. Eyidoğan, D. Kaya, Ş. Dursun, O. Taylan, Endüstriyel Tav Fırınlarında Enerji Tasarrufu ve Emisyon Azaltım Fırsatları, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29:4 (2014) 735-743.
- [7] C. Uysal, Bir Termik Santralin Termoekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012.
- [8] Ç. Filiz, C. Uysal, E. Kılıç, H. Kurt, Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi, 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, A1(2014) 551-562, 18-20 Haziran, Karabük, Türkiye.
- [9] F. Ünal, D.B. Özkan, Tunçbilek Termik Santralının Enerji ve Ekserji Analizi, Tesisat Mühendisliği, 143(2014) 5-13.
- [10] M. Özkaymak, Bir Termik Santralde Kojenerasyon Tesisinin Ekserji Analizi, Teknoloji, 10 (2007) 61-65.
- [11] M. Atif, F.A. Al-Sulaiman, Energy and exergy analyses of solar tower power plant driven supercritical carbon dioxide recompression cycles for six different locations, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68 (2017) 153–167.
- [12] S.C. Kaushik, V.S. Reddy, S.K. Tyagi, Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011) 1857–1872.
- [13] T.K. Ibrahim, F. Basrawi, O.I. Awad, A.N. Abdullah, G.N.R. Mamat, F.Y. Hagos, Thermal performance of gas turbine power plant based on exergy analysis, Applied Thermal Engineering, 115 (2017) 977–985.
- [14] R. Yumrutas, M. Kunduz, M. Kanoglu, Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration Systems, Exergy An International Journal, 2 (2002) 266-272.
- [15] Z. Wei, R. Zmeureanu, Exergy Analysis of Variable Air Volume Systems For an Office Building, Energy Conversion and Management, 50 (2009) 387-392.
- [16] Y.A. Çengel, M.A. Boles, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996.
- [17] T. Kotas, The exergy method of thermal plant analysis, Krieger Publishing Company, Florida, 1995.



## Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi

Tarık İÇTEN<sup>1,\*</sup>, Güngör BAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Sistemleri, Çankaya/ANKARA

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar/ANKARA

### Öz

Bu makalede, günümüzde oldukça popüler olan Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisi alanındaki son gelişmeler ve uygulamalar incelenmiştir. Verilerin ve görüntülerin gerçek dünya görüntülerine eklenmesiyle zenginleştirilmiş bir ortam oluşturan AG ilk kullanıma başladığı yıllarda dijital araçların yetersiz kabiliyetleri sebebiyle gelişimi sınırlı, kullanımı lüks, yapımı zahmetli bir teknoloji olarak görülmekteyken günümüzdeki yazılım ve donanım alanındaki gelişmelerle birlikte uygulama alanı genişleyerek sanayi, eğitim, trafik, sağlık, spor, eğlence ve askeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uygulama alanının çeşitliliği ve günümüzdeki bilimsel gelişmeler, “AG Teknolojisi” kavramını genişleterek “AG Ortamları” kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu inceleme çalışmasında AG teknolojisini ve bu teknoloji ile yapılmış örnek ortam uygulamalarını konu alan ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar ile özel sektör uygulamaları incelenerek çalışmaların ayrıntıları, özgün (güçlü ve zayıf) yanları, uygulama alanları, kullanım amaçlarına yönelik değerlendirmeler sunulmuştur.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 01/02/2017

Kabul: 24/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Artırılmış gerçeklik  
 Artırılmış gerçeklik ortamı  
 Artırılmış gerçeklik uygulamaları

### Keywords

Augmented reality  
 Augmented reality technology  
 Augmented reality applications

## Review of Recent Developments and Applications in Augmented Reality

### Abstract

Aim of this research is to investigate recent developments on Augmented Reality Technology which is so popular nowadays and creates an enriched environment by adding images to real world images. Whereas in early years the Augmented Reality Technology was considered as limited because of the inefficiency of technological instruments, very expensive to use and hard to build, under support of present day developments in software and hardware the application area has enlarged and it is used in industry, education, traffic, health, sport, entertainment and military fields. Varieties of application field and scientific developments have brought along to refer “Augmented Reality Technology” as “Augmented Reality Mediums”. In this review, national and international academic studies and private sector applications based on Augmented Reality Technology have been analyzed. Evaluation results on considered studies are presented in terms of details, characteristics (strong and weak sides), applications areas and application purposes.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda bilişim teknolojileri alanında en çok dikkat çeken çalışmalardan birisi de Artırılmış Gerçeklik(AG) olarak ifade edilen Augmented Reality(AR) teknolojisidir. Artırılmış gerçeklik birçok alanda çalışmanın yapıldığı, gün geçtikçe günlük hayatımızda daha fazla yer almaya başlamış bir teknolojidir. Gerçeklik teknolojisi terimi temelde sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik olarak ikiye ayrılabilir. Sanal gerçeklik, bilgisayar kaynaklı üç boyutlu oyunlarda karşılaşılan, kullanıcının bu ortama girdiğinde dünya ile ilişkisinin tamamen yok olduğu bir ortam olarak ifade edilebilir. Buna karşın artırılmış gerçeklik; gerçek dünya ile bağlantısını devam ettiren, veri ve görüntülerin gerçek dünya görüntülerine eklene bildiği, gerçek ve sanal nesnelerin aynı ortamda birlikte algılanmasını sağlayan bir ortam olarak ifade edilebilir. Şekil 1’de sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik kavramlarını ifade eden örnek resimler

\*İletişim yazarı, e-mail: ictentarik@gmail.com

gösterilmiştir. Bu resimlerden soldaki bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir çevrede bilgisayar oyunu oynayan kullanıcının sanal gerçeklik ortamından, sağdaki gerçek dünya görüntüsü üzerine sayısal ve grafiksel verilerin eklenmesi ile oluşturulmuş artırılmış gerçeklik ortamından alınmış görüntülerdir.



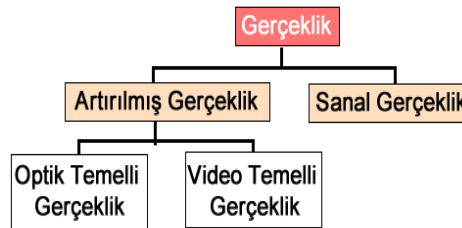
**Şekil 1.** Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik (Virtual reality and augmented reality)

Görüntüleri görsel (metin/grafik/animasyon) ve işitsel (ses) materyaller ile artırma teknolojisi uzun süredir gündemde olan bir teknolojidir ve gelişimi halen devam etmektedir. Son araştırmalara göre, artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik pazarının 2020 yılında tahmini 100 Milyar doları aşacağı öngörülmektedir [1]. AG pazarında akıllı telefonlar, tablet ve masaüstü bilgisayarlar gibi teknolojik ürünlerin günlük hayatımızda daha fazla yer alması AG teknolojilerinin de bu alanda daha etkin bir şekilde kullanılmasına yol açacağı söylenebilir.

Artırılmış gerçeklik uygulamaları askeri, mühendislik, sağlık, spor, turizm, reklamcılık vb. alanlarda kullanılmaktadır [2]. Bu bağlamda, son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında AG alanında yazılım geliştiren şirket sayısının geçmiş yıllara göre kıyaslandığında bir artışın olduğundan bahsedilebilir. Bu alanlardaki gelişmelere öncülük eden birkaç uluslararası yazılım şirketi bulunmaktadır. Bu şirketler arasında, GPS, hızölçer ve pusula destekli mobil tarayıcı hizmeti sunan Hollanda merkezli LayAR [3], AG tabanlı mobil ticaret ve e-ticaret çözümlerinde öncü olan Fransa merkezli Total Immersion [4], IOS ve Android sistemler için ücretsiz mobil AG hizmeti sunan Almanya merkezli Metaio [5] örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak, görüntü tanıma ve izleme alanında çalışan, IOS ve Android işletim sistemleri için lokasyon tabanlı AG çözümleri sunan Avusturya merkezli WikiTude [6], kullanıcılarına Webcam Sosyal Mağaza uygulama hizmeti sunan ABD merkezli Zugara [7], resim işleme teknolojisi alanında faaliyet gösteren İngiltere merkezli Aurasma [8] şirketleri de eklenebilir.

## 2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AUGMENTED REALITY)

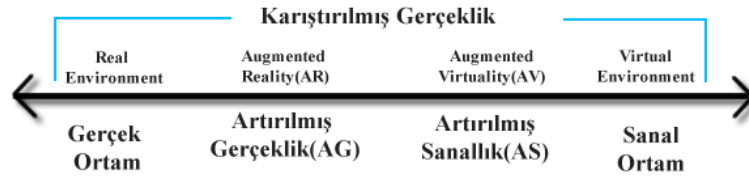
Gerçeklik uygulaması, kullanılan teknoloji dikkate alındığında optik temelli teknolojiler ve video temelli teknolojiler [9] olarak iki grupta değerlendirilebilir. Bu iki teknoloji arasındaki temel farklılık gerçek ve sanal dünyanın bütünleştirilmesiyle oluşan sahnenin görüldüğü yerdir. Optik sistemlerde bütünleştirilmiş sahne gözlük aracılığıyla gerçek dünyada görülürken, video temelli sistemlerde bütünleştirilmiş sahne bilgisayar/tablet/mobil cihaz üzerinde görülmektedir [10]. Gerçeklik uygulamalarına yönelik bir gruplama Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** Gerçeklik uygulamalarının gruplanması (Grouping of reality applications)

Artırılmış gerçeklik alanında yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda artmasına rağmen bu alanda yapılan tanım ve terimler teknolojideki gelişmelere paralel olarak değişkenlik göstermektedir. Alanla ilgili literatürde yer alan tanımlamalar incelendiğinde, Milgram ve Kishino (1994) [11] artırılmış gerçekliği “Gerçek dünya nesnelere yerine dijital ortam ürünlerinin kullanıldığı gerçeklik ortamıdır” [12] şeklinde tanımlamakta iken, Özarslan (2011) çalışmasında artırılmış gerçekliği; “Bir kamera ya da görüntüleme cihazı aracılığıyla çoğunlukla gömülü bir hedefi okuyup sanal olarak bilgisayarda üretilen görüntü ve gerçek dünyanın görüntüsünün yazılımsal olarak bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır” [13] şeklinde

tanımlamaktadır. Gelişim sürecince gerçek ve sanal ilişkisini anlatan birçok ifade kullanılmıştır. Şekil 3’de, sanal ve gerçek ilişkisini gösteren düzlem bu konudaki tanımları daha da anlaşılır kılacaktır.



**Şekil 3.** Milgram'ın gerçeklik sanallık düzlemi (Milgram's reality-virtuality continuum)

Artırılmış gerçeklik uygulamalarının ilk olarak askeri alanda kullanıldığı görülmektedir [14]. Savaş pilotlarının kaskına yerleştirilen ve göz hizası seviyesinde kullanılan saydam özellikli ekranlar tasarlanmıştır. Bu ekranlar pilotların görmesi gereken uçuş verilerini anlık olarak göstermektedir. Donanımın saydam yapısı sayesinde pilotların gerçek görüntü ile veri ekran görüntüsünü aynı anda görmesi amaçlanmıştır. Savaş pilotlarındaki uygulama alanıyla başlayan bu teknoloji günümüzde birçok alanda kendisini göstermektedir. Bu alanlar:

- Eğitim ve insan bilimi
- Doğal afet ve nükleer kazalardan korunma
- Sanat, reklam ve pazarlama
- Eğlence, sağlık ve müzecilik
- GPS ve coğrafi etiketleme
- Mühendislik, askeri ve güvenlik

## 2.1. Artırılmış Gerçeklik için Kullanılan Çevre Birimleri (Peripherals used for Augmented Reality)

### 2.1.1. Donanım Altyapısı (Hardware Infrastructure)

Kullanıcının AG teknolojisini tam olarak kullanabilmesi ve yazılımın uygulama aşamasında kendisine verilen görevi yapabilmesi için donanım alt yapısı önemlidir. Artırılmış gerçekliğin dış ortamdan gelen veri ve görüntüleri alıp gerçek dünya ile birleştirme işlemi olduğu dikkate alınırsa her AG ortamı için bu verilere ulaşabilmenin yolu bazı donanımların kullanılmasını gerektirmektedir. Alan B. Craig, Artırılmış Gerçekliği Anlamak: Kavramlar ve Uygulamalar adlı kitabında AG sistemlerinin donanımsal anlamda gerçekleştirilmesi için algılayıcılar, görüntüleyiciler (ekranlar) ve hesaplama ve işlem birimi olarak üç temel bileşene gerek olduğunu vurgulamaktadır [15]. Bu bileşenler aşağıda verildiği gibi örneklendirilebilir.

Algılayıcılar: Kaliteli bir kamera, GPS ve Internet (konum ve web tabanlı AG ), Dijital Pusula, Navigasyon, İvmeölçer (konum ve hareket tabanlı AG)

Hesaplama ve işlem birimi: Bilgisayar, Tablet veya Mobil donanımlar

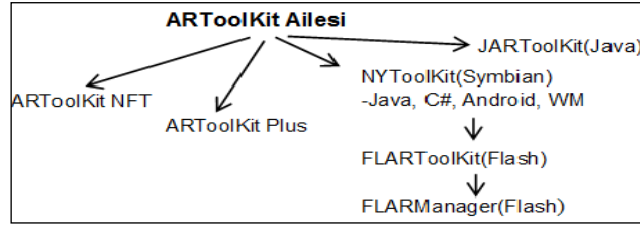
Görüntüleyiciler: Bilgisayar, Tablet veya Mobil cihaz ekranları

### 2.1.2. Yazılım Altyapısı (Software Infrastructure)

Artırılmış gerçeklik için öncelikle sanal ile gerçek ortamı bir arada yorumlayacak bir ara yüzey gerekmektedir. Çoğunlukla bu ara yüzey yazılım firmaları tarafından kendi tescilledikleri yazılım paketleri olarak piyasaya sürülmektedir. Bu yazılımlar, artırılmış gerçeklik uygulamalarında kolaylıklar sağlayan araçlarla beraber tasarlanmaktadır. Yazılımlar genelde modelleme aracı, işaretçi üretim aracı, performans artırıcı motor aracı ve mobil uygulama aracı isimleri altında gelmektedir [16].

Yazılım aracında, AG teknolojisini içeren birçok yazılım geliştirme araçları/platformları/Frameworks (SDK, Software Development Kit) mevcuttur. Bu yazılım araçlarından bazıları ücretsiz bazıları ücretlidir. Tarama sırasında tespit edilen ücretli yazılım geliştirme araçlarına WikiTude, LayAR, Kudan, FaceSDK, ücretsiz yazılım geliştirme araçlarına ARToolKit, SLARToolKit, FLARToolKit, OsgART, Droid AR örnek olarak verilebilir. Ücretsiz ve açık kaynak kod yazılımda bilinen ve bu alanda en çok kullanılan yazılım paketi ARToolKit'dir. ARToolKit'in farklı dilleri destekleyen sürümleri vardır. C dilinde yazılmıştır ve ücretsizdir. 1999 yılında Hirokazu Kato tarafından geliştirilmiş ve Washington üniversitesi HIT Laboratuvarı (The Human Interface Technology Laboratory) tarafından yayınlanmıştır. Bu kit kamera

ve marker olarak ifade edilen fiziksel bir işaretçinin (ing: marker) konumunu gerçek zamanlı hesaplayıp istenen görüntüyü işaretçi üzerinde görüntüleme becerisine sahip bir kütüphane olarak tanımlanabilir.



Şekil 4. ARToolKit ailesi (ARToolKit Family)

Şekil 4’de ARToolKit kütüphanesinden türetilmiş farklı dilleri destekleyen yazılım sürümleri gösterilmektedir. Uygulama geliştiriciler istedikleri programlama dilindeki ARToolKit yazılım paketini sistemlerine ekleyerek AG ortamları oluşturabilirler. Tablo 1’de açık kaynak kodlu AG platformları verilmiştir.

Tablo 1. Açık kaynak kodlu AG platformları (Open source AR platforms)

Donanım	İşletim Sistemi	Çalışma Ortamı	ARToolKit Ailesi	3D Motor
Masaüstü	Windows Mac OS	Flash	FLARToolKit	Away 3D
		Silverlight	SLARToolKit	Papervision 3D Silverlight 5 3D
				Balder
Mobil	IOS	Native (Objective C)	IOS için ARToolKit	OpenSceneGraph (OpenGL)
	Android	Native (Java)	ARToolKit/AndAR	OpenGL
	Windows Phone	Native(C#)/Mango/Silverlight	SLARToolKit	Native(C#)

ARToolKit’den başka Augment, Vuforia, Aurasma, Metaio, BazAR, D’Fusion gibi SDK araçları mevcuttur. Tablo 2’de bu SDK’lar hakkında daha ayrıntılı bilgi verilmektedir.

Tablo 2. AG uygulama geliştirme platformları(AR application development platforms)

AR Frameworks	Vuforia	ARToolKit	WikiTude	LayAR	Kudan
Şirket	PTC	DAQRI	Wikitude GmbH	BlippAR Grp	Kudan Limited
Lisans	Ücretsiz ve Ücretli	Ücretsiz	Ücretli	Ücretli	Ücretli
Desteklenen Platformlar	Android, IOS, Unity	Android, IOS, Windows, Linux, Mac OS X, SGI	Android, IOS, Google Glass, Epson Moverio, ,Optinvent ORA1, PhoneGap, Xamarin	IOS, Android, BlackBerry	Android, IOS, Unity

Modelleme aracında, program içinde kullanılacak üç boyutlu modelleme ve karakter tasarlama imkânı sağlayan araçlar mevcuttur ve bunlar X, Y ve Z koordinat sistemine göre çalışır. AG teknolojisinin en önemli bileşenidir. Gerçek hayattaki bir nesnenin bilgisayarda üç boyutlu modellenmesini sağlar. Blender, Unity3D, Google SketchUp, Cinema 4D, K-3D, Sweet Home 3D, Maya ve 3DS Max sayabilecek 3D model ve grafik tasarlama programlarıdır.

Performans artırıcı motor aracı, program içinde modelleme aracıyla yapılmış üç boyutlu nesnelere(3D API) çalışmasına imkân sağlar. Birçok motor yazılım türü mevcut olup Papervision3D, Away3D ve Sandy3D, WebGL ve Unity3D en çok bilinen ve yaygın kullanılan 3D motorlarıdır.

Bu bağlamda incelenen akademik çalışmalarda, 3D nesnelere kullanıldığı görülmektedir. Tarama sırasında bu nesnelere oluşturulmasında, 3DMax, Blender, Swift3D ve Unity3D motor araçlarından yararlandığı belirlenmiştir. İncelenen AG çalışmalarda 3D nesnelere ek olarak, resim, yazı, video ve ses de kullanıldığı görülmektedir. Yazı, resim, video ve ses gibi nesnelere gerçek görüntü üzerine eklenerek kullanıcıya ek

bilgilendirme imkânı sağlayabilmektedir. Araştırmacılar tarafından gelecekte yapılacak çalışmalarda, 3 boyutlu olarak görülen nesnelere boyutlarının kullanıcı tarafından değiştirilebilme, örnek videolar ile desteklenebilme, açıklayıcı resim ve yazı eklenebilme özelliklerine yer verilebilir. Bu özellikler çalışmanın durumuna göre bir veya birden fazla özelliğin kullanımı ile sağlanabileceği düşünülmektedir.

### 2.1.3. Artırılmış Gerçeklik Türleri (AR Types)

Cheng ve Tsai (2013) [17], artırılmış gerçeklik sistemlerini kullandıkları teknolojik altyapısına göre konum tabanlı ve görüntü tabanlı olmak üzere iki kategori altında toplamışlardır. Görüntü tabanlı yöntemlerde kendi içinde işaretçi tabanlı AG (İTAG) ve işaretçi tabanlı olmayan AG (İTOAG) sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır [18-19]. Swaminathan, Mao ve Wu (2006) [20], izleme yöntemlerini genel olarak yansıtma (Projection based AR), tanılama (Recognition based AR), konum (Location based AR) ve anahat (Outlining AR) tabanlı olarak dörde ayırmaktadır.

#### 2.1.3.1. Konum Tabanlı AG (KTAG) Sistemler

KTAG yöntemlerinin Küresel Konumlama (GPS), Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN), Radio Frekanslı Tanımlama (RFID) ya da sensörlerden gelen verilerle kullanıcının konumunu tespit ederek, gerçek görüntü üzerine ortam zenginleştirme verilerinin eklenmesi esasına dayandığı söylenebilir. Sırakaya ve Seferoğlu (2016) [18] tarafından yapılan tanım; “Konum tabanlı AG sistemleri kullanıcının bulunduğu yeri GPS, WLAN vb. cihazlar ile tespit ederek gerçek görüntü üzerine sanal veriler ekler.” şeklindedir. KTAG sistemlerin, taşınabilir cihazlara olan uyumu, ihtiyaç duyduğu pusula, GPS ve hız ölçüm gibi donanımlara sahip taşınabilir cihaz sayısının fazlalığı ve uygun maliyeti, açık hava uygulamalarındaki etkinliği bu sistemlerin avantajları arasında gösterilebilir. KTAG, “eğitim” [21], “mimari” [22], “turizm” [23], “tarihi ve coğrafi” [24] gibi alanların tanıtımında etkin bir şekilde kullanılabilir. Junaio ve WikiTude, KTAG özelliğine sahip araçlardır [25] ve bu alanda en çok kullanılan konum tarayıcısı WikiTude AR uygulamasıdır [26]. Literatürdeki KTAG çalışmalara, Squire ve Klopfer (2007) [27] tarafından yapılmış çevre bilimi alanındaki çalışması, Esengün (2016) [28] tarafından yapılmış 2 boyutlu harita ve AG mobil navigasyon uygulamalarının kıyaslanması konulu yüksek lisans tezi örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak; Dunleavy, Dede ve Mitchell (2009) [29] tarafından yapılmış matematik alanındaki çalışma ile tarama sırasında incelenen Tsai, Liu ve Yau (2013) [30] tarafından yapılmış doğal afet ve nükleer kazalardan korunma çalışması da verilebilir.

#### 2.1.3.2. Görüntü Tabanlı AG (GTAG) Sistemler

GTAG sistemler, artırılmış gerçeklik ortamına tanımlanan nesnelere (resim, grafik, logo, fotoğraf, hareket ve ses algılama) işaretçi olarak kullanmakta, işaretçinin kamera tarafından alınan görüntüsünün analizi sonucunda belirlenen noktalara göre sanal veriler, grafikler veya 3D/2D nesnelere eklemektedir. AG alanında sunulan yazılımlar ve bu yazılımlarla geliştirilen uygulamalar incelendiğinde en çok görüntü tabanlı çalışmalara rastlanmaktadır [31].

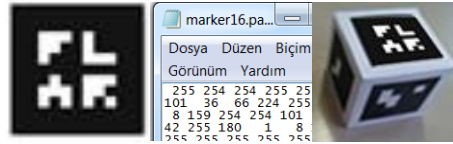
*İTAG Sistemler:* Bu sistemlerde, görüntülenmesi istenen nesne ile ilişkilendirilmiş bir işaretçinin sisteme önceden yüklenmesi/tanımlanması gerekmektedir. Bu veri, yoldaki veya kitaptaki bir görüntü (tanılama tabanlı) veya iki işaretçinin birbirleri arasındaki konumla ilişkili olabilir. Literatürdeki örnek İTAG çalışmasına, Wojciechowski ve Cellary (2013) [32] tarafından yapılmış kimya uygulaması örnek olarak verilebilir. Bu sistemlerin avantajları arasında; geliştirilme aşamasındaki kolaylıklar, birden fazla yazılım desteği, ek donanım ihtiyaçlarına (GPS, ivmeölçer, RFID, hızölçer) gerek duymaması ve geniş uygulama alanı gösterilebilir.

*İTOAG Sistemler:* İşaretsiz takip sistemi [33] olarak da ifade edilen bu sistemler, sisteme işaretçi verisi yerine ortamdaki bir nesnenin hareketi veya bir yüzeye AG yapısının yansıtılması (yansıtma tabanlı) şeklinde ifade edilebilir. Bahsi konu olan eylem bir el hareketi veya bir ses olabilir. Literatürdeki örnek İTOAG çalışmasına, Mirzaei, Ghorshi ve Mortazavi (2012) [34] tarafından duyma engelli kişilerin konuşmasını yazıya çevirebilen uygulama örnek olarak verilebilir. Bu sistemlerin en önemli avantajı modelin gösterileceği yerin sabit olmamasıdır [18]. Bu avantajından dolayı yol çizgisi (düz ve kesik çizgi, yaya çizgisi) [35] bu sistemler tarafından algılanabilir. Bu bağlamda yol çizgi tiplerine göre yol durumunu,

aracın olması gereken hızını, yola ait bilgileri gösteren ön cam ekranları [26] tasarlanmakta ve yakın zamanda hayatımızda daha fazla yer alacağı anlaşılmaktadır.

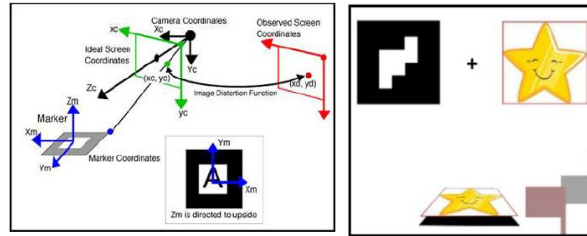
Taramada incelenen akademik düzeydeki çalışmalarda, eğitim, insan bilimi, doğal afet ve nükleer kazalardan korunma, sanat, fen bilimleri (matematik, fizik, kimya, biyoloji), mühendislik, trafik ve engelli uygulamalarının incelenmesine yer verilmektedir. Akademik alanda, akademisyenler tarafından İTAG teknolojisi, İTOAG ve KTAG teknolojisine göre daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Bu tercihin sebebi, İTAG'nin işaretçi izleme teknolojisini kullanmasından, bu teknolojisine üzerine yapılmış yayın sayısının fazlalığından, açık kaynak yazılımı olan ARToolKit ve türevlerinin İTAG yapısını kullanmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

ARToolKit aracı geliştiriciler tarafından en çok tercih edilen araç olması dolayısıyla bu kısımda örnek olarak İTAG uygulama araçlarından açık kaynak kod tabanlı ARToolKit aracının işaretçi yapısı açıklanmaya çalışılacaktır. Genellikle bu işaretçiler kameradan iyi bir görüntü almak için beyaz kenarlık ile çevrelenmiş siyah zemin içine beyaz desenlerle resmedilmektedir. Şekil 5'de gösterildiği gibi her işaretçi deseni, işaretçi üretim programlarıyla uzantısı pat olan dosyalarda 0-255 arasında değişen renk kodları ile saklanmaktadır. Daha sonraki gelişmeler bu işaretçileri renkli ve görsel hale getirmiştir. Günümüzde gerçek dünyadaki bir nesne (veya resim) işaretçi olarak kullanılabilir.

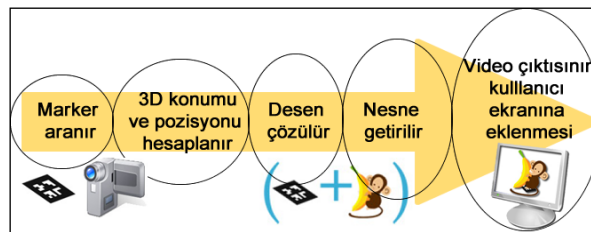


Şekil 5. ARToolKit işaretçi örnekleri (ARToolKit marker)

ARToolKit tipi işaretçiler kare biçiminde olmalıdır ve görüntüsünün yüzde 50'sinin sistem tarafından algılanması gerekmektedir. İşaretçi desenleri 16x16 veya 32x32 desenli olabilir. Desen boyutu işaretçinin tanımlanma süresi ile doğru orantılıdır. AG sistemleri saniyede 25 kare görüntü yakalarken görüntü 40 milisaniyede işaretçiye yüklenmektedir. Şekil 6'da kamera konum koordinatı ile işaretçi konum koordinatı arasındaki duruma göre değişen ekran (görüntü) koordinat durumu, Şekil 7'de ise işaretçi tanıma algoritması gösterilmiştir.



Şekil 6. İşaretçi ve kamera koordinat ilişkisi (Relation between marker and camera coordinates)



Şekil 7. İşaretçi tanıma algoritması (Marker processing algorithm)

İşaretçi tanıma algoritması üç adımla açıklanabilir. *Tanım*, gerçek dünya görüntüsünün (resim, obje, yüz veya vücut tanıma) kamera ile alınmasıdır. *Takip*, gerçek dünya üzerinde önceden belirlenmiş olan hedef noktaların bulunması ve takibidir. *Birleştirme*, takibi yapılan hedef üzerine bilgisayarda hazırlanmış olan materyallerin belli noktalarından bağlanması işlemidir.

İşaretçi üreten programlar ve çevrimiçi işaretçi üretme adresleri sırasıyla AR Pattern Marker Generator ve <http://flash.tarotaro.org/blog/2009/07/12/mgo2/> olarak verilebilir.

### 3. AKADEMİK ALANDA YAPILMIŞ ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK UYGULAMALARI (AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN ACADEMIC STUDIES)

Akademik alanda yapılmış çalışmalarda, çoğunlukla işaretçi izleme yönteminin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bunu işaretçi olmayan yöntem ve Open CV ile yapılmış hareket izleme yöntemleri takip etmektedir. İncelenen çalışmalarda çoğunlukla ARToolKit ve Vuforia yazılım geliştirme araçlarının kullanıldığı görülmektedir. Vuforia yazılım geliştirme kitinin mobil cihazlar üzerinde çalışabilmesi, basit 3D nesne oluşturabilmesi, bilgisayarla görme (eng: Computer Vision) teknolojisine sahip olması ve taşınabilir cihazların farklı işletim sistemi sürümlerine destek verebilmesi gibi özelliklerinden dolayı akademisyenler tarafından tercih edildiği düşünülmektedir. İnsan bilimi alanında incelenen çalışmada Open CV aracının çalışmaya AG özelliği katması için kullanıldığı anlaşılmaktadır. Open CV, çalışmanın herhangi bir işaretçi olmadan ortamdaki mevcut fiziksel nesnelerin takibini yüksek çözünürlüklü kamera ile yapabilen yazılımdır. Bu durum düşünüldüğünde herhangi bir işaretçinin sisteme tanıtılmaması akademisyenlerin uygulama aşamasındaki işlemlerini zorlaştırmaktadır. Gelecekte bu araç ile çalışacak akademisyenlerin yetenekli donanım seçmeleri ve yeterli yazılım bilgisine sahip olmalarının gerekeceği söylenebilir.

Bunlara ek olarak incelenen çalışmalarda, çalışma ile kullanıcı arasında etkileşim için farklı etkileşim yöntemlerinin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu etkileşimler; dokunmatik, fare/klavye, ek işaretçi ve el hareketleri şeklinde sıralanabilir. İncelemelerden, doğal afet ve nükleer kazalardan korunma başlığı altındaki çalışmada dokunma, insan bilimi başlığı altındaki çalışmada el hareketi, mühendislik başlığı altındaki çalışmada fare/klavye, eğitim başlığı altındaki sindirim ve dolaşım sistemi çalışmasında ek işaretçi ile etkileşimin sağlandığı görülmektedir. Çalışmaların oluşturulmasında kullanılan cihaz ve araca göre etkileşim yönteminin değiştiği söylenebilir. Masaüstü ve kişisel bilgisayar kullanımında fare/klavye kullanımı ön plana çıkarken, taşınabilir bilgisayarlarda dokunma ile bu etkileşimin sağlandığı görülmektedir. Araştırmacılara çalışma planlarında; kullanılacak AG aracı, 3D motoru, yazılım dili ve AG türü ile birlikte seçilecek cihaza da yer vermeleri gerektiği söylenebilir.

Akademik alanda yapılmış artırılmış gerçeklik uygulama alanının çok geniş olması sebebiyle bu çalışmada eğitim, insan bilimi, doğal afet ve nükleer kazalardan korunma, sanat, fen bilimleri, mühendislik, engelliler ve trafik gibi alanlar tercih edilmiş, bu alanlara örnek olabilecek birer akademik yayın incelenmeye çalışılmıştır.

#### 3.1. Eğitim (Education)

AG teknolojisi kullanılarak gelişmeler sağlanan akademik çalışmaların başında eğitim uygulamaları yer almaktadır. Bu uygulamalar ilköğretimden üniversiteye kadarki tüm seviyelerde eğitim materyali olarak kullanılabilir. Üniversitelerin mühendislik ve tıp fakülteleri bu teknolojinin kullanım alanlarına en güzel örneklerdir. Mesela; mekanik bir sistemin tasarımı bir mühendislik dersinde, insan vücudunun bir organının tanıtımı bir tıp fakültesi dersinde geliştirilen uygulama ile anlatılabilir [36].

Eğitim alanında geliştirilen uygulamalardan bazıları burada kısaca değerlendirilecektir. İbili ve Şahin (2013) [37] tarafından ortaöğretim öğrencilerine yönelik yapılan bir çalışmada Geometri kitabında iki boyutlu olarak gösterilen şekillerin masaüstü bilgisayarlarda dijital üç boyutlu şekiller olarak görüntülenmesi amaçlanmıştır. Şekil 8'de uygulamanın örnek bir ekran görüntüsü yer almaktadır. Uygulama yazılımında Visual Studio 2012, Microsoft Silverlight yazılım geliştirme düzlemi ve SLARToolKit kütüphanesi, 3D görüntülerde Balder ve 3DS Max programı kullanılmıştır. 3D nesnelerin görüntülenmesi için yüzeyleri işaretçi tanımlı küp kullanılmıştır. Kullanılan işlem adımları: geometri kitabında işlem yapılacak sayfa açılır, programdan sayfa numarası seçilir, sayfa numarasına göre sisteme yüklenen üç boyutlu geometrik şekiller kamera tarafından görüntülenene küp üzerine eşzamanlı olarak gösterilir. Bu uygulama çalışmasında 6.sınıf matematik ders kitabındaki geometrik cisimler temel alınmıştır. Uygulama iki farklı okulda, 6. sınıf öğrencilerinden oluşan 25'er kişilik toplam 4 sınıf (100 öğrenci) üzerinde yapılmıştır. Dört hafta süren uygulamanın haftalık iki ders saati sınıf ortamında tek



bilgisayar ve projeksiyon aracılığı ile diğer iki saati ise bilgisayar laboratuvar ortamında olacak şekilde ayarlandığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda AG yazılımlarında kullanılan işaretçilerin kitap üzerindeki dâhili ve harici kullanımları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Dâhili uygulamanın kullanımı zorlaştırdığı, çalışmanın amacına uygunluğu, sayfa içerisindeki işaretçi sayısının oldukça önem teşkil ettiği, işaretçi kullanırken ışık kaynaklı pozlama (aydınlık veya karanlık) esnasında bazı sıkıntıların olduğu, bunların doğru işaretçi seçimi ile giderilebileceği, öğrencilerin bilişsel ve duyuşsal öğrenmelerine katkı sağladığı belirtilmiştir. Bir geometri kitabı için AG özelliğine sahip bir programın yapıldığı bu önemli çalışma değerlendirildiğinde öğrencilerin üç boyutlu olarak gördükleri geometrik şekillerin boyutlarının son kullanıcı tarafından değiştirilememesi, örnek video ile desteklenmemesi, üç boyutlu şekil üzerine not yazılamaması ve son kullanıcı ile etkileşime girememesi bu çalışmanın güçlendirilmesi gereken kısımları olarak görülmektedir.



**Şekil 8.** Eğitimde AG uygulama örneği (Example of AR application in education)

Abdüsselam ve Karal (2012) [31], 11. sınıf öğrencilerinin fizik dersindeki akademik başarılarını AG teknolojisini kullanarak ölçmeye çalışmışlardır. “Manyetizma” ünitesi iki hafta süre boyunca toplam 3 deney grubuna (69 öğrenci) konu olarak belirlenmiştir. Manyetizma uygulamaları için gruplar oluşturulmuştur. Uygulama G grubuyla sınıf ortamında, L grubu ile fizik laboratuvarında, AG grubu ile de artırılmış gerçeklik ortamı için geliştirilen cihazla gerçekleştirilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrası “Manyetizma” ünitesi için hazırlanan ve öğrencinin öğrenme seviyesini bulmaya yönelik bazı testler (başarı testi, ön test ve son test) bu gruplara uygulanmıştır. Uygulama sonunda AG teknolojisinin kullanımının öğrencinin etkinliğe katılmasını cesaretlendirdiği, gönüllülüğü arttırdığı, diğer ortamlara göre öğrencilerin meraklarını uyandırdığı belirtilmiştir. Uygulamada kullanılan Arduino açık kaynak kodlu bir mikro denetleyici kartıdır, üzerine işaretçi etiketi yapıştırılır ve bilgisayara bağlanır. Arduino kartına yaklaştırılan mıknatısın yönüne göre ekrandaki manyetik şekil konum ve yön değiştirmektedir. Şekil 9’da gösterildiği gibi Arduino kartından alınan değerler de ekranın üst kısmından bilgilendirme amaçlı gösterilmektedir. Ekranda manyetik şekiller öğrencilere iki mıknatıs arasındaki manyetizma etkisi hakkında bilgi vermeye amaçlanmaktadır. Araştırma sonunda deney grubunun lehine sonuçların elde edildiği, artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrencileri olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Öğrencileri fiziği anlamada, olayları kavramada, soyutu somuta dönüştürmede AG ortamlarının bir avantaj olduğu sonucuna ulaşıldığı açıklanmıştır.



**Şekil 9.** Eğitimde AG uygulama örneği (Example of AR application in education)

Pérez-López ve Contero (2013) [38] tarafından AG ortamı ile sindirim ve dolaşım sistemlerinin tanıtılması amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Uygulama ekranında görüntülenen butonlar tıklanarak dijital olarak oluşturulmuş organın 3D görüntüsü işaretçi üzerinde görüntülenmektedir. 3D görüntüler üzerinde şeffaf ve yakınlaştırma işlemi yapılabilmekte, seçilen nesneye göre ekranın alt kısmından açıklayıcı metinler gösterilmektedir. Şekil 10’da ekran görüntüsü verilen sistemin oluşturulmasında Conitec Gamestudio Pro A7 programı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda öğrenciler tarafından alınan bilgilerde; AG teknolojisinin kullanımının öğrenme süreçlerini kısalttığı, motivasyonu arttırdığı, memnuniyet derecesini yükseldiği, konunun daha iyi anlaşıldığı sonuçlarına ulaşıldığı belirtilmiştir. Çalışmada video görüntüsü, nesne üzerine

işaretlemeler, farklı örnek resim gösterme gibi zenginleştirici nesnelerin olmadığı görülmektedir. Bu yapıların sisteme eklenmesi ve yüklenilecek 3D nesnelerin dinamik hale getirilmesi uygulama ortamını genişleterek daha etkin bir AG uygulaması oluşturulmasını sağlayacaktır.



**Şekil 10.** Eğitimde AG uygulama örneği (Example of AR application in education)

Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., ve Kloos, C. D. (2012) [39] tarafından İspanya’da bulunan bir ortaokulda zorunlu olarak öğretilen görsel sanatlar dersinin üç bölümünde iki oturumlu bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada İtalyan Rönesans Sanatı iki oturumda da konu olarak alınmıştır. Birinci oturumda sunulacak 4 farklı eserlerin anlatımı için klasik yöntem (sunu ve açıklama), uygulama ortamı olarak küçük ve ışıkları kapalı bir oda tercih edilmiştir. İkinci oturum, okul öğretmenleri tarafından artırılmış gerçeklik teknolojisine (metin, ses, video ve 3D model) sahip 4 farklı eserle, kamera bağlantılı masaüstü bilgisayarlar ile donatılmış bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 11’de ikinci oturumda kullanılan 4 örnek eserin görüntüsü verilmiştir. Çalışma sonucunda iki oturumun kıyaslaması yapılmış ve artırılmış gerçeklik uygulaması olan ikinci oturumun öğrencilerin dikkatini çekmede teknik üstünlükleri olduğu, öğrencilerin anlatım materyalleri ile etkileşime girebilmesinden dolayı ilgiyi canlı tuttuğu ve öğrenci motivasyonunu arttırdığı gözlenmiştir.

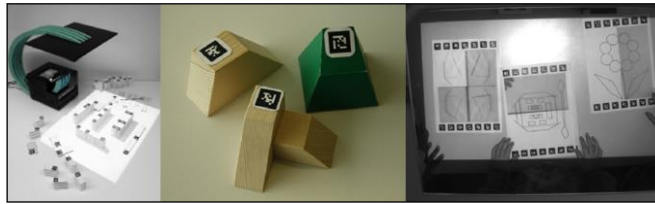


**Şekil 11.** AG örnekleri (AR examples)

H. K. Wu, S. W. Lee, H.Y. Chang ve J.C. Liang (2013) [40] tarafından yapılan çalışma, önceden yapılmış eğitim alanında kullanılan AG teknolojisine sahip uygulamaların eğitim açısından incelemesini temel almıştır. Çalışma içerisinde AG teknolojisinin tanımlanması, bu alanda yapılmış farklı uygulama çeşitliliği, çalışmaların maliyeti ve öğretim yaklaşımları üzerine açıklamalara da yer verilmiştir. Çalışmada, AG teknolojisine belirli bir alandan ziyade eğitimciler, araştırmacılar ve tasarımcılar için daha üretken ve belirli fırsatlara sahip bir teknoloji olduğu belirtilmiş ve bu fırsatlar beş maddede açıklanmıştır. Bunlar; (i) 3D perspektif ile öğrenme, (ii) her yerde, işbirlikçi öğrenme, (iii) öğrencilerin hisleriyle ve duyularıyla öğrenme, (iv) gösterilemeyen işlemleri ve nesnelere görselleştirme ve (v) resmi ve gayri resmi öğrenme arasındaki ilişki şeklinde sıralanmıştır. Çalışmadaki bulgulara bakıldığında; AG teknolojisine grup çalışmasına uygun olduğu, 3D görüntülemenin 2D’ye göre avantaj sağladığı, eğitici-öğrenci, öğrenci-öğrenci arasındaki ilişkiyi canlı tuttuğu, zamandan ve mekândan bağımsız öğretim imkânı sağladığı ve gözde canlandırılmayan işlemlerin anlaşılmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Çalışma içinde bahsedilmiş avantajlarının yanında, AG teknolojinin pedagojik, teknolojik ve öğrenme gibi bazı zorluklarının (sınırlılıkların) bulunduğu belirtilmiş ve bunlara olası çözümler sunulmuştur.

S. Cuendet, Q.Bonnard, S. Do-Lenh ve P. Dillenbourg (2013) [41] tarafından sınıf ortamında kullanıma imkân verecek TinkerLamp, Tapacarp ve Kaleidoscope olarak isimlendirilen üç AG donanım sistemi tasarlanmıştır. Bu donanımların görselleri Şekil 12’de verilmiştir. Bu üç sistemin isimleri birbirinden farklı olsa da kullandıkları donanım yapısının aynı olduğu ifade edilmiştir. Bu sistemlerden TinkerLamp; ortaokul öğrencileri için geliştirilen, masaüstü lambası tasarımına sahip, tepe noktasında kamera bulunan ve aldığı görüntüleri projeksiyon cihazına ileten, üzerindeki tutma noktaları sayesinde kolayca bulunduğu noktadan başka bir noktaya hareket ettirilebilen bir sistem olduğu belirtilmiştir. Tapacarp; TinkerLamp cihazı ile aynı

tasarım yapısında olmasına karşın kullanıcıların çıraklık eğitimi içinde yer alan yaşları 15 ile 20 arasında değişen öğrenciler olduğu belirtilmiştir. Bu teknoloji cihazı ağırlıklı olarak çizim derslerindeki 2 boyutlu (2D) görüntülerin 3 boyutlu (3D) görüntüler şeklinde gösterilmesi için tasarlanmıştır. Kaleidoscope, TinkerLamp ve Tapacarp'ın aksine ilkököl öğrencilerine geometriyi öğretmek için tasarlanmıştır. Kaleidoscope ile işlem yapabilmek için materyal olarak kâğıt kullanılması gerektiği belirtilmiş, bunun sebebi olarak kâğıdın katlanabilme, kesilebilme ve şekil alabilme özelliği gösterilmiştir. Çalışmadaki bu 3 cihaz için belirlenen kullanıcı grupları şu şekildedir; TinkerLamp için 8 öğretmen ve 350 den fazla öğrenci, Tapacarp için 24 çırak öğrenci ve Kaleidoscope için 3 ana okul ve 20 den fazla sınıf. Çalışma sonucunda 3 farklı donanım sistemi için entegrasyon, farkındalık, güçlendirme, esneklik ve sadelik olarak 5 farklı tasarım prensibinin belirlendiği, bu prensipler kullanarak öğrenmeyi destekleyen bir sistemin sınıf içindeki öğrenme etkinliğini arttıracığı ifade edilmiştir.



**Şekil 12.** TinkerLamp, Tapacarp, Kaleidoscope

Eğitim alanında yapılmış AG çalışmalarıyla ilişkili seçilen diğer örnekler ve bunların AG işaretçi türleri Tablo 3'de verilmiştir.

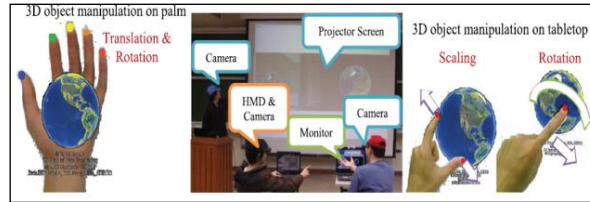
**Tablo 3.** Eğitim alanında yapılmış örnek AG çalışmaları (Examples of AR studies in the field of education)

Gerçek Nesne	AG Uygulaması
Kare işaretçi	İphone ile artırılmış gerçekliğin eğitimde kullanılması ve cismin mesafeye göre boyutundaki değişimi [16]
Google glass gözlüğü(HDM)	Eğitimde AG uygulamaları: Google Glass gözlük teknolojisi hakkında bilgi verilmesi ve eğitim çalışmalarının incelenmesi [12]
Yok (İnceleme)	Eğitim ortamlarında artırılmış gerçeklik uygulamalarına örnekler verilmesi ve eğitime katkısından bahsedilmesi [45]
Kare işaretçi, Gözlük(HDM)	Başlığa takılan kamera ve görüntüleme gözlüğü kullanarak geometrik nesnelerin çizimi ve hareket işlemleri eğitimi [42]
Kare işaretçi	İlkokul öğrencilerine işaretçi kullanımı ile kelime öğretimi [43]
Kare işaretçi ve Gözlük(HDM)	MagicBook isimli deftere kamera ile bakıldığında 3D görüntülerin oluşturulması [44]

### 3.2. İnsan Bilimi (Human Science)

Mau-Tsuen Yang ve Wan-Che Liao (2014) [46] VECAR (Virtual English Classroom AR) isimli dil ve kültür alanında uygulamalar yapılabilen bir öneri çalışması sunmuşlardır. Şekil 13' de örnek uygulaması gösterilen VECAR, işaretçi kullanmayan el hareketlerinin bilgisayar tarafından algılanmasını sağlayan Open CV algoritması ve AG teknolojisini içermektedir. Serbest el işaretinin durumu ve hareketine göre sanal üç boyutlu nesnenin görüntüleme, dönme ve yer değiştirme işlemlerini yapmaktadır. Sistemin algılayıp işlem yapabilmesini sağlayan üç farklı el hareketi tanımlanmıştır. Elin açılıp kapanması nesnenin görüntülenmesini, iki parmak ucunun birbirine yaklaştırıp uzaklaştırma nesnenin boyutunu değiştirmesini, tek parmak hareketi nesnenin merkezinin değişmesini sağlamaktadır. Çalışma 22 ile 26 yaş aralığındaki öğrencilere uygulanmıştır. Çalışma sonucunda uygulamanın; öğrencilerin dil ve kültür öğrenimindeki

sürecin kısaltılmasına ve öğrencilerin farklı kültürler arasında kıyaslamalar yapabilmesine, öğretmen ve öğrenci arasındaki iletişimin artmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın monitör, projeksiyon, kamera ve kameralı gözlük üzerinde çalışabilir olması sistemin güçlü yönleridir. Sınırlı sayıda el hareketinin tanımlı olduğu görülmektedir. Open CV ve AG aynı anda çalıştığından bazı durumlarda hareketin algılanmasında problem oluşturduğu belirtilmiştir.



Şekil 13. VECAR

### 3.3. Doğal Afet ve Nükleer Kazalardan Korunma (Protection from Natural Disasters and Nuclear Accidents)

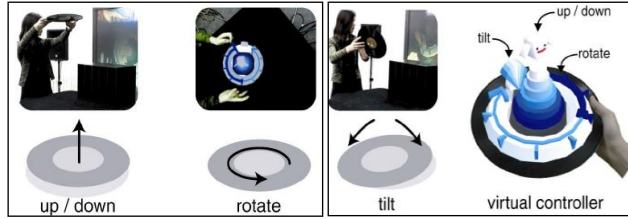
Tsai, Liu ve Yau (2013) [30] tarafından lokasyon tabanlı işaretçi kullanan bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama Tayvan'da içinde sığınakların bulunduğu insandan arındırılmış bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı herhangi bir doğal afet, deprem, terör saldırısı veya nükleer kaza gibi durumlarda kullanıcının akıllı telefonuna yüklenmiş uygulama ile en kısa zamanda en yakın sığınağı bulması ve o noktaya yönlendirilmesi olarak açıklanmaktadır. Akıllı telefon ekranında sığınakların isimleri, yönleri, enlemi, boylamı, mesafesi ve o anda o sığınakta kaç kişinin olduğu ve kalan kontenjan sayıları gösterildiği belirtilmiştir. Uygulama E-Maps ve AR-Based özelliğine sahiptir. Şekil 14'de örnek bir uygulama görüntüsü gösterilmiştir. Bu uygulamayı kullanabilmek için akıllı bir telefon ve internet bağlantılı GPS gerekmektedir. Uygulama aşamasında 26 yaşlarında 4 erkek ve 2 bayan seçilmiştir. Bireyler 2 erkek 1 bayandan oluşan iki gruba ayrılmıştır. Uygulama aşamasında A grubunun E-Maps, B grubunun AG tabanlı bir kılavuz kullandığı, B grubunun A grubuna göre daha kısa zamanda sığınağa ulaşabildiği belirtilmiştir. Telefonun GPS bağlantısının kesilmesi veya GPS vericilerinin herhangi bir kazada zarar görmesi sistemin çalışmasına engel olacaktır.



Şekil 14. AR-Based görüntüsü (AR-Based image)

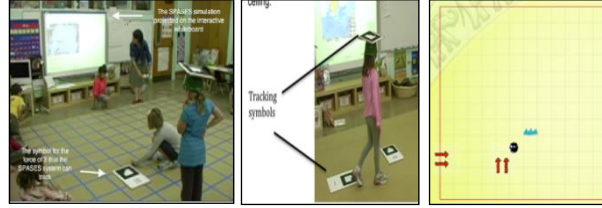
### 3.4. Sanat (Art)

Poupyrev, Berry ve vd. (2001) [47] tarafından geleneksel müzik aletlerinin yerine Augmented Groove olarak adlandırılan işaretçi ile kontrol edilebilen bir müzik sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem işaretçi üzerinde 3D sanal görüntü oluşturmakta, işaretçinin fiziksel konumuna ve hareketine göre ekranda anlık görüntü değişimleri sistem tarafından algılanmaktadır. O andaki harekete tanımlı ses dizileri (tımı, yankı, ses yükselmesi alçalması, çalgı aleti sesi) eklenerek müzik fonu oluşturulmaktadır. Sistem birden fazla kullanıcıyı desteklemekte, işaretçi ile yukarı-aşağı, eğme ve çevirme hareketi yapıldığında bu hareketlere karşılık gelecek, daha önce veri tabanına tanımlanmış ses dizileri çalıştırılmaktadır. İşlem sırasında kontrol ve ses değişimleri grafiksel olarak ekranda görüntülenmekte ve kayıt altına alınabilmektedir. Böylece geleneksel müzik çalgı aleti olmadan sadece kendilerine verilen kartlar sayesinde müzik oluşturulabileceği belirtilmektedir. Uygulamaya ait örnek bir ekran görüntüsü Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. Augmented Groove uygulaması (Augmented Groove application)

### 3.5. Fen Bilimleri-Matematik, Fizik, Kimya, Biyoloji (Science-Math, Physics, Chemistry, Biology)



Şekil 16. Çoklu işaretçi, Eğlenerek öğrenme (Multimarker, Learning by Having Fun)

N. Enyedy, vd. (2012) [48] artırılmış gerçeklik ve hareket yakalama teknolojisini içeren LPP (The Learning Physics Through Play Project) programı ve bu programın fizik dersinde uygulamasını yapmışlardır. Şekil 16'da görüldüğü gibi çalışmanın temelini artırılmış gerçeklik ve hareket yakalama teknolojileri oluşturmaktadır. LPP programı tasarlanırken üç temel prensibin göz önünde tutulduğu belirtilmiştir. Bunların; “oyun ve katılımcı müdahale”, ”zengin ortam sağlama”, “faaliyet döngüsü” olduğu ifade edilmektedir. Uygulama sınıf ortamında 6-8 yaş arasındaki 43 öğrenci üzerinde yapılmış, işlem olarak fizik dersindeki Newton'un kuvvet ve hareket konusu ele alınmıştır. Uygulamaya hareketlerin kolay yakalanabilmesi için sınıf tavanına projeksiyon cihazı, öğrencilerin eşzamanlı yaptıkları hareketi 3D görüntülerle görebilecekleri AG video görüntü ekranı, yapılan işlemleri sanal olarak gösteren projeksiyon perdesi üçlemesinden oluşmaktadır. Uygulama süresinde öğrenciler işaretçileri ellerinde taşımaktadırlar veya üzerlerine tutturarak hareket ettirmektedirler. Taşınan işaretçi kamera tarafından yakalanarak görüntüsü AG teknolojisi tarafından uygun dijital 3D görüntüsü ile birleştirilip video görüntü ekranına ve projeksiyon ekranına yansıtılmaktadır. Öğrenciler bu işlem sırasında projeksiyon ekranından kendi durumlarını izleyebilmekte ve yapılan hareket sonucunu eş zamanlı görebilmektedirler. Aynı zamanda uygulamada yer alan öğrenciler 2 nesnenin birbirleriyle olan etkileşiminin sonucunu yaşayarak deneyimlemektedirler. Uygulamada genellikle Newton'un “güç ve hareket”, “güç ve hız”, “sürtünme” ve “iki boyutlu kuvvet” konularının işlendiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda AG teknolojisi ve eğlenerek öğrenme kavramlarının bir arada kullanılmasının öğrenmede etkili bir yöntem olduğu ifade edilmektedir. Ancak uygulama aşamasında yer alan öğrencilerin hareketleri gerçekleştirirken zorlandıkları ve ekran görüntülerini anlamakta zorlandıkları belirtilmektedir.

### 3.6. Mühendislik (Engineering)

D. Parmar, vd. (2015) [49] tarafından mühendislik bölümlerinde okuyan öğrencilerin grafik teknik bilgisini arttırmaya yönelik bir uygulama yazılmıştır. Bu uygulama tüm Android tabanlı mobil araçlarda ve masaüstü bilgisayarların tüm işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Bu uygulama için AR-Book isimli artırılmış gerçeklik kitabı basılmış ve her bir sayfasına farklı desenli işaretçiler eklenmiştir. Bu işaretçiler AR-Book uygulaması için sayfa numarası görevini görmektedir. Ayrıca 3D dijital görüntünün gösterilmesi için taşınabilir bir görüntüleme işaretçisi kullanılmaktadır. Uygulama aşamaları; kameranın görüş açısına AR-Book kitabı ve kitabın hemen yanına dijital 3D görüntünün yükleneceği görüntü işaretçisi bırakılır. Daha sonra AR-Book kitabının işlenecek sayfası açılır, kitap içindeki işaretçi sistem tarafından algılanır ve veri tabanından görüntülenecek dijital 3D nesnesi çağrılır, çağrılan dijital 3D nesne görüntü işaretçisi üzerine yüklenir ve görüntüleme işaretçiyi gördüğü sürece devam eder. Kitabın sayfaları değiştikçe görüntü işaretçideki dijital 3D nesnesi değişir. Şekil 17'de görüleceği gibi görüntü işaretçisinin kullanıcı tarafından

döndürülmesi nesnenin tüm açılardan görülmesine imkân vermektedir. Çalışmanın sonucunda; teknik resim gibi derslerde nesnelerin ön, yan ve üst görüntülerinin 2 boyutlu olarak resmedilmesinin, nesnenin öğrenci tarafından tam anlamıyla algılanmasını zorlaştırdığı belirtilmektedir. Bu yazılım programı sayesinde ekranda 2D nesnenin dijital 3D nesne olarak tüm açılardan görüntülenmesinin mühendislik alanındaki öğrencilerin teknik resim bilgisini geliştirdiği ve nesnenin tam olarak anlaşılmasını sağlayacağı belirtilmektedir. Bu çalışmada, kullanıcının 3D grafikler üzerinde fare ile işaretlemeler yapmasına sistemin izin vermemesi eksiklik olarak görülebilir.



*Şekil 17. Çoklu işaretçi - Eğlenerek öğrenme (Multimarker, Learning by Having Fun)*

### 3.7. Engelliler (Disabled People)

N. M. N. Zainuddin, vd. (2010) [50] tarafından duyma engelli öğrencilerin kullanımına yönelik bir AG uygulama çalışması yapılmıştır. Yazarlar bu çalışmanın duyma engelli öğrenciler için ileride yapılacak AG uygulamalarına referans oluşturacağı kanaatindedirler. AR-Book ismini verdikleri bu uygulamanın (duyma engelli öğrencilerin normal derslerinde şekilsel ve işaret dili metodu kullanmalarından dolayı) tasarım felsefesi olarak görsel odaklı bir yapıya sahip olduğu belirtilmektedir. AR-Book uygulamasının çalışması için işaretçi kullanılması gerekmektedir. Uygulama aşamasına geçilmeden önce “3D Model Marker” ve “İşaret Dili Marker” olmak üzere iki işaretçi tanımlanmıştır. Kullanıcı olarak 12 yaşlarında 3 duyma engelli öğrenci, ders olarak 5. sınıf fen bilgisi dersi, uygulama konusu olarak mikroskop seçildiği belirtilmiştir. AR-Book 1, AR-Book 2 ve AR-Book 3 isimli üç kitapçık hazırlanmıştır. Artırılmış gerçeklik kısmında İngilizce metinler, işaret dili videosu ve dijital 3D görüntü kullanıldığı belirtilmektedir. Uygulama sonucunda işaretçi ile gösterilen dijital 3D görüntülemenin kullanıldığı işaretçi uygulamasının rakiplerine göre daha başarılı bir eğitim ortamı sunduğu ifade edilmiştir. Bu uygulamaya ait ekran görüntüsü Şekil 18’de verilmiştir.



*Şekil 18. Çoklu işaretçi- Eğlenerek öğrenme (Multimarker, Learning by Having Fun)*

### 3.8. Trafik (Traffic)

M. Zhang (2016) [51] tarafından araçların ve yayaların trafik tıkanıklığını gidermek ve trafik akışının kontrolü için artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanan gerçek zamanlı trafik akış tahmin uygulaması yapılmıştır. Çalışmada trafik tıkanıklığına neden olarak araç miktarının artması, yolun araç kapasitesi ve kavşak sayısı olarak sıralanmıştır. Çalışma önceden yapılmış trafik tıkanıklığını gidermek ve trafik akışını yönetmek için farklı yaklaşım yöntemlerinin mevcut olduğundan bahsetmekte ve bu yöntemleri veri tabanlı yöntemler (Data-driven Methods) ve model tabanlı yöntemler (Model-driven methods) olarak sınıflandırmaktadır. Trafik akış kararına, Veri tabanlı yöntemlerin karma (kaotik) verilerden sonuç üreterek ulaşıldığı, Model tabanlı yöntemlerde ise o andaki duruma en uygun modelin sistem tarafından tercih edilip kullanılması ile ulaşıldığı belirtilmektedir. Bu mevcut yöntemlerin “Big data” temeline dayandığı için işlenemeyecek kadar çok veriye sahip oldukları (veri patlaması), bu verilerin çalışma performansını ve

doğruluğunu etkileyen sonuçlar çıkardığı belirtilmektedir. Bu sebeplerden dolayı mevcut yöntemlerin gerçek dünya talebini karşılayamadığından bahsedilmekte, sadece geçmiş tarihli veri kümelerine dayanan tahminlerle karşılaştırıldığında gerçek zamanlı yöntemlerin daha etkili ve verimli sonuçlara ulaşılacağı açıklanmaktadır. Gerçek zamanlı yöntemlerin en önemli avantajının o andaki araçların ve yayaların yoğunluğunu dikkate alarak gerekli algoritma/metot geliştirmesi olduğu belirtilmektedir. Çalışmada verilen örnek uygulama için sanal ile gerçeği sorunsuz bir şekilde birleştirme yeteneğine sahip Unity 3D oyun motoru kullanılmıştır. Çalışma öncesi Unity 3D’de sistemde kullanılacak temel nesnelerin modellenmesi (yol, ağaç, bina, bulut) ve yapılan modellerin görevlerini belirten komut dosyalarının (Scripts) modellere yüklenmesi gibi hazırlıklar yapılmıştır. Şekil 19’da görüleceği gibi uygulama ekranına sistemde kayıtlı zaman ve hava değerlerinin değişimini sağlayan butonlar eklenmiştir. Kullanıcının bu butonlara tıklaması durumunda sistemdeki mevcut zaman ve hava değerlerinin değişeceği, yolda hareket halinde olan arabaların hızlarının ve birbirleri arasındaki mesafelerinin etkileneceği belirtilmiştir.



**Şekil 19.** Trafik AG uygulama görüntüsü (Traffic AR application image)

Akademik düzeydeki diğer örnek AG çalışmaları Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Akademik düzeydeki diğer örnek AG çalışmaları (Other example AR studies at the academic level)

Gerçek Nesne	AG Uygulaması
Lokasyon tabanlı resim işleme	Veri tabanında kayıtlı resimler ile görüntüden alınan resimleri karşılaştırıp çağırma özelliğine sahip konum AG algoritması [52]
Şapka, kamera, navigasyon ve sensör	Turistlerin herhangi bir rehberle ihtiyaç duymadan gittikleri mekân bilgilerini taktıkları kasket üzerindeki kamera ile algılayıp ekrana daha önce kayıtlı yazı, resim ve 3D bilgilerinin gösterilmesi [53]
İki manyetik mıknatıs ve tepe kamera	Mıknatısların birbirleriyle olan konumuna göre meydana gelen manyetik alan değişimlerini AG ile gözlemlenmesini sağlama [54]
Kare işaretçi ve gözlük (HDM)	Multimedia Augmented Reality Interface for E-learning (MARIE). MagicBook benzeri bir kitapçık oluşturulur. Kafaya(Şapka) takılı kamera ile kitaptan işaretçi görüntüsü alınır. Kullanıcının sanal nesnelere etkileşimi sağlar [55]
Gerçek resim işaretçi, şapka ve gözlük (HDM)	Konum tabanlı navigasyon ve açık alan artırılmış gerçeklik sistemini kullanarak yaya yollarındaki önemli nokta bilgilerinin GPS ve işaretçi bilgisi ile alınıp, kullanıcıya bölgenin panoramik resim ve konum bilgilerinin AG teknolojisi ile beraber sunulması [56]

#### 4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİNİN SEKTÖRDEKİ UYGULAMALARI (AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN INDUSTRY)

Bu kısımda, sektörde yapılmış AG uygulama alanlarından turizm, spor, oyun, pazarlama, eğlence, eğitim, trafik ve otomotiv alanları belirlenmiş, her bir alana birden fazla uygulama örnekleri verilerek ayrıntılı açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 4.1. Trafik ve Otomotiv Uygulamaları (Traffic and Automotive Applications)

Otomotiv alanı, AG teknolojisinin en dikkat çeken uygulama alanlarından birisi olarak kabul edilmektedir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, üretimde; aracın tasarımı [57], bakımı [58], montajı [59] ve çarpışma testleri [60], trafikte; trafik levhası ve ışıklarının algılanması [61], yol ve yaya çizgilerinin izlenmesi, sürüş anında; ön ve yan araç takibi, otoparkta; araç konum bilgisinin gösterilmesi gibi birçok teknolojide çalışmaların geliştirildiği belirlenmiştir. Bu alanda geliştirilen sistemlerinin endüstri içindeki kullanım oranının çok fazla olmadığı görülmüştür. Bu durumun nedeni, AG sisteminin temelini oluşturan görüntünün doğru ve net elde edilememesi, eklenen görsellerin sürücü üzerindeki olumsuz konsantrasyon etkisi ve sistemin hatalı sonuç üretme ihtimali gibi durumlardan kaynaklı olduğu söylenebilir. Araç kullanıcıları için üretilen, kullanıcılara yüksek renk, parlaklık ve kontrast seviyesi sağlayan, polarizasyon gerektirmeyen DLP (Digital Light Processing) görüntüleme sistemine sahip Head-Up ekran çözümleyicilerin otomotiv alanında kullanılan en önemli AG cihazı olduğu görülmektedir. Bu cihazların yetenekleri arasında, önünde seyreden bir aracın mesafesinin hesaplanması ve yol çizgisine göre uyulması gereken hız değerinin sürücüye anlık olarak iletilmesi gösterilebilir. Tarama sonucunda, bu bilgilerin ortamdaki alınması ve işlenmesi Open CV [62] ve Emgu CV [63] gibi görüntü işleme kütüphaneleri ile sağlandığı, çoğunlukla anahat ve hareket tabanlı izleme yöntemlerinin tercih edildiği belirlenmiştir. Şekil 20’de verilen resimlerden soldaki Head-Up, sağdaki bakım ve onarım teknolojinin kullanıldığı örnek uygulama görüntüsüdür.



Şekil 20. Head-Up

#### 4.2. Turizm Uygulamaları (Tourism Applications)

Seyahat acenteleri ve firmaları, insanlara kendi yaşadığı bölgelerin dışındaki mekânları göstermek, farklı kültürel mirasları tanıtmak için daima yeni teknolojilere ilgi duymuştur. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu alandaki çalışmaların, önemli binaların ve tarihi mekânların tanıtımı, gerçek zamanlı yol tarifi işlemlerini kolaylaştıracak, basit ve etkili hale getirecek teknolojik gelişmeler üzerine yapıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca taramada, uygulamaların genellikle IOS tabanlı mobil cihazlar üzerine yapıldığı, eğlence sektörü üzerine çalışan Urban Interactive tarafından geliştirilen Urban Sleuth [64], Thumbspark Limited tarafından geliştirilen StreetMuseum [65], Basel AR Tourist Guide, Tuscany+, Metro AR Pro, Google Search Up isimli yurtdışı kaynaklı uygulamaların bu alanda yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu açıklamalara ek olarak; alanda yapılan ilk AG çalışmasının Tuscany+ olduğu [66], uygulamalarda çoğunlukla konum tabanlı AG teknolojisinin tercih edildiği belirlenmiştir. Konum uygulamalarının GPS, pusula ve hız ölçüm modüllerini kullanarak konumu belirlediği, verilerin daha sonra konumu belirlenen nesne üzerine kamera aracılığı ile konum tarayıcılarına aktardığı [26] belirlenmiştir. Şekil 21’de verilen resimlerden soldaki yerleşim merkezi, sağdaki arkeoloji alanında kullanılmış konum ve tanımlama tabanlı izleme yönteminin uygulama görüntüsünü yansıtmaktadır.





Şekil 21. Turist uygulaması (Tourism application)

#### 4.3. Spor Uygulamaları (Sport Applications)

AG teknolojisinin en etkin kullanıldığı alanların başında spor uygulamaları gelmektedir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiş ve ağırlıklı olarak kriket, futbol, tenis, beyzbol gibi farklı branşlarda kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu alanda en çok bilinen AG teknolojisinin oyunda kullanılan topun gittiği yolu izlemek için geliştirilmiş Hawk-Eye [67] teknolojisi olduğu söylenebilir. AG teknolojisinin bu alanda, sporcuların yetenek ve performanslarını iyileştirmek, eğitimlerini kolaylaştırmak, profesyonel sporculara gerçekçi bir ortam sağlamak [68], farkındalıklarını arttırmak ve eğlenerek zaman geçirmelerini imkân vermek amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Taramada incelenen çalışmaların büyük bir bölümünde nesne takip ve tanıma teknolojisinin kullandığı saptanmıştır. Şekil 22, televizyon da yelken sporunu [2] seyreden izleyicilere açıklayıcı bilgi vermek amacıyla kullanılmış örnek bir AG teknolojisini kullanan uygulama görüntüsünü yansıtmaktadır.



Şekil 22. Sport uygulaması (Sport application)

#### 4.4. Oyun Uygulamaları (Games Applications)

Piekarski ve ark. (1999) [69], ARToolkit tabanlı askeri bir simülasyon oyunu yapmışlardır. Thomas ve arkadaşları (2000) [70] ise, gerçek bir çevrede mobil bir cihaz ekranında sanal düşmanları vurdukları ARQuake [71] oyununu daha gerçekçi bir oyun uygulaması olarak karşımıza çıkarmışlardır [2]. Bu alanda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, giyilebilir teknolojilerin (wearable technology) ve başa monte edilebilen görüntüleme cihazlarının (Head-Up) etkin bir şekilde uygulamalarda kullanıldığı, ilerleyen yıllarda Head-Up ve giyilebilir cihazlardaki gelişmelerin oyun teknolojisini daha da ileriye taşıyacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca günümüzde Pokemon Go [72] gibi konum tabanlı AG teknolojisine sahip oyun uygulamaları mevcut oyun alışkanlıklarını değiştirmiş, oyuncuya hareket etme zorunluluğu getirmiştir. Her ne kadar bu gibi uygulamalar kullanıcılara oyunlarını gerçek dünya ortamında fiziksel aktivite içinde oynamalarına imkân verse de, ailelerin güvenlik ve bağımlılık yönünden bu durumu gözden geçirmeleri gerekmektedir. Şekil 23'de verilen resimler sırasıyla Pokemon Go ve mobil cihaz oyun uygulama görüntüsüdür.



Şekil 23. Oyun uygulaması (Game application)

#### 4.5. Pazarlama Uygulamaları (Marketing Applications)

AG teknolojisi yazı, resim, grafik, animasyon ve 3D nesnelerin gerçek dünya görüntülerine eklenmesi olduğunu düşünüldüğünde pazarlama alanında [73] bu teknolojinin kullanımı ile müşteriye yeni ürünlerin tanıtılması ve satışı daha kolay olacaktır. Bu alanda yapılan çalışmalara evde veya mağazada müşterilerin fiziksel bir nesneyi elleriyle incelemiş gibi uzaktan el hareketleriyle kontrol edebildiği Smartis [74], Fitnec [75], Kinect [76] ve Zugara [77] firmalarının geliştirdiği Magic Mirror uygulamaları [78], gazete yazıları arasında dolaşan Volkswagen Up [79] ve Vespa [80] ürün uygulamaları örnek olarak verilebilir. Ayrıca bu alana, Tissot [81] firması tarafından geliştirilmiş mağaza vitrininde ki TV kamerasına yoldan geçen insanların kollarına takılan işaretçi bilekliği ile gerçekleştirilen Virtual Watch uygulaması [82], IKEA firması tarafından mobilya ve her türlü ev eşyasının ev ortamında üç boyutlu olarak gösteren IKEA AR catalog uygulaması [83] ilave edilebilir. Magic Mirror veya Webcam Sosyal Mağaza uygulaması (Webcam Social Shopper) [84] olarak ifade edilen bu çalışmaların altyapıları incelendiğinde, artırılmış gerçeklik ve hareket sensör teknolojilerini (Kinect, Asus Xtion Live, PrimeSense) kullandıkları belirlenmiştir. Genellikle firmaların çevrimiçi verdikleri bu uygulama hizmetleri bazı firmaların satış mağazalarında çevrimiçi ve çevrimdışı olarak da sunulmaktadır. Şekil 24’de verilen resimlerden soldaki bir mağazadaki Magic Mirror uygulama görüntüsünü, sağdaki bir market içindeki ürün yönlendirme görüntüsünü yansıtmaktadır.



Şekil 24. Sihirli Ayna ve Market uygulaması (Magic Mirror and Marketing Application)

#### 4.6. Eğlence Uygulamaları (Entertainment Applications)

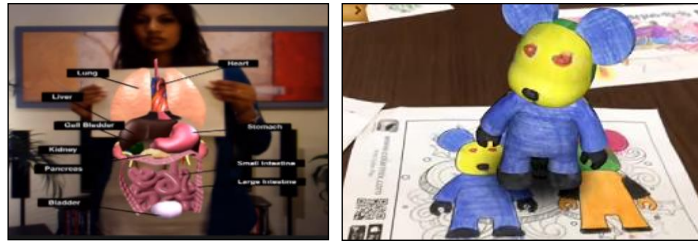
Eğlence, insanların boş vakitlerini keyifli şekilde geçirmek için yaptığı çeşitli faaliyetlerdir [85]. Bu faaliyet alanını büyük şirketler müşterilerine ürünlerinin tanıtılmasının en etkili yolu olarak görmektedirler. Tarama sırasında ağırlıklı olarak sektörün bu faaliyet alanında AG temelli yeni teknolojilerden birisi olan Webcam Sosyal Mağaza uygulamalarından faydalandığı tespit edilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde Ray-Ban, Adidas, Nike, Mini-cooper, BMW, Toyota, Nissan, Volvo [86] gibi uluslararası firmaların çevrimiçi sunduğu Webcam AG uygulamaları eğlence alanına örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak, Pepsi firması tarafından gerçekleştirilen otobüs durağına şeffaf bir ekranda bir anda beliren uçan daireler, dev ahtapotlar ve robotlar gibi gerçek dışı görüntülerin gösterildiği çalışma ise açık hava uygulamalarına da örnek olarak verilebilir. Şekil 25’de verilen resimlerden soldaki Sanal Ayna uygulamasından (Magic Mirrors in public washrooms) [87], sağdaki ünlü bir futbolcu ile yarışan bir sporseverin uygulamayı kullanım anından alınmış bir görüntüdür.



Şekil 25. Eğlence uygulaması (Entertainment application)

#### 4.7. Eğitim Uygulamaları (Education Applications)

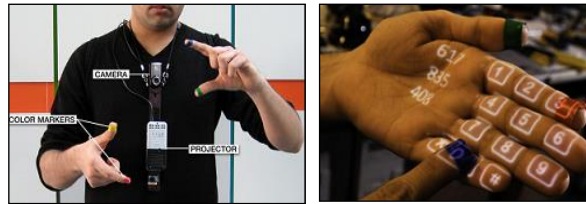
Tarama sonucunda, bu alanda yapılan uygulamaların büyük bir bölümünün işaret tabanlı AG teknolojisini kullandığı, 3D nesnelere, çizimler ve animasyonlar ile uygulamalar zenginleştirildiği belirlenmiştir. QuiverVision firması tarafından yapılmış işaretçi kâğıtlarındaki karakterlerin kullanıcı tarafından boyandığı renklere göre 3D görsellerini gösterebilen Quiver (ColAR) uygulaması [88], kullanıcılarına çevrimiçi kimya, biyoloji ve fizik gibi alanlarda hizmet sunan LearnAR [89] uygulaması incelenen eğitim uygulamalarına örnek olarak verilebilir. Bu uygulamalara, Blippar firması tarafından geliştirilmiş dergi sayfasındaki görselleri video ve 3D şeklinde gösterebilen Brainspace dergi uygulaması [90], öğrencilerin matematik yeteneklerini geliştiren FETCH Lunch Rush uygulaması [91] da eklenebilir. Şekil 26'da verilen resimlerden soldaki FETCH Lunch Rush, sağdaki Quiver uygulama görüntüsünü yansıtmaktadır.



Şekil 26. LearnAR ve Quiver (LearnAR AR web interface)

#### 5. ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK ÜZERİNE SON GELİŞMELER (RECENT DEVELOPMENTS IN AUGMENTED REALITY)

Bu kısımda artırılmış gerçeklik üzerine sağlanan son gelişmeler ve ürünler ele alınmıştır. Sixth Sense (Altıncı His) [92], Pranav Mistry tarafından Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) laboratuvarlarında geliştirilmiş, el hareketleri ve beden dili (büyütme, küçültme, sürükle-bırak) [93] ile kontrol edilebilen ayna, kamera, mobil cihaz, renkli belirteçler ve projeksiyondan oluşan cihazlarıyla duvar veya kâğıt gibi herhangi bir yüzeyi, hatta kendi avuç içini ara yüz olarak kullanabilen [12] giyilebilir cihazlara verilebilecek en güzel örneklerdendir. Şekil 27'de verilen resimlerden soldaki çalışmanın donanımlarının görüntüsü, sağdaki avuç içinin dokunmatik ara yüz olarak kullanım görüntüsünü yansıtmaktadır.



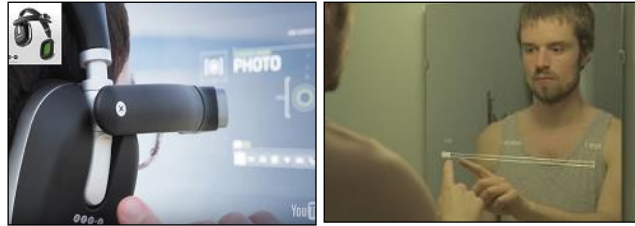
Şekil 27. Sixth Sense (Altıncı His)

Diğer bir gelişme olarak Google'ın üzerinde çalıştığı 2012 yılında tanıtılan ve 2013 yılında sınırlı sayıda kullanıcının kullanımına izin verilen Glass isimli gözlüğüdür. Bu cihaz; küçük ve giyilebilir bir ürün olma, ses komutları ile fotoğraf çekebilme, video kaydedebilme, kablosuz ağa bağlanabilme, metin mesajı gönderebilme, GPS kullanabilme gibi özellikleri tanıtıldığı zamanda büyük ilgiyle karşılanmıştı. Buna karşın, sesli komutlara hemen cevap verememesi [94], elektromanyetik alan oluşturması, ciddi veri akışının beyin ve göz sağlığı açısından zararları [95], etik, gizlilik ve güvenlik gibi nedenlerle Google Glass gözlüğünün üretimin durdurulabileceği [96] söylenmektedir. Ancak Google firması da dâhil olmak üzere akıllı gözlük alanında ürün geliştirmek isteyen şirketlerin ARGE çalışmaları devam etmekte ve zamanla kullanılabilir akıllı gözlüklerin sayısında artış olmaktadır. Microsoft firmasının NASA için ürettiği Hololens [97] cihazı akıllı gözlüklere verilebilecek en güzel örnektir. Ayrıca Magic Leap firmasının ürettiği Magic Leap, Sony tarafından tanıtılan üretilen SmartEyeglass, Rio Olimpiyat yarışmalarında kullanılan Solos Smart Cycling, dünyanın oled ekranlı ilk gözlüğü Epson Moverio BT-300 ve Vuzix firmasının ürettiği Blade 3000 bu alandaki diğer AG tabanlı akıllı gözlüklerdir. Şekil 28'de verilen resimlerden soldaki Hololens görüntüsünü, sağdaki Epson Moverio BT-300 görüntüsünü yansıtmaktadır.



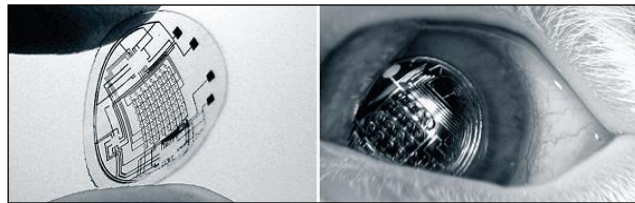
**Şekil 28.** Hololens - Epson Moverio BT-300

Değnilmesi gereken diğler bir gelişme ise giyilebilir teknolojilerin AG teknolojisi üzerindeki etkileridir. Giyilebilir Teknoloji (GT) sektöründeki gelişmeler ve buna bağılı olarak üretilen ürün çeşitliliğı başta pazarlama olmak üzere eğitim, sağıık, imalat, oyun, spor ve eğlence gibi birçok alanda rekabeti daha da artıracaktır. Taramalarda bu rekabetin sebebinin; pazarlama alanında ürünün tanıtımı, eğitim alanında bilgiye hızlı ulaşma isteğı, sağıık alanında hastanın bakım, kontrol ve tedavi işlemleri, otomotiv alanında imalat ve montaj süreçlerini iyileştirmesi gibi durumlardan kaynaklı olduğı belirlenmiştir. Bu iki teknolojinin bir arada kullanılmasının en önemli avantajı çalışanların daha doğallıkla çalışmaları ile etkileşime girmelerine izin verilebilmesidir. GT kullanan giyilebilir sınırdaki AG cihazları, Akıllı Gözlükler (Glasses), Akıllı Saatler (Smartwatches), Kulaklıklar (Headsets), Lensler (Lenses) ve Aynalardır (Glass) [98]. Şekil 29’da verilen resimlerden soldaki dünyanın ilk giyilebilir kulaklık cihazı ORA-X [99], sağdaki giyilebilir Ayna görüntüsünü yansıtmaktadır.



**Şekil 29.** Headsets - Glass

Lenses, giyilebilir teknolojiler içerisinde en ilgi çekici ve heyecan verici AG cihazlarıdır. Bu cihazı, Washington Üniversitesinde çalışan Babak A. Parviz ve öğrencilerinin entegre kontrol devreleri, iletişim devreleri ve minyatür antenler içeren, iOptik sistemi ve baş üstü görüntüleme (HUD) birimiyle bağlantılı çalışabilen Tavşan göz (Rabbit Eye) olarak ifade edilen giyilebilir kontak lens cihazı olarak tanımlayabiliriz [100]. Bu cihazın göz merceğine olan etkileri değerlendirilmiş ve cihazın göz sağıığına verdiği etkiden dolayı en fazla 20 dakika süreyle giyilmesinin uygun olduğı ifade edilmektedir [101]. Şekil 30, Rabbit Eye cihazının Washington Üniversitesinde çekilmiş bir fotoğrafıdır.



**Şekil 30.** Tavşan Göz – Lens (Rabbit Eye- Lenses)

## 6. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER (DISCUSSION, RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Artırılmış gerçeklik üzerine son gelişmeleri ve uygulamaları inceleyen bu çalışmada, akademik alandaki yayınlar ve sektör tarafından yapılmış uygulama çalışmalarını inceleyerek çalışmaların ayrıntılarına, güçlü ve zayıf yanlarına, uygulama alanlarına, kullandıkları araçlara, görüntü sistemlerine, AG tür özelliklerine ve kullanım amaçlarına yönelik değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Akademik çalışmalarda, çalışmaların ağırlıklı olarak masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar üzerine yapıldığı, sistemin gerekliliğine göre ek görüntüleme sistemi eklendiğı (projeksiyon, kamera ve masaüstü

bilgisayarlar) belirlenmiştir. Bu durum, yapılan akademik çalışmaların eğitime yönelik olması, yüksek çözünürlük kamera gerekliliği ve eklenecek bir webcam veya kamera ile sistemin daha etkin çalışmasının sağlanması durumlarıyla açıklanabilir. Akademisyenler çoğunlukla çalışmalarını masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar üzerine gerçekleştirmiş olsa da trafik, sanat ve doğal afet gibi alanlarda yapılan bazı çalışmaların taşınabilir cihazlar (tablet, telefon) üzerinde çalıştırıldığı belirlenmiştir. Bu tercihin sebebi, taşınabilir cihazların yeterli ekran büyüklükleri, uygulamanın açık alanda gerçekleştirilmesi, GPS, ivmeölçer ve sıcaklık gibi donanımlara sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İncelenen sektör çalışmalarında, genellikle uzaktan işaret izleme veya hareket algılama sistemlerinin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bunun nedenlerini, uygulamaların açık alanlar için tasarlanması, kullanıcı ile uygulama cihazı arasındaki mesafe ve toplu kullanıma açık olma zorunluluğu şeklinde sıralanabilmektedir. Sektörün yaptığı çalışmalardan, Volkswagen Up, IBM, Marshall, IKEA gibi çalışmaların tablet cihazlar üzerine çalıştığı belirlenmiştir. Bu, şirketlerin kullanıcılara hızlı ve kolay uygulama ve ulaşım imkânı sunma isteği, uygulama işlemlerin belirli bir durum ve yer için tasarlanmaması ve taşınabilir cihazların kullanıcılar tarafından daha tercih edilebilir seviyesinde olmasından kaynaklı sebeplerle açıklanabilmektedir. Sektör açısından yapılan çalışmaların kullanıcıya en kısa zamanda ve en etkin şekilde sunulması şirketler açısından önemlidir. Bu nedenle şirketlerin çalışmalarınızda taşınabilir cihazlar üzerinde işlem yapabilen uygulamalar geliştirmesi önemlidir. Bu uygulamaların etkinliği kullanıcıların memnuniyeti ile doğru orantılı olduğu söylenebilir. Bu sebeple uygulamanın üzerinde çalıştığı cihaz performansının da sektör tarafından önemsenmesi gerektiği belirtilebilir.

Aynı zamanda incelenen sektör çalışmalarda, webcam sosyal mağaza uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar, fiziksel bir nesneyi kullanıcıları elleriyle incelemiş gibi el hareketleri ile kontrol edebildikleri sistemlerdir. Bu sistemler, çevrim içi ve çevrim dışı kullanım özellikleri, işaretçiden bağımsız el hareketleriyle kontrol edilebilme, istenen ürünün saniyeler içinde kullanıcıya gösterebilme özelliklerinden kaynaklı sebeplerden dolayı tercih edildiği düşünülmektedir. Bu çalışmaların dezavantajları; kullanıcı ile cihaz arasındaki gerekli mesafenin sağlanma zorunluluğu, küçük ekran cihazlarda etkin kullanılamaması, yüksek çözünürlüğe sahip kamera gerekliliği ve internet bağlantısının olması şekline sıralanabilmektedir. Bu alandaki çalışmalar zamanla daha fazla şirketler tarafından kullanıcılara sunulacağı ön görülebilir.

Genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, AG teknolojisinin bilişim alanında yeni bir teknoloji olduğu görülebilmektedir. AG teknolojisinin son yıllarda gerek akademik alanda gerekse özel sektör alanında oldukça popüler olmayı ve ilgi çekmeyi başarmış olduğu söylenebilir. Bu alanın hayatımızdaki kullanımı az olsa da ilerleyen zamanlarda günlük yaşantımızda önemli bir yer tutacağı düşünülebilmektedir. Yurtdışında yapılan çalışmaların sayısı ülkemizde yapılan çalışmalara göre çok daha fazladır. Ülkemizde bu alanla ilgili basılı birkaç kitap bulunmakla beraber artarak devam eden akademik çalışma ve özel sektör uygulamalarının geliştirilmesi umut vericidir. AG alanında çalışmak isteyen bilişimcilerin bu alandaki çalışmaları dikkatlice incelemesi önerilmektedir. Bu sayede geçmişte yapılan çalışmalar ile günümüzdeki çalışmaların gelecekte oluşturacakları yeni fikirler için ilham kaynağı oluşturacağını görülebilecektir.

Ülkemizde ulusal araştırma kurumları tarafından AG sistemleri ve hareket algılamalı AG teknolojilerini içeren konular öncelikli alanlar listesine alınmakta, araştırmacıların bu alanlarda araştırma yapmaları teşvik edilmektedir.

Genellikle eğitim alanında kullanılan bu teknoloji önümüzdeki yıllarda telefon, tablet gibi akıllı cihazların gelişimi ile kullanım alanı daha da genişleyeceği düşünülmektedir. Bu teknolojiye yerini almak isteyen ülkelerin arasında Türkiye’de olması gerekmektedir. Gelecekteki teknolojiye Türkiye’nin söz sahibi olması ve bu gelişime ayak uydurabilmesi eğitim, sağlık, güvenlik gibi temel alanlardaki AG teknoloji ile yapılmış akademik çalışmaların artmasıyla sağlanacaktır.

## **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] İnternet: S.Yaylaci, Arttırılmış gerçeklik teknolojileri geleceği şekillendirecek, <http://www.btnet.com.tr/genel/arttirilmis-gerceklik-teknolojileri-gelecegi-sekillendirecek/1/19010>, 23.04.2016.
- [2] D. V. Krevelen ve R. Poelman. "Augmented Reality: Technologies, Applications, and Limitations.", 2007.
- [3] İnternet: <http://www.layar.com/> , 11.03.2017.
- [4] İnternet: <http://www.t-immersion.com/>, 11.03.2017.
- [5] İnternet: <http://www.metaio.eu/>, 11.03.2017.
- [6] İnternet: <https://www.wikitude.com/>, 11.03.2017.
- [7] İnternet: <https://www.zugara.com/>, 11.03.2017
- [8] İnternet: <https://www.aurasma.com/>, 11.03.2017.
- [9] R.T.Azuma, "A Survey of Augmented Reality", **Teleoperators and Virtual Environments**, 355-385, 6, 4 August 1997.
- [10] S.Somyürük, "Öğrenme sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekmek: Arttırılmış Gerçeklik", *Eğitim Teknolojisi*,4(1),63-80, 2014.
- [11] P. Milgram, F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays", **IEICE Transactions on Information Systems**, 77 (12), 1321-1329, 1994.
- [12] Ç. Erbaş, V. Demirel, "Eğitimde Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları: Google Glass Örneği", **Journal of Instructional Technologies & Teacher Education**, Vol. 3 No 2, 8-16, 2014.
- [13] Y. Özarslan, "Öğrenen içerik etkileşiminin genişletilmiş gerçeklik ile zenginleştirilmesi", **5. International Computer & Instructional Technologies Symposium (ICITS 2011)**, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 22-24 September 2011.
- [14] M. A. Livingston, L. J. Rosenblum, D. G. Brown, G. S. Schmidt, S. Julier, Y. Baillot, J. E. Swan II, Z. Ai, ve P. Maassel, "User interface design for military ar applications.", *Virtual Reality (UK)*, 2011.
- [15] H. Altınpulluk, "Arttırılmış gerçekliği anlamak: kavramlar ve uygulamalar", *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, Cilt 1, Sayı 4, 123-13, 2015.
- [16] M. A. Çakal, E. B. Eymirli, "Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisi", Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, [http://www.kudaka.org.tr/ekler/fa254-artirilmis\\_gerceklik\\_teknolojisi.pdf](http://www.kudaka.org.tr/ekler/fa254-artirilmis_gerceklik_teknolojisi.pdf), 10.08.2016.
- [17] K. H. Cheng ve C. C. Tsai, "Affordances of augmented reality in Science learning: Suggestions for future search." *Journal of Science Education and Technology* 22.4, 449-462, 2013.
- [18] M. Sırakaya ve S. S. Seferoğlu, "Öğrenme Ortamlarında Yeni Bir Araç: Bir Eğitilence Uygulaması Olarak Arttırılmış Gerçeklik", *Eğitim Teknolojileri okumaları TOJET Sakarya Üniversitesi*, 417-438, 2016.
- [19] A Katiyar, K Kalra, C Garg, "Marker Based Augmented Reality.", *Advances in Computer Science and Information Technology (ACSIT)*, Volume 2, Number 5,pp. 441-445, April-June, 2015.
- [20] A. Swaminathan, Y. Mao ve M. Wu, "Robust and secure image hash- ing," *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, vol. 1, no. 2, pp. 215–230, Jun. 2006.
- [21] E. Rosenbaum, E. Klopfer & J. Perry, On location learning: authentic applied science with networked augmented realities. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 31–45, 2007.

- [22] T. Höllerer ve ark. "Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system." *Computers & Graphics* 23.6 , 779-785, 1999.
- [23] S. Feiner ve ark., "A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment." *Personal Technologies* 1.4, 208-217, 1997.
- [24] V. Vlahakis ve ark. "Archeoguide: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites." *Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage* 9, 2001.
- [25] V. Demirer ve Ç. ERBAŞ, "Mobil artırılmış gerçeklik uygulamalarının incelenmesi ve eğitimsel açıdan değerlendirilmesi.", *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 11.3, 2015.
- [26] D. Kaleci, T. Demirel, İ. Akkuş, "Örnek Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Tasarımı", 18.Akademik Bilişim Konferansı 2016 Bildirisi– Aydın, 2016.
- [27] K. Squire ve E. Klopfer. "Augmented reality simulations on handheld computers." *The journal of the learning sciences* 16.3, 371-413, 2007.
- [28] M. Esengün, "2 Boyutlu Harita Ve Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Mobil Navigasyon Uygulamalarının Kıyaslamalı Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [29] M. Dunleavy, C. Dede ve R. Mitchell. "Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning." *Journal of Science Education and Technology* 18.1, 7-22, 2009.
- [30] M.K. Tsai, P.H. E. Liu, N.J. Yau, "Using electronic maps and augmented reality-based training materials as escape guide lines for nuclear accidents: An explorative case study in Taiwan", *British Journal of Educational Technology*, Vol 44 No 1 E18–E21, 2013.
- [31] M.S. Abdüsselam, H. Karal, "Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrenci akademik başarısı üzerine etkisi: 11. Sınıf manyetizma konusu", *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, Cilt 1, Sayı 4, Makale 20, ISSN: 2146-9199, 170-182, Kasım 2012.
- [32] R. Wojciechowski ve C. Wojciech, "Evaluation of learners' attitude to ward learning in ARIES augmented reality environments.", *Computers & Education* 68, 570-585, 2013.
- [33] F. Zhou, H. B. L. Duh ve M. Billinghurst. "Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR." *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. IEEE Computer Society, 2008.
- [34] M Mirzaei, S Ghorshi, M Mortazavi, "Helping Deaf and hard-of-hearing people by combining augmented reality and speech technologies.", *Proc. 9th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Associated Technologies*. 2012.
- [35] M. D. Wheeler, "HUD systems: augmented reality is coming to your windshield." *PHOTONICS SPECTRA* 50.2 , 34-37, 2016.
- [36] M. Tülü, M. Yılmaz. "iPhone ile Arttırılmış Gerçeklik Uygulamalarının.", *Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*,183-186, 1 - 3 Şubat 2012.
- [37] E. İbili, S. Şahin, "Artırılmış Gerçeklik ile İnteraktif 3D Geometri Kitabı Yazılımın Tasarımı ve Geliştirilmesi: ARGE3D", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13 (2013) 015101 (1-8), 2013.
- [38] D. Pérez-López, Contero, "Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge acquisition and retention", *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 12 (4), 19-28, 2013.

- [39] A. DiSerio, M. B. Ibáñez, C. D. Kloos, "Impact of an Augmented Reality System on Students Motivation for a Visual Art Course", *Computers & Education*, 1 (11), 2012.
- [40] H. K. Wu, S. W. Lee, H.Y. Chang, J.C. Liang, Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49, 2013.
- [41] S. Cuendet, Q.Bonnard, S. Do-Lenh & P. Dillenbourg, "Designing augmented reality for the classroom." *Computers & Education* 68 557-569, 2013.
- [42] H Kaufmann, D Schmalstieg, "Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality", **Computers& Graphics**, 27(3), 339-345, 30.6.2003.
- [43] C.M. Juan, E. Llop, F. Abad, J.Lluch. Learning words using augmented reality. In *Advanced Learning Technologies CALT*, 2010 IEEE 10th International Conference on, pages 422 –426, July 2010.
- [44] M. Billinghurst, H. Kato, ve I. Poupyrev, "MagicBook: transitioning between reality and virtuality", *CHI'01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* ( 25-26), 2001.
- [45] H. H. Çetinkaya, M. Akçay, "Eğitim Ortamlarında Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları", **Akademik Bilişim 2013 Konferansı**, Akdeniz Üniversitesi, Antalya,1031-1035,23-25 Ocak 2013.
- [46] M.T. Yang, W.C. Liao, "Computer-Assisted Culture Learning in an Online Augmented Reality Environment Based on Free-Hand Gesture Interaction", *IEEE Transactions on Learning Technologies*, Vol. 7, No. 2,107-117, April-June 2014
- [47] I. Poupyrev, R. Berry, M. Billinghurst, H. Kato, K. Nakao, L. Baldwin, J. Kurumisawa, "Augmented Reality Interface for Electronic Music Performance", **Proceedings of the 9th international conference on Human computer interaction (HCI International 2001)**, 805-808, 2001.
- [48] N. Enyedy, J. A. Danish, G. Delacruz, M. Kumar, Learning physics throughplay in an augmented reality environment. *International Journal of Computer Supported Collaborative Learning*, [https://pages.gseis.ucla.edu/faculty/enyedy/force\\_motion\\_play.htm](https://pages.gseis.ucla.edu/faculty/enyedy/force_motion_play.htm), 10.10.2016.
- [49] D. Parmar, K. Pelmahale, R. Kothwade, P. Badgular, "Augmented Reality System for Engineering Graphics", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE-)*, Vol. 4, Issue 10, 327-330, October 2015.
- [50] N. M. M. Zainuddin, H. B. Zaman, A. Ahmad, "A Participatory Design in Developing Prototype an Augmented Reality Book for Deaf Students", **Second International Conference on Computer Research and Development**, IEEEComputerSociety,400-404, 2010.
- [51] M. Zhang, **Real-time traffic flow prediction using augmented reality**, Yüksek Lisans Tezi, the University of Windsor, School of Computer Science, 2016.
- [52] G. Takacs, V. Chandrasekhar, N. Gelfand, Y. Xiong, W. C. Chen, T. Bismpianni, R. Grzeszczuk, K. Pulli, B. Girod, "Out doors augmented reality on mobile phone using loxel-based visual feature organization." *Ist ACM international conference on Multimedia information retrieval*, 427-434, 2008
- [53] G. Reitmayr, D.Schmalstieg, "Collaborative augmented reality for outdoor navigation and information browsing", *Symposium Location Based Services and TeleCartography*, 31-41, 2004.
- [54] S. Matsutomo, K. Mitsufuji, Y. Hias, S. Noguchi, "Real Time Simulation Method of Magnetic Field for Visualization System With Augmented Reality Technology", *IEEE Transactions On Magnetics*, 49(5): 1665-1668, 2013.
- [55] F. Liarokapis, P. Petridis, P. F. Lister & M. White, "Multimedia Augmented Reality Interface for E-learning (MARIE)", **World Transactions on Engineering and Technology Education**, Vol.1, No.2, 73-76. 2002.



- [56] T.H. Kolbe, "Augmented videos and panoramas for pedestrian navigation", *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services & TeleCartography*, 2004.
- [57] M. Fiorentino, R de Amicis, G. Monno, A. Stork, "Spacedesign: A mixed reality workspace for aesthetic industrial design.", In ISMAR'02: Proc. Int'l Symp. on Mixed and Augmented Reality, Darmstadt, Germany, IEEE CS Press, p. 86. ISBN 0-7695-1781-1. 22, 3.2, 2002.
- [58] W. Friedrich, W. Wohlgemuth, ARVIKA, " augmented reality for development, production and servicing. ", ARVR., 3.2, 3.2, 3.2, Beitrag, 2002.
- [59] K. Pentenrieder, Katharina ve ark., "Augmented Reality-based factory planning-an application tailored to industrial needs." *Mixed and Augmented Reality*, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on. IEEE, 2007.
- [60] L. Lorenz, P. Kerschbaum ve J. Schumann. "Designing take over scenarios for automated driving: How does augmented reality support the driver to get back into the loop?." *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Vol. 58. No. 1. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2014.
- [61] SJ Kim, AK Dey. "Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2009.
- [62] G. Bradski, A. Kaehler, "Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library.", O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [63] S. Shi, " Emgu CV Essentials.", Packt Publishing Ltd, 2013.
- [64] İnternet: <https://www.urbaninteractivestudio.com/>, Urban Sleuth, 14.03.2017.
- [65] İnternet: Thumbspark\_Limited Museum of London: Streetmuseum. <http://www.museumoflondon.org.uk/Resources/app/you-are-here-app/noflash/no-flash.html>, 14.03.2017.
- [66] A Sanna, F Manuri, "A survey on applications of augmented reality." *Advances in Computer Science: an International Journal* 5.1, 18-27, 2016.
- [67] N Owens, C Harris, C Stennett, "Hawk-eye tennis system." *Visual Information Engineering*, 2003. VIE 2003. International Conference on. IET, 2003.
- [68] Z. Bozyer, "Augmented reality in sports: Today and tomorrow." *International Journal of Science Culture and Sport (IntJSCS)* 3.4, 314-325, 2015.
- [69] W. Piekarski, B. Gunther ve B.Thomas, "Integrating virtual and augmented realities in an outdoor application.", In IWAR'99: Proc. 2nd Int'l Workshop on Augmented Reality (Washington, DC, USA, IEEE CS Press, pp. 45–54. 3.2, 3.4, 1999.
- [70] B. Thomas, B. Close ve ark., ARQuake: An outdoor/indoor augmented reality first person application. In ISWC'00: Proc. 4th Int'l Symp. on Wearable Computers, pp. 139–146. ISBN 0-7695-0795-6. 3.4, 2000.
- [71] W. Piekarski ve B. Thomas. "ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system." *Communications of the ACM* 45.1, 36-38, 2002.
- [72] M. Serino ve ark., "Pokemon Go and augmented virtual reality games: a cautionary commentary for parents and pediatricians." *Current opinion in pediatrics* 28.5, 673-677, 2016.

- [73] J. Bule and P. Peer, "Interactive augmented reality marketing system," In: World Usability Day, Paper ID 2505, 2013.
- [74] İnternet: Doll Up - Artırılmış Gerçeklik ile Alışveriş Deneyimi, <https://vimeo.com/79793001>, 10.10.2016
- [75] İnternet: Fitnect - Interactive Virtual Fitting / Dressing Room application, <https://www.youtube.com/watch?v=1jbvnk1T4vQ>, 10.10.2016.
- [76] İnternet: Kinect for Windows Retail Clothing Scenario Video, <https://vimeo.com/89795629>, 10.10.2016.
- [77] İnternet:Marco, Augmented Reality as a user interface metaphor for the Semantic Web? <http://www.marconeumann.org/blog/?p=81>, 10.10.2016
- [78] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo E. Damiani, and M. Ivković, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Multimedia Tools and Applications*, ol. 51, no. 1, 341- 377, 2011.
- [79] İnternet: Volkswagen Up: Newspaperapp, <http://www.creativeguerrillamarketing.com/mobile-marketing-2/volkswagen-up-newspaper-app/>, 10.10.2016.
- [80] İnternet: Vespa Augmented Reality on Vimeo, <https://vimeo.com/97486802>, 10.10.2016.
- [81] İnternet: Fever - Tissot – Augmented Reality, <https://www.youtube.com/watch?v=sM70yME1OLk>, 10.10.2016.
- [82] İnternet: Tissot, <https://holition.com/portfolio/tissot-virtual-watch>, 12.03.2017.
- [83] İnternet: IKEA, 2014 Kataloğunda Artırılmış Gerçekliğe Geçti, <https://onedio.com/haber/ikea-2014-katalogunda-artirilmis-gerceklige-gecti-139647>, 10.10.2016
- [84] İnternet: Webcam social shopper <http://webcamsocialshopper.com/demos> , 10.03.2017.
- [85] İnternet, Eğlence, <https://tr.wikipedia.org/eğlence>, 15.03. 2017.
- [86] B. Parhızkar, A. A. M. Al-Modwahi, A. H. Lashkari, M. M.Bartaripou, H. R. Babae, "A Survey on Web-based AR Applications", **IJCSI International Journal of Computer Science Issues**, 1694-0814, Vol. 8, Issue 4, July 2011.
- [87] J. Scholz ve N. S. Andrew, "Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement." *Business Horizons* 59.2, 149-161, 2016.
- [88] İnternet: <http://www.quivervision.com/> , 17.03.2017.
- [89] İnternet: LearnAR – eLearning with Augmented Reality, <https://www.unthsc.edu/center-for-innovative-learning/learnar-elearning-with-augmented-reality/>, 10.10.2016.
- [90] İnternet: brainspace, <https://brainspacemagazine.com/>, 17.03.2017
- [91] İnternet: FETCH! Lunch Rush, <http://pbskids.org/apps/fetch-lunch-rush.html>, 17.03.2017.
- [92] P. Mistry, P. Maes, L. Chang WUW – Wear Ur World – A Wearable Gestural Interface”, ACM, CHI , Boston, April 4-9 , 2009.
- [93] İnternet: Geleceği şekillendirecek teknoloji: Artırılmış Gerçeklik <http://www.ntv.com.tr/galeri/teknoloji/gelecegi-sekillendirecek-teknoloji-artirilmis-gerceklik,qc9gZ9tVm06rfzj6wcoUWg> ,10.03.2017.

- [94] İnternet: B. Parr, "Google Glass'ın en büyük 4 korkusu", <https://www.cnet.com/news/4-biggest-challenges-facing-google-glass/> . 16.03.2017.
- [95] İnternet: Mark Sullivan, Google Glass Horror Stories From Your Privacy-Free Future, [http://www.pcworld.com/article/259771/google\\_glass\\_horror\\_stories\\_from\\_your\\_privacy\\_free\\_future.html](http://www.pcworld.com/article/259771/google_glass_horror_stories_from_your_privacy_free_future.html), 16.03.2017.
- [96] İnternet: Google glass tarih oluyor, <http://www.aljazeera.com.tr/haber/google-glass-tarih-oldu>, 16.03.2017.
- [97] İnternet: Microsoft HoloLens, <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us> ,10.03.2017.
- [98] İnternet: Augmented Reality and Wearable Devices, <http://www.iconics-uk.com/sites/default/files/whitepaper/Augmented-Reality-and-Wearable-Devices.pdf>, 17.03.2017.
- [99] İnternet: K. Mirza, ORA-X: World's First Augmented Reality Headphones, <https://www.indiegogo.com/projects/ora-x-world-s-first-augmented-reality-headphones-android#/> , 10.03.2017.
- [100] Parviz, B. A. "Augmented Reality in a Contact Lens: A new generation of contact lenses built with very small circuits and LEDs promises bionic eyesight." IEEE Spectrum, 1-4,2009.
- [101] İnternet: J. Franco, Augmented Reality in a Contact Lens, [http://www.ele.uri.edu/Courses/ele482/S10/JahdielF\\_2.pdf](http://www.ele.uri.edu/Courses/ele482/S10/JahdielF_2.pdf), 17.03.2017



## Akıllı Şebekeler için Kablosuz Enerji İzleme Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Yasin KABALCI<sup>1,\*</sup>, Ersan KABALCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde.

<sup>2</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 08/03/2017

Kabul: 22/03/2017

### Anahtar Kelimeler

Güneş paneli  
ZigBee teknolojisi  
Sensör  
Akıllı ölçüm  
Ölçüm cihazı

### Keywords

Photovoltaic panels  
ZigBee technology  
Sensor  
Smart metering  
Measurement device

### Öz

Ölçüm ve uzaktan izleme işlemleri akıllı şebekeler için oldukça önemli olan işlemlerdir. Bu çalışmada akıllı şebekeler için akıllı ölçüm sistemi ve kablosuz uzaktan izleme sistemi tasarımı ve uygulaması önerilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen ölçüm sistemi doğru akım (DA) gerilim, DA akım ve güç büyüklüklerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Ölçülen büyüklüklerin kablosuz iletme uygun formata dönüştürülebilmesi için ise mikrodenetleyici tabanlı işaret işleme sistemi tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ardından ölçümü gerçekleştirilen akım ve gerilim büyüklükleri kablosuz iletişim altyapısı kullanılarak enerji izleme merkezi adı verilen alıcı birime iletilmiştir. İletişim altyapısı olarak düşük maliyetli olmaları, programlanmalarının kolay olması ve düşük güç tüketimleri gibi avantajlarından dolayı ZigBee protokolünün kullanımı tercih edilmiştir. Bununla birlikte enerji izleme merkezine gelen bilgilerin gerçek zamanlı izlenebilmesi için Visual Studio.Net yazılımında C# programlama dili kullanılarak ara yüz tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar, önerilen gerçek zamanlı izleme ve akıllı ölçüm sisteminin güneş panellerinin akım, gerilim ve güç büyüklüklerinin etkin şekilde takip edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

### Design and Implementation of Wireless Energy Monitoring System for Smart Grids

#### Abstract

Measurement and remote monitoring process are very important processes for smart grids. In this study, design and implementation of smart metering system and remote monitoring system for smart grids are proposed. Designed smart metering system is capable of measuring quantities of DC current, DC voltage and power values. In order to convert measured quantities into suitable formats for transmitting wirelessly, a microcontroller-based signal processing system is designed and is implemented. Afterwards, measured voltage and current values are transmitted to receiver unit entitled as energy monitoring center by utilizing wireless communication methods. The communication infrastructure of the proposed system is conducted by ZigBee protocol due to its offered advantages such as being low cost, easy programming and low power consumption. Moreover, an interface is designed by C# programming language in Visual Studio.Net to monitor received information by energy monitoring center in a real time. The conducted studies showed that the proposed smart metering and remote monitoring system could be efficiently utilized to observe current, voltage and power values of photovoltaic panels.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akıllı şebeke kavramı son yıllarda geleneksel elektrik şebekelerine dahil edilen iletişim ve kontrol yeteneklerini tanımlamak için kullanılan yeni ve popüler bir kavramdır. Akıllı şebekelerin, geleneksel elektrik şebekelerine başlıca katkısı enerji ve iletişim işaretlerinin çift yönlü akışını sağlamalarıdır. Akıllı şebekelerinin kontrol ve iletişim yapısı enerji üretim, iletim, dağıtım ve kullanıcı kısmının herhangi birisinde meydana gelen değişikliklere hemen tepki verebilmelerini mümkün kılmaktadır. Bu yetenek,

\*İletişim yazarı, e-mail: yasinkabalcı@ohu.edu.tr

yapılarındaki sensör ağları ve tüm şebekeyi gözlemleyebiliyor olmalarındandır. Tümleşik denetleyiciler her bir enerji istasyonu, transformatör, konvertör, invertör, jeneratör gibi enerji dönüşüm birimleri ile anında iletişim kurabilmektedir. Ayrıca böyle bir gözlem birimi, enerji akış durumlarını yönetmek için kaynak ve yük tarafı taleplerini belirlemeyi de sağlayabilmektedir [1,2]. Akıllı şebekelerin teşvik edici bir diğer avantajı ise geleneksel şebekenin merkezi olması ve mevcut yapısının eskimiş olmasından kaynaklanan problemleridir [3,4-6].

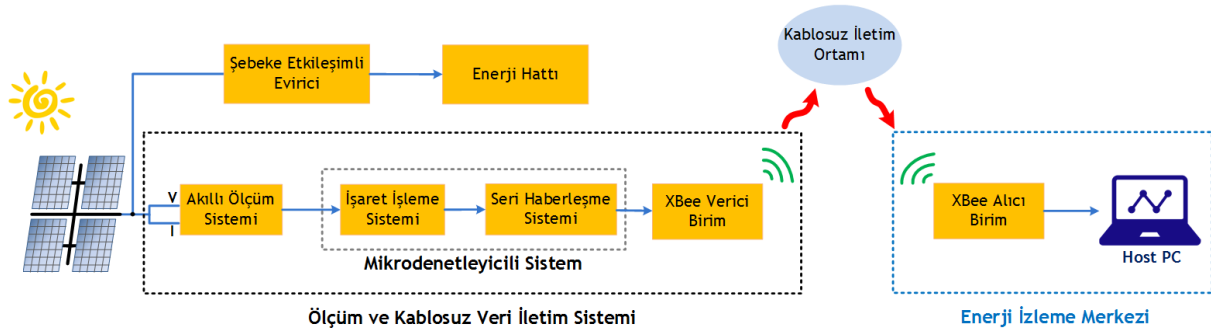
Akıllı şebekeler konusundaki ilk araştırmalar, üretim merkezleri ile müşterilerin etkileşimi üzerine olan gelecek enerji ağlarının planlanması ve tasarlanması aşamalarını kapsamıştır. Ekonomik yönlerinin yanı sıra akıllı şebekelerin güvenliği, sürdürülebilirliği, verimliliği ve kararlılığı da göz önünde bulundurulmadır [7,8]. Son zamanlardaki akıllı şebeke çalışmaları otomatik gerilim ve frekans kontrolü, eğim (droop) kontrolü, aktif/reaktif güç kontrolü, talep tarafı yönetimi, mikro şebeke entegrasyonu, siber güvenli iletişim ve işlemsel zeka yöntemleridir [3,9]. Akıllı şebeke kavramı altyapı, yönetim ve koruma olmak üzere üç ana başlık ile analiz edilebilir. Akıllı şebekelerin altyapısı akıllı üretimin en yüksek payını, iletim ve dağıtım sistemlerini, ölçüm, izleme ve iletişim bölümlerini içermektedir. Alternatif enerji kaynaklarının büyük kısmı, mikro şebekeler ve temiz enerji kaynakları altyapı sınıfına dahildir [1,10]. İleri güç elektroniği, algılama ve ölçüm teknolojileri de akıllı şebekelerin gelişimini güç yönetimi ve talep kontrolü açısından sağlayan altyapı konularıdır. Adaptif iletişim ve akıllı kontrol olanakları hızlı, doğru ve gerçek zamanlı kontrole izin vermektedir [10,11]. Akıllı altyapı, enerjisine ve iletişim altyapısına bağlı olarak çift yönlü enerji ve veri akışı sağlayabilmektedir. Diğer taraftan ise tek yönlü geleneksel elektrik şebekesi, enerjinin üretilmesi ve sadece yük tarafına iletim hatları ile iletilmesi temeli üzerine kuruludur. Bununla birlikte akıllı şebekeler, enerji üretip mikro üretim kaynağı olarak ana şebekede iki yönlü enerji akışı sağlamaya izin vermektedir. Bu mikro şebekeler dizel jeneratörler gibi geleneksel sistemler olabileceği gibi rüzgar, güneş, yakıt pili sistemleri gibi alternatif kaynaklar da olabilmektedir. Akıllı iletişim altyapısı ise akıllı şebekelerin tüm üretim ve tüketim birimlerinin ölçüm ve enerji izleme amaçlarını kapsamaktadır [1,10]. Akıllı yönetim sistemleri enerji verimliliği, talep profili, enerji kaybının önlenmesi, maliyet ve fiyatlandırma, çeşitli optimizasyon süreçleri, makine öğrenmesi ve kontrol servisleri gibi bazı amaçları gerektirir. Akıllı iletişim ve zeki alt sistemler ise alt yapı bileşenleri olmalarının yanı sıra yönetim sistemleri ile de ilgilidir. Bu yüzden güvenilirlik, tahmin, lokalizasyon ve güvenlik konularını kapsayan akıllı koruma sistemleri akıllı şebekelerin en güncel araştırma alanlarıdır. Ölçüm ve enerji izleme gereksinimleri bu perspektifte değerlendirilmektedir. Akıllı ölçüm sistemleri önceden tanımlanmış aralıklarda enerji tüketimi ve diğer ilgili fatura parametrelerini ölçmektedirler. Ölçülen veriler iletişim protokollerine göre modüle edilirler ve yönetim sistemine kablolu veya kablosuz ağlar üzerinden iletilirler. Gelişmiş ölçme altyapısı (GÖA-advanced metering infrastructure, AMI), geleneksel otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS-automated meter reading, AMR) ve otomatik ölçüm yönetim (automatic meter management, AMM) sistemlerinin gelişmiş türü olarak kabul edilmektedir. GÖA, akıllı sayaçlar (smart meters, SM), ev alan ağı (home area networks, HAN), geniş alan ağı (wide area networks, WAN) ve ağ komşuları (neighborhood networks) gibi çeşitli gelişmiş teknolojileri içermektedir [3,9,10].

Akıllı şebekelerin gelişimi sadece akıllı enerji altyapısı ve güç elektroniği tarafından değil aynı zamanda yüksek seviyeli bilgi altyapısı, ölçüm, yaygın bir iletişim altyapısı sağlayan enerji izleme birimleri tarafından da desteklenmektedir. Bu nedenle çift yönlü akış enerjinin yanı sıra iletişim sistemlerine de bağlıdır. Dolayısıyla akıllı şebekeler enerji üretim, iletim, dağıtım ve tüketim birimleri ile ilintili dağıtılmış bilgi sistemleri ile birlikte kurulmalıdır. Akıllı ölçüm sistemleri sensörler, ağ yapıları ve faz ölçüm birimlerine ihtiyaç duymaktadır. Akıllı şebekelerin en önemli başarılarından birisi her bir kullanıcının güç kalitesi ve enerji tüketim verilerinin alınması, ölçülmesi ve analizini gerçekleştirmek için kullanılan GÖA sistemleridir [3]. Ölçüm ve enerji izleme sistemleri güvenilirlik ve hizmet kalitesini sürdürebilmek için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, tek fazlı elektrik şebekeleri için bir GÖA sisteminin tasarımı ve uygulaması bu çalışmada sunulmaktadır. Tasarlanan GÖA sistemi, akıllı şebeke yönetim sisteminin ölçüm, izleme ve iletişim bileşenlerini içermektedir. Akıllı ölçüm sistemi, tek fazlı elektrik şebekelerinde kullanılabilecek şekilde tasarlanmış olup, bu çalışmada özel olarak güneş enerji sistemleri için test edilmiştir. Akıllı ölçüm sistemi güneş panelinin çıkış akım ve gerilim değerlerini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Akıllı ölçüm sistemi ile algılanan akım ve gerilim değerleri kablosuz iletişim yöntemi ile enerji izleme birimine aktarılmaktadır. İletişim altyapısı ZigBee protokolüne bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte ölçüm verilerinin uzaktan izlenebilmesini sağlayacak bir arayüz yazılımı tasarlanmıştır. Enerji izleme yazılımı Visual Studio.Net programında C# programlama dili

kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen yazılım ile anlık enerji takibi yapılabildiği gibi güneş panellerinin saatlik enerji üretim eğrileri de izlenebilmektedir.

## 2. KABLOSUZ ENERJİ İZLEME SİSTEMİ (WIRELESS ENERGY MONITORING SYSTEM)

Uzaktan izleme ve akıllı ölçme özelliklerine sahip GÖA sisteminin blok diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. Blok diyagramdan görülebileceği gibi güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisinin akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi sağlanmaktadır. Bu ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi için yazarlar tarafından tasarlanmış olan ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan ölçüm sistemleri CASR 25-NP akım algılayıcısı temelli bir sistem olup, bu sistemin doğruluk, verimlilik ve maliyet gibi üstünlükleri yazarlar tarafından daha önceki bilimsel çalışmalarda araştırılmıştır [12,13]. Akım ve gerilim ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen analog işaret kalibrasyon ve analog/sayısal dönüşüm (ASD) işlemlerini gerçekleştirecek olan devre yapısına uygulanmaktadır. Kalibrasyon ve ASD işlemleri PIC 18F4620 mikrodenetleyicisi kullanan ve yazarlar tarafından tasarlanan elektronik kart ile gerçekleştirilmektedir. Sayısal işarete dönüştürülen ölçüm verileri, mikrodenetleyiciden XBee verici modüle aktarılmaktadır. XBee modüller, ZigBee iletişim protokolünü kullanan kablosuz iletişim modülleridir. XBee modüllere aktarılan sayısal ölçüm verileri kablosuz iletişim vasıtasıyla enerji izleme birimine gönderilmektedir. Enerji izleme birimindeki alıcı XBee modül ise aldığı ölçüm verilerini enerji izleme yazılımına iletmektedir. Enerji izleme yazılımında ise alınan veriler öncelikle düzenlenmekte ardından hem göstergelere aktarılmakta hem de veri tabanına kaydedilmektedir.



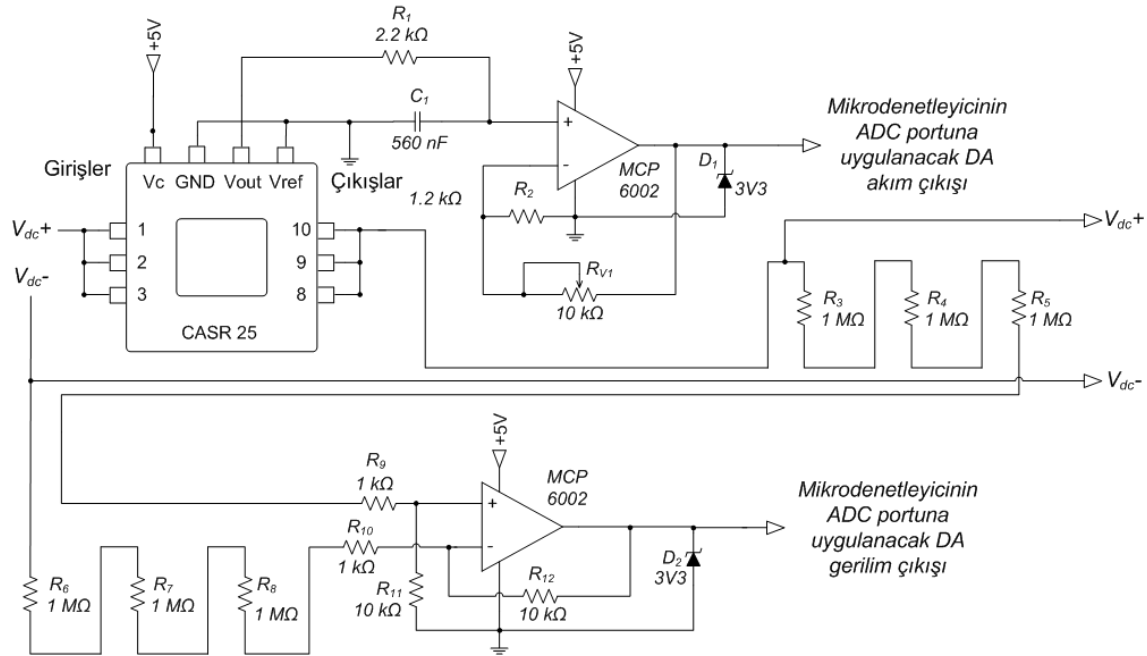
Şekil 1. Akıllı şebekeler için tasarlanan enerji izleme sistemi.

### 2.1. Akıllı Ölçüm Sistemi (Smart Metering System)

Akıllı ölçüm sistemini oluşturan akım ve gerilim algılama sistemine ait devre yapısının elektriksel şeması Şekil 2’de verilmektedir. Tasarlanan algılama sistemini oluşturan ana parçalar CASR25-NP akım sensörü [14] ve MCP6002 işlemsel yükseltecidir [15]. Tasarımda kullanılan sensör alternatif akım (AA), doğru akım (DA) ve darbeli işaretleri algılayabilme özelliğine sahiptir. CASR25-NP akım sensörünün önemli bir diğer özelliği ise giriş ve çıkış terminaleri arasında 4,1kV’a kadar galvanik izolasyona sahip olmasıdır. Kullanılan MCP6002 işlemsel yükselteci ise 4kV’a kadar elektrostatik koruma gerilim sınırına sahiptir. Bu işlemsel yükselteç, bir kılıf içerisinde iki bağımsız devreye sahip olup 1,8V ile 6V aralığı gibi geniş bir besleme gerilimi aralığında çalıştırılabilir. Tasarlanan ölçüm sisteminin en önemli özelliklerinden birisi; Hall etkili sensörlerin ihtiyaç duyduğu  $\pm 15V$  simetrik besleme gerilimi yerine sadece +5V’luk besleme gerilimi ile tüm sistemin çalıştırılabilmesidir. Yazarlar tarafından tasarlanan ölçüm sisteminin doğruluk, verimlilik ve maliyet açılarından üstünlükler sağladığı bilimsel olarak araştırılmış ve doğrulanmıştır [12,13].

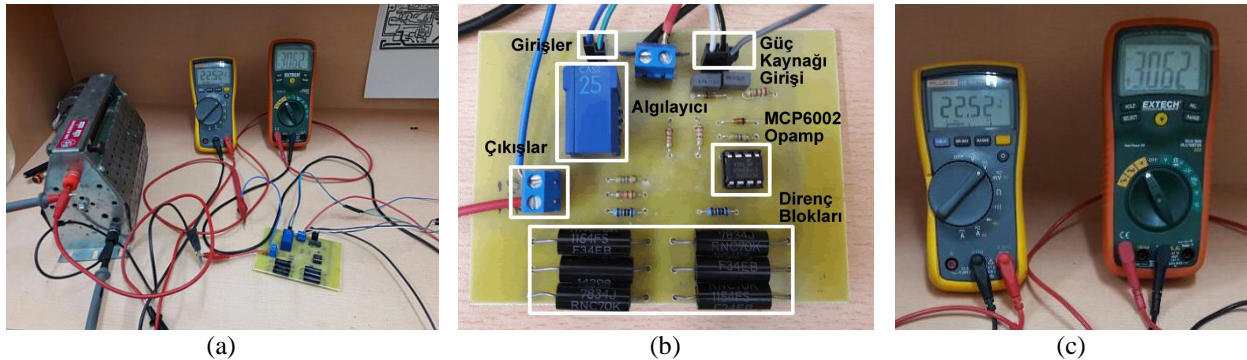
Tasarlanan ölçüm sisteminin elektriksel şeması incelendiğinde, ölçüm sisteminin hat akım ve gerilim değerlerini pozitif terminal üzerinden gerçekleştirdiği görülmektedir. Elektriksel şemada DA hattın pozitif terminali  $V_{DC+}$  olarak ifade edilmektedir. Güç ve işaret bölümleri arasında ayırım yapılabilmesi için akım algılayıcısının negatif terminali ile besleme kaynağının negatif terminali arasında fiziksel bir bağlantı gerçekleştirilmemiştir. Algılama işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için akım ve gerilim büyüklükleri doğrudan CASR25-NP algılayıcısının giriş terminallerine uygulanmaktadır. Bu algılayıcı aynı zamanda giriş bağlantılarında değişiklik yapılarak ölçüm aralığının ayarlanabilmesine de imkan tanımaktadır. Eğer algılayıcının giriş ve çıkış uçları kendi arasında kısa devre edilerek bir ölçüm sistemi oluşturulursa bu

durumda 25A üst değerine kadar algılama gerçekleştirilebilmektedir. Algılama işlemi gerçekleştirildikten sonra algılayıcı çıkışı bir diferansiyel yükselteç devresine uygulanarak ölçüm sonucunun değerinin elde edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2. Tasarımı gerçekleştirilen akıllı ölçüm sisteminin elektriksel şeması [13].

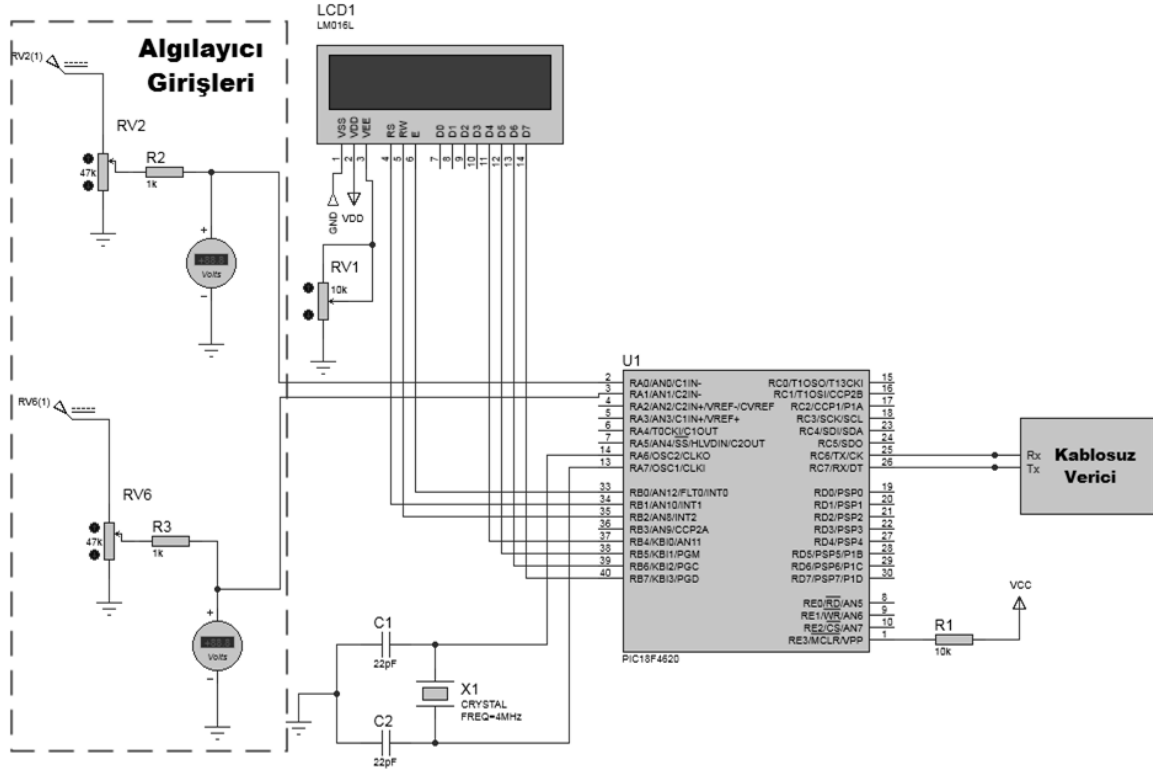
Şekil 2’de sunulan elektriksel şemanın alt kısmı gerilim algılama sistemini içermektedir. CASR25-NP algılayıcısı ile hem akım hem de gerilim algılama işleminin gerçekleştirilebilmesi için akım işaretinin direnç blokları kullanılarak gerilim işaretine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Gerilim algılama kısmında da algılanan DA gerilim değeri doğrudan bir diferansiyel yükselteç devresine uygulanmaktadır. Tasarımda kullanılan  $R_{v1}$  potansiyometresi ile ölçüm sisteminin dönüştürme oranı ayarlanabilmektedir. Bu tasarımda dönüştürme oranları 1V için 7,24mV, 1A için ise 153mV olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte tasarlanan ölçüm sisteminin farklı bir ölçüm sistemi ile maliyet, avantaj ve dezavantaj açısından karşılaştırılmış olup, önerilen sistemin avantajları [12] numaralı çalışma ile doğrulanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen akıllı ölçüm sisteminin sağladığı iki önemli avantaj bulunmaktadır. Bu avantajlardan birincisi ölçüm sisteminin sadece tek bir +5V’luk güç kaynağı ile çalışabilmesi iken ikinci önemli avantaj çok düşük maliyetli bir ölçüm sistemi olmasıdır. Akım ve gerilim algılama sisteminin tasarımı doğrulandıktan sonra sistemin baskı devresi de gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ölçüm sisteminin pratik uygulaması ve test işlemlerine ait görüntüler Şekil 3 ile verilmektedir.



Şekil 3. Akıllı ölçüm sisteminin uygulama devresi ve test işlemleri, (a) Ölçüm sisteminin test edilmesi, (b) ölçüm sisteminin pratik devresi, (c) Test ölçümü sonuçları.

## 2.2. İşaret İşleme Sistemi (Signal Processing System)

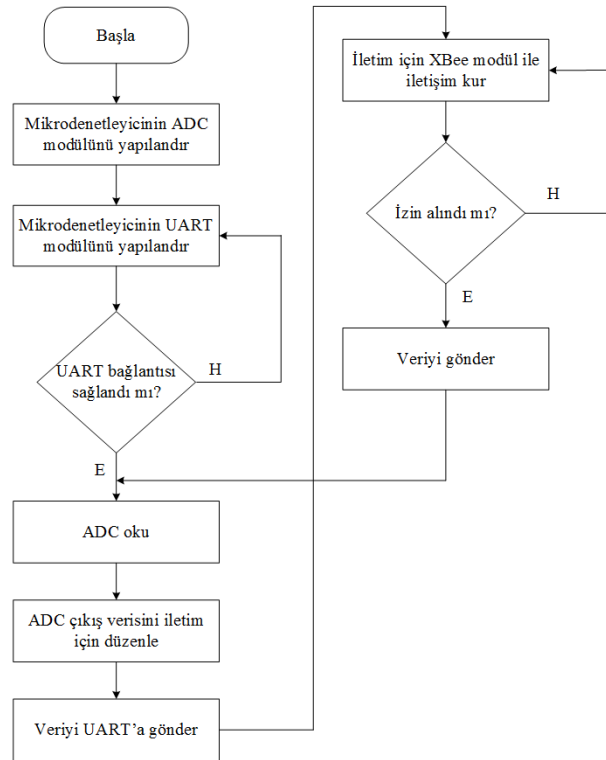
Akıllı ölçüm sisteminden gelen işaretlerin düzenlenmesi, sayısal işarete dönüştürülmesi ve iletişim sistemine aktarımının sağlanabilmesi için bir işaret işleme sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin pratik olarak gerçekleştirilmesinden önce, akıllı ölçüm sistemine benzer şekilde, ilk olarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İşaret işleme sisteminin tasarımının gerçekleştirilmesi ve analiz edilmesi aşamasında Proteus ISIS simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon programında oluşturulan işaret işleme sisteminin görüntüsü Şekil 4 ile verilmektedir.



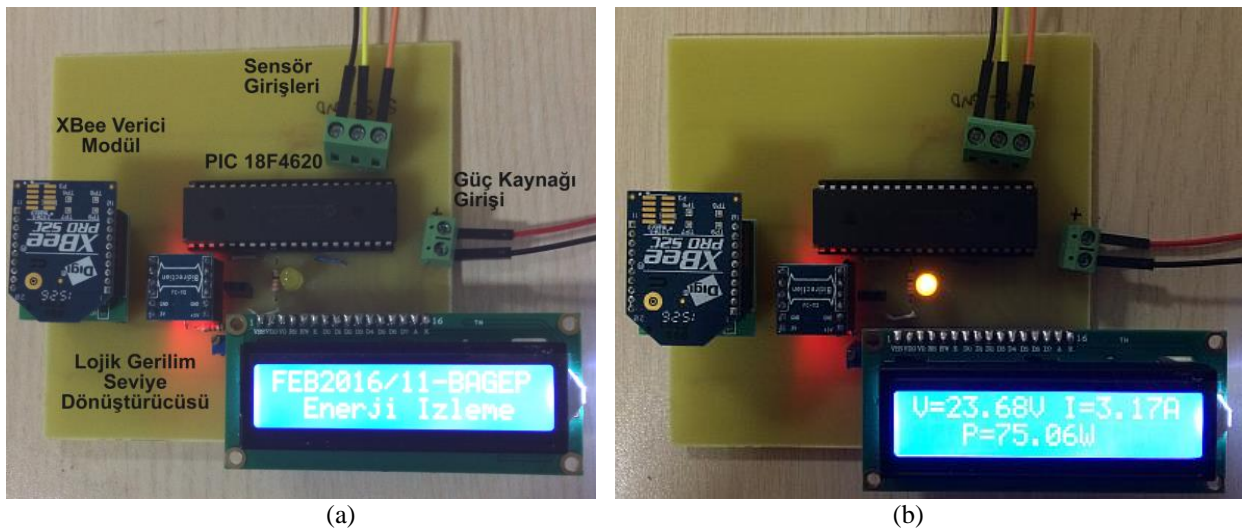
Şekil 4. İşaret işleme sisteminin tasarım görüntüsü.

İşaret işleme sisteminin işlem adımları öncelikli olarak akıllı ölçüm sisteminden gelen işaretlerin sayısal işaretlere dönüştürülmesi, edinilen sayısal işaretlerin düzenlenmesi ve mikrodenetleyicinin evrensel asenkron alıcı/verici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART) birimi kullanılarak ölçüm verilerinin iletişim modülüne aktarımının sağlanmasıdır. Tasarlanan işaret işleme sisteminde bahsedilen bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde Microchip firmasının 18F4620 mikrodenetleyicisinin [16] kullanımı tercih edilmiştir. Bu mikrodenetleyicinin tercih edilme sebepleri, 10 bitlik 13 kanallı ASD modülü içermesi, 10 MIPS işlemci hızı sunması, 3986 Bayt geçici hafızaya sahip olmasıdır. Akıllı ölçüm sisteminden edinilen akım ve gerilim bilgileri öncelikli olarak mikrodenetleyicinin ASD terminallerine uygulanmaktadır. Mikrodenetleyicinin ASD portuna gelen akım ve gerilim ölçüm değerleri mikrodenetleyici tarafından sayısal işarete dönüştürülüp belleğe kaydedilmektedir. Mikrodenetleyicinin belleğine gelen sayısal işaret formatına dönüştürülmüş ölçüm verileri uygun şekilde düzenlenerek (paralel veri türünden seri veri türüne dönüştürülerek) mikrodenetleyicinin UART birimine aktarılmaktadır. XBee verici modül ile mikrodenetleyicinin UART portları ilişkilendirilmiş olduğundan, UART birimine gelen işlenmiş ölçüm verileri doğrudan kablosuz verici birime aktarılmaktadır. Bu işlemleri gerçekleştirebilmesi için hazırlanan mikrodenetleyici yazılımının akış diyagramı Şekil 5'te görülmektedir. Tasarlanan sistemde iletişim altyapısı olarak ZigBee protokolünü kullanan XBee modüller kullanılmakta olup, kullanılan modül türü PCB antenli XBee Pro S2C modüllerdir. Tasarlanan işaret işleme sisteminin gerçekleştirilen simülasyon ve analizler ile doğruluğunun belirlenmesinin ardından sistemin pratik uygulaması gerçekleştirilmiş olup, pratik devre yapısı Şekil 6'da görülmektedir.





Şekil 5. İşaret işleme sisteminde kullanılan mikrodenetleyici için oluşturulan yazılımın akış diyagramı.



Şekil 6. İşaret işleme sisteminin pratik gerçekleştirilmiş hali, (a) Açılış ekran görüntüsü, (b) Örnek bir ölçüm ekranı.

### 3. UZAKTAN İZLEME YAZILIMI TASARIMI (DESIGN OF REMOTE MONITORING SOFTWARE)

Güneş panellerinin akım, gerilim ve elektriksel güç büyüklüklerinin takip edilebilmesi için tasarlanan uzaktan izleme yazılımı bu bölümde açıklanmaktadır. Enerji izleme merkezi adı verilen alıcı birime ölçüm verilerinin kablosuz iletişim yöntemi ile aktarımı sağlanmaktadır. Enerji izleme merkezi verici birime benzer şekilde bir PCB antenli XBee Pro S2C modül içermektedir. İletişim sistemi koordinatörü olarak ayarlanan bu modül görüntüleme ve veri depolama işlemlerinin gerçekleştirileceği bilgisayara USB portundan bağlı olarak çalışmaktadır. Alıcı XBee modülü PCB anteninden aldığı işaretlerden mesaj işaretini elde edebilmek için öncelikle alıcı birimde gerçekleştirilen kodlama ve modülasyon işlemlerinin tersi olan kod çözme ve demodülasyon işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu işlemleri gerçekleştirdikten

sonra elde ettiği ölçüm verilerini içeren mesaj işaretini USB portu üzerinden bilgisayara aktarmaktadır. Bilgisayara gelen bu işaretlerden ölçüm verilerinin elde edilebilmesi ve gerçek zamanlı izleme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için Microsoft Visual Studio.Net yazılımında C# programlama dili kullanılarak bir yazılım tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yazılım iki önemli işlem gerçekleştirmektedir. Bu işlemlerden birincisi yerel bilgisayara alıcı XBee modülden gelen verilerin depolanmasıdır. İkinci işlem ise alınan bu verilerin bir veri tabanına kaydedilmesi işlemidir. Alınan verilerin veri tabanına kayıt işleminin gerçekleştirilebilmesi için Microsoft Access yazılımının kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca oluşturulan veri tabanı ile gerçek zamanlı uzaktan izleme yazılımı arasında bağlantı kurularak iki sistemin eş zamanlı çalışması sağlanmıştır. Veri tabanına kayıt edilmiş olan örnek akım, gerilim ve güç ölçüm değerleri Şekil 7'deki veri tabanı ekranında görülmektedir. Ölçüm verilerinin kayıt işlemi gerçekleştirilirken aynı zamanda her ölçüm verisi için tarih ve zaman etiketi de eklenmektedir. Gerçek zamanlı uzaktan izleme yazılımının ekran görüntüsü ise Şekil 8 ile verilmektedir.

d_day	d_hour	pv_voltage	pv_current	pv_power
01.01.2017	11:00:00	23,350	4,110	96,120
01.01.2017	11:00:10	24,500	4,000	98,190
01.01.2017	11:00:20	23,190	3,450	80,180
01.01.2017	11:00:30	22,750	2,600	59,350
01.01.2017	11:00:40	24,430	2,610	63,830
01.01.2017	11:00:50	26,240	3,030	79,770
01.01.2017	11:01:00	25,480	4,020	102,580
01.01.2017	11:01:10	23,610	4,020	95,070
01.01.2017	11:01:20	24,390	2,870	70,210
01.01.2017	11:01:30	25,000	2,680	67,170
01.01.2017	11:01:40	23,350	3,550	82,980
01.01.2017	11:01:50	22,590	3,900	88,220
01.01.2017	11:02:00	23,260	3,370	78,450
01.01.2017	11:02:10	24,170	2,620	63,500
01.01.2017	11:02:20	25,630	2,960	76,120
01.01.2017	11:02:30	25,600	3,360	86,150
01.01.2017	11:02:40	25,380	3,510	89,300
01.01.2017	11:02:50	22,760	4,090	93,280
01.01.2017	11:03:00	24,970	4,070	101,630
01.01.2017	11:03:10	24,350	2,990	73,000
01.01.2017	11:03:20	24,140	3,460	83,640
01.01.2017	11:03:30	25,240	4,130	104,260
01.01.2017	11:03:40	24,420	3,150	76,990
01.01.2017	11:03:50	22,580	2,910	65,900
01.01.2017	11:04:00	25,990	2,990	77,840
01.01.2017	11:04:10	24,670	2,410	59,480
01.01.2017	11:04:20	23,230	2,870	66,800

Şekil 7. Veri tabanına kaydedilmiş günlük ölçüm verileri için örnek ekran görüntüsü.



Şekil 8. Tasarlanan uzaktan izleme yazılımının ara yüzü.

İncelenen sistemde kullanılan güneş paneli 250W güce sahip olup parametrik değerleri ise 29.98V maksimum güç gerilimi, 8.34A maksimum güç akımı, 37.41V açık devre gerilimi ve 8.79A kısa devre akımı şeklindedir. Tasarlanan uzaktan izleme ara yüzü Şekil 8'de görüldüğü gibi ölçülen değerleri iki farklı türde gösterebilmektedir. Bu görüntüleme yöntemlerinden birincisi ölçülen değerleri göstergeler kullanarak, ikincisi ise grafiksel değişimler şeklinde göstermek için tasarlanmıştır. Ara yüzde kullanılan göstergeler anlık ölçüm verilerinin gerçek zamanlı değişimleri için kullanılırken, grafiksel gösterim güneş panelinin saatlik ürettiği gücün değişimini vermektedir. Grafiksel değişimin çiziminde veri tabanına kaydedilmiş ölçüm verileri kullanılmaktadır.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada akıllı şebekeler için kullanılabilecek olan akıllı ölçüm sistemi ve gerçek zamanlı uzaktan izleme sisteminin tasarım ve uygulamasının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan akıllı ölçüm sistemi DA akım ve gerilim büyüklüklerinin çok düşük hata ile algılanmasını sağlamaktadır. Tasarlanan ölçüm sisteminin Hall etkili sensör kullanan ölçüm sistemlerine göre maliyet ve tasarım açısından önemli avantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ölçüm sisteminin üstünlükleri sadece tek bir güç kaynağı ile çalışabilmesi ve çok düşük maliyetli olmasıdır. Ölçüm sisteminden alınan verilerin işlenebilmesi ve iletişim modüllerine uygun formatla aktarılabilmesi için mikrodenetleyicili bir işaret işleme sistemi tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin iletişim altyapısı ZigBee iletişim protokolünü kullanan XBee iletişim modülleri ile gerçekleştirilmiştir. İletişim altyapısının oluşturulmasında özellikle bu modüllerin tercih edilme sebepleri düşük maliyetli olmaları, programlanmalarının kolay olması ve düşük güç tüketimleri şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte enerji izleme merkezi adı verilen ve alıcı birimi içeren uzak noktadaki birim için Visual Studio.Net programı ve C# programlama dili kullanılarak bir ara yüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar ile önerilen gerçek zamanlı izleme ve akıllı ölçüm sistemi, güneş panellerinin akım, gerilim ve güç büyüklüklerinin etkin şekilde takip edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: FEB 2016/11-BAGEP, 2016.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang, Smart grid-the new and improved power grid: A survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 14: 4 (2012) 944-980.
- [2] R. DeBlasio, C. Tom, Standards for the smart grid. IEEE Energy 2030 Conference (ENERGY), Abu Dhabi, pp. 1-7, 4-5 Nov. 2008.
- [3] Y. Kabalci, A survey on smart metering and smart grid communication. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57: 5 (2016) 302-318.
- [4] S. Collier, Ten steps to a smarter grid. IEEE Industry Applications Magazine, 16: 2 (2010) 62-68.
- [5] C.H. Lo, N. Ansari, The progressive smart grid system from both power and communications aspects. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 14: 3 (2012) 799-821.
- [6] M. Kolhe, Smart grid: charting a new energy future: research, development and demonstration. The Electricity Journal, 25 (2012) 88-93.
- [7] A. Ipakchi, F. Albuyeh, Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine, 7 (2009) 52-62.
- [8] M. Goulden, B. Bedwell, S. Rennick-Egglestone, T. Rodden, A. Spence, Smart grids, smart users? The role of the user in demand side management. Energy Research & Social Science, 2 (2014) 21-29.

- [9] P. Siano, Demand response and smart grids-A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30 (2014) 461-478.
- [10] L. Fangxing, Q. Wei, S. Hongbin, et al., Smart transmission grid: Vision and framework. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1 (2010) 168-177.
- [11] M. Sechilariu, B. Wang, F. Locment, Building-integrated microgrid: Advanced local energy management for forthcoming smart power grid communication. *Energy and Buildings*, 59 (2013) 236-243.
- [12] Y. Kabalci, E. Kabalci, A low cost smart metering system design for smart grid applications. 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2016), Ploiești, Romania, pp. EC&E 1-6, 30 June-02 July 2016.
- [13] Y. Kabalci, E. Kabalci, The low cost voltage and current measurement device design for power converters. 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2016), Ploiești, Romania, pp. 1-6, 30 June-02 July 2016.
- [14] Current transducer CASR series Datasheet, <https://goo.gl/Hhnaa1>
- [15] MCP6001/1R/1U/2/4 1 MHz, Low-Power Op Amp, <https://goo.gl/MKv4cm>
- [16] PIC18F2525/2620/4525/4620 Data Sheet, 28/40/44-Pin enhanced flash microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt technology, <https://goo.gl/I5J2E8>



## Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları

Fatma ÇANKA KILIÇ<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, Kocaeli, Türkiye.

### Öz

Bu çalışmada bir sanayi kuruluşuna ait 7 bar basınç ve 185 °C' de 4200 kg/h nominal buhar üretim kapasitesine sahip bir doğalgaz yakıtlı kazanda, enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar sunulmuştur. Bu doğrultuda, kazan işletme koşullarında kütle ve enerji dengesine yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verileri sıcaklık, basınç, hız ve gaz analizleri kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Kütle ve enerji dengelerinden yola çıkılarak, kazan verimi, potansiyel tasarruf alanları, tasarrufun boyutu, yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ölçüm verileri kullanılarak kazan verimi %90,20 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen temel verim kayıpları: kazanın yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması, yüzey ısı kayıpları ve yüksek baca gazı sıcaklığı kaybı olarak sıralanabilir. Kazanın optimum hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması ile yıllık 222.471.949 kcal'lik enerji ve 6.742 USD mali tasarruf; yüzey ısı kayıpları giderilmesi ile 171.525.170,8 kcal enerji, 5198 USD mali tasarruf ve baca gazı sıcaklığının geri kazanımı ile 764.717.800 kcal enerji ve 18.538,62 USD mali tasarruf elde etmek mümkün olacaktır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 21/06/2016

Düzeltilme: 25/11/2016

Kabul: 05/01/2017

### Anahtar Kelimeler

Buhar Kazanı  
Enerji Verimliliği  
Enerji Tasarrufu  
Enerji Etüdü

### Keywords

Steam Boiler  
Energy Efficiency  
Energy Savings  
Energy Audit

## Energy efficiency and Emission Reduction Opportunities in the Industrial Boilers

### Abstract

In this study, energy efficiency studies have been realized in a natural gas fueled boiler, which has been operating at the pressure value of 7 bar and temperature of 185 °C with a nominal capacity of 4200 kg/h vapor in an industrial establishment. In this context, there have been some measurements were realized to form energy and mass balances in the boiler. The energy and mass balances have been established by using the measurement data such as pressure, temperature, velocity, and gas analysis. By using the energy and mass balances, boiler efficiency, potential energy saving areas, savings amounts, investment costs and payback periods are calculated, accordingly. By using the measured data, the boiler efficiency was also calculated as %90,20. The main efficiency losses can be listed as; operating the boiler at the high air excessiveness coefficient, surface thermal losses and high flue gas temperatures. By operating the boiler at optimum excess air coefficients, the energy and financial savings can be realized as the amount of 222.471.949 kcal and 6.742 USD per year, respectively; by eliminating surface heat losses, the energy and financial savings can be achieved as the amount of 171.525.170,8 kcal and 5.198 USD per year, respectively; by recovering the flue gas temperature the energy and financial savings can be obtained as the amount of 764.717.800 kcal and 18.538,62 USD per year, respectively.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genel olarak kazanlar, yakıttaki kimyasal enerjiyi ısı enerjisi şeklinde açığa çıkartarak taşıyıcı akışkana ileten ve basınç altında çalışan kapalı kaplar olarak tanımlanırlar [1]. Buhar kazanı ise istenilen basınç, sıcaklık ve debide buhar üreten cihazlar olarak ifade edilirler [2].

Kullanılan ihtiyaca göre çok değişik türlerde üretilen kazanlar, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından oldukça pahalı enerji üreteçleridir. Bu nedenle, kazan kullanım amacına uygun seçilmeli, işletilmesinde ve bakımında gerekli özen gösterilmelidir. Kazan seçiminde; kazanın kullanım amacı, üretilecek buhar miktarı, basınç ve sıcaklığı, besleme suyunun kazana giriş sıcaklığı, suyun sertlik derecesi, kullanılacak yakıtın cinsi, yakıtın alt ısıl değeri ve analizi ve yakıtın fiyatı gibi esaslar göz önüne alınarak ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır [2].

\*İletişim yazarı, e-mail: fatmacanka@hotmail.com

Bu çalışma endüstriyel bir kuruluşun isteği üzerine yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı kurumda mevcut 4.200 kg/h nominal buhar üretim kapasiteli (7 bar basınç, 185 °C sıcaklıkta) doğalgaz yakıtlı bir buhar kazanında; verim düşüklüğü nedenlerini belirleyerek sorunun çözümüne yönelik öneriler sunmak, kazan ısı verim kayıplarını miktarlarıyla tespit etmek, kayıpları gidermek için gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süresini tespit etmektir.

## 2. KAZAN VERİMLİLİĞİ VE VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kazan ısı verimleri hesabında direkt ve dolaylı olmak üzere iki yöntem mevcuttur.

Birinci yöntemde (direkt yöntem):

- Besi suyu ve buhar miktarları,
- Besi suyu ve ara buharın sıcaklık ve basınçları,
- Yakıt besleme miktarı,
- Yakıt alt ısı değeri ölçülmelidir.

Ölçülen bu değerler yardımıyla kazan verimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta = \frac{m_b i_b - m_s i_s}{B H_u} \quad (1)$$

Burada,

$m_b$ : Ölçülen buhar debisi (kg/h),

$m_s$ : Ölçülen su debisi (kg/h),

$i_b$ : Buhar entalpisi (kcal/kg),

$i_s$ : Besi suyu entalpisi (kcal/kg),

$B$ : Ölçülen yakıt debisi (kg/h),

$H_u$ : Yakıtın alt ısı değeri (kcal /kg).

Dolaylı yöntemde ısı verim,

$$\eta = 1 - \sum Z \quad (2)$$

ifadesi ile belirlenir. Burada;  $Z$  % olarak çeşitli ısı kayıplardır.

Direkt yöntemlerde kazan giriş, yakıt, su, çıkış baca gazı kompozisyonu, buhar çıkış basınç ve sıcaklık gibi değerler ölçülebilmektedir. Dolaylı yöntemlerde ise bu mümkün olmamaktadır bunun yerine kayıplar ayrı ayrı hesaplanarak, toplamı 1'den çıkarılmaktadır. Bir başka ifade ile kazan ısı veriminin hesabı ve kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan dolaylı ve dolaysız metotlardan dolaysız (direkt) metotta, kazan anma ısı gücü, ısıtıcı akışkanın aldığı yararlı ısının ölçülmesi ile bulunur [3]. Bu metodun ana içeriği yanma ile oluşan ısının iş yapan akışkana aktarılan kısmının ölçülmesini ifade eder. Yani dolaysız metotta kazan verimi, deney süresince ısıtıcı akışkana geçen ısının, aynı sürede kazana gönderilen yakıtın alt ısı değeri üzerinden hesaplanan ısıya oranlanması esasına dayalı olarak tespit edilir. Yakma havasının harici ısı ile ısıtılması durumunda, havanın taşıdığı ısı, yakıt ısısına eklenir.

Dolaylı metotta kazan anma ısı gücü, kayıpların göz önünde tutularak hesaplanması esasına göre tespit edilir, yani dolaylı metotta kazan verimi yüzde olarak hesaplanan ısı kayıpların toplamının 100'den çıkarılması ile bulunur [2-7].

Başlıca kayıplar şöyle sıralanabilir: eksik yanma, fazla hava, baca gazında su buharı nedeniyle olan ısı kaybı, baca gazı sıcaklığı, yakıt cinsi, kazan yükü, kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları, ısıtıcı yüzey kirliliği şeklinde sıralamak mümkündür.

## 2.1. Eksik yanma

Eksik yanma, katı ve sıvı yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak kül içinde kalması veya baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit olarak atılması durumunda meydana gelmektedir.

## 2.2. Fazla hava

Kazanlarda yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava yakıt oranı verecek çalışma seviyesinde ayarlanmalıdır. Fazla hava miktarı gereğinden çok olursa, baca gazı miktarını artırır ve artan bu miktardaki hava, baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerji alacağından daha fazla ısınıp bacadan atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması, gaz debisinin, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı fazla hava miktarının mümkün olan en düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için; baca gazındaki O<sub>2</sub> seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir.

## 2.3. Baca gazındaki su buharı nedeniyle olan ısı kaybı

Yakıtlar; serbest nem şeklinde ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı bünyelerinde nem bulundurlar. Yakıtın içerisinde bulunan nem, yanma esnasında buharlaşarak açığa çıkmaktadır. Su buharı olarak açığa çıkan nem, kazandaki faydalı enerjinin bir kısmının bacadan dışarı atılmasına neden olmaktadır. Yakıttaki serbest nemin yanmadan önce mümkün olduğunca azaltılması enerji tasarrufu açısından gereklidir [1].

## 2.4. Baca gazı sıcaklığı

Kazan verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde bacadan atmosfere fazla enerji atılmış olacaktır. Bu durumda kazan verimi düşer. Bacadan atılan enerjinin yüksek olmasının iki ana nedeni vardır. Birincisi ısı transfer yüzeylerinin yetersiz olmasıdır. Bu durumda bacaya hava ön ısıtıcısı veya kızdırıcıları yerleştirilerek baca gazının ısısından faydalanma olanağı sağlanır. İkincisi ise ısı transfer yüzeylerinde oluşan kirliliklerdir. Bu durumda da kazan boruları belirli aralıklarla temizlenmeli, kazana verilen besi suyunun sertliği kontrol edilmelidir. Baca gazında normal sıcaklığın üzerindeki her 17 °C'lik artış verimde yaklaşık olarak %1'lik bir düşüşe sebep olmaktadır [8,9].

## 2.5. Yakıt cinsi

Farklı yakıtlar, farklı oranlarda karbon ve hidrojen ihtiva ettikleri için ısı değerleri, yanma sonucu baca gazındaki nem miktarları, kül, cüruf ve kurum miktarları değişmektedir.

## 2.6. Kazan yükü

Kazanlardan genellikle düşük ve aşırı yükte çalıştırılmadıkları zaman yüksek verim elde edilir. Çekilen yük oranı %50'nin altına düştüğünde ise verim eğrisi hızla düşmektedir. Bu yük düşüşüne bağlı olarak kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının yüzdesi artacaktır. Kazanlar çalıştırılırken, kazan kapasitesi göz önüne alınarak mümkün olduğunca bunlara uyulmalıdır [1]. Kazan aşırı yüklenmesi durumunda yanma verimi düşecek ve baca gazı sıcaklıkları artacaktır. Öte yandan düşük yüklerdeki kayıplar esas olarak durma kayıplarından kaynaklanır. Kazan duruşa geçtiğinde hem dış yüzeylerden hem de baca çekişi nedeniyle iç yüzeylerden soğumaktadır [3]. Kazan yükünün değişmesiyle yakılan yakıt miktarı da değişmektedir. Genel olarak, maksimum verimlere kazan tam yükünün %70'inden yukarı çalıştığı durumlarda ulaşılmaktadır. Bundan dolayı, kazanlar mümkün olduğu kadar tam yüke yakın bir yükte çalıştırılmalarıdır [1].

## 2.7. Kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları

Kazan yüzeyinden oluşan ısı kayıpları, radyasyon ve konveksiyon şeklinde olmaktadır. Modern kazanlarda bu kayıp genel olarak kazan tam yükte çalışıyorsa %1'den küçüktür. Bununla birlikte eski tip kazanlarda bu kayıplar %10'a kadar çıkmaktadır. Kazan yüzey sıcaklığını ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C üstündeki

bir değere düşürecek şekilde yapılmış bir yalıtkan, bu tür kayıpları en aza indirmek açısından yeterli ve uygun olarak kabul edilmektedir.

## 2.8. Isıtıcı yüzey kirliliği

Isıtıcı yüzeylerde kireç taşı ve kurum birikiminin kazan verimi üzerine etkisi büyüktür. Kazanlarda başlangıçta verilen ısı verim değerleri herhangi bir kir tabakasının oluşmadığı, temiz yüzeyli yeni kazanlar içindir. Isı geçişi yüzeylerinin her iki tarafında (su ve duman tarafları) birikecek kirletici tabakalar ısı geçişini önemli ölçüde engeller ve buna bağlı olarak sıcak gazlar ısılarını suya geçirmeden kazanı terk ederler. Böylece artan baca gazı sıcaklığı ile kazan verimi düşer. Duman tarafında özellikle fuel-oil ve kömür yakıldığında kurum birikir. Bu tabakanın temizlenmesi zordur.

Kazalarda son zamanlarda enerji verimliliğine yönelik yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ve bu da endüstriyel gelişim ve verimlilik artırılması bakımından önemlidir [10-14]. Örneğin Kaya ve diğ. (2014) [11] yaptıkları çalışmada bir endüstriyel kuruluştaki bir "enerji verimliliği" çalışması gerçekleştirmiştir. Bu sanayi kuruluşunun kazanı farklı yakıtlarla çalışan, karışık yakıtlı bir kazan olup (katı+gaz) kömür, kok gazı ve yüksek fırın gazı kullanılarak 7000 kPa (70 bar) basınç ve 778.15 K (505 °C) sıcaklıkta çalışmaktadır, nominal kapasitesi 27.77 kg/s (100.000 kg/h) buhardır. Bu bağlamda, çalışma sıcaklığı, basınç, hız ve yanma gazı ölçümleri kazan normal çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm bu ölçümlerle birlikte enerji ve kütle denge denklemleri belirlenmiş ve kazan verimliliği %85.91 olarak hesaplanmıştır. Başlıca verim kayıpları, kazanın yüksek hava fazlalık katsayısında çalıştırılması, döner tip hava ısıtıcılarındaki hava sızıntısı ve yüzey ısı kayıpları olarak belirlenmiştir. Toplam enerji tasarrufu potansiyeli 2.029.692 kcal/h olup yapılacak iyileştirmeler gerçekleştirilebildiğinde kazan verimliliğinin %88.94 olacağı tespit edilmiştir. Bu durumda yılda 4.861,7 ton karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu azaltılması da öngörülmüştür.

Bilindiği gibi suyun içindeki mineraller içindeki ısı transfer yüzeylerinde çökerek kirli bir tabaka oluşturmaktadır (kireç tabakası). Bu kireç tabakası kalınlığı belirli boyutlara ulaştığında yakıt sarfiyatı artmakta, metal deformasyonuna oluşmakta ve beraberinde de delinme ve patlama gibi tehlikeli sonuçlara sebep olmaktadır [15]. Aşağıda Tablo 1’de kazanlarda yüzeylerde oluşan kireç tabakası kalınlıkları ve buna karşılık oluşan yakıt kayıpları görülmektedir.

**Tablo 1.** Kazanlarda yüzeylerde oluşan kireç tabakası kalınlıkları ve buna karşılık oluşan yakıt kayıpları [15]

Kireç tabakası kalınlığı (mm)	Yakıt kaybı (%)
1	5-8
2	10-15
3	25-30
4	30-35
5	35-40

Kazanlarda 2 mm kireç tabakası kalınlığından sonra adım adım termal gerilmelerle konstrüksiyon zorlanmakta, aynalar ve borular arası gerilmelerle irtibat her ısınma ve soğutma işlemleri arasında peş peşe düzeliş bozulmalar yaşanmaktadır. Çünkü metal ile metali örten kireç tabakasının ısı iletkenliği ve gerilmeleri farklıdır. Böylece kazanda ayna-boru bağlantılarından sızdırmalar başlar. Kireç tabakası kalınlığı arttıkça sızdıran boru sayısı da doğal olarak artar. Kireç tabakası kalınlığı 4 mm’ye ulaştığında ise metalin kristal yapısı bozulur ve sertleşme oluşur ve bu yüzden, kazan sistemi güvenli bir şekilde çalıştırılmaz. Ayrıca, külhan çökmesi, boru patlaması, ayna çatlakları gibi tehlikeler de oluşabilir ve yine kirlenme sebebi ile boru çeperlerinin daralması yüzünden hacim küçülmesi, tahliye pompalarının zorlanması gibi sorunlar da ortaya çıkabilir.



Bütün bu problemlerin çözümü için kazanlarda, eşanjörlerde, boilerlerde, kimyasal şartlandırma yapılarak kireç tabakası oluşumuna engel olunması gerekir. Kireç tabakası oluşan sistemlerde kimyasal temizlik uygulaması ise en ucuz ve etkin çözüm sağlamaktadır.

### 3. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Kazan sistemi esas olarak kazan, brülörler, fanlar ve bacadan oluşmuştur. Bu çalışmada, incelemelerin yapıldığı firmaya ait 1 No'lu buhar kazanında enerji tasarrufu potansiyelini belirlemek amacıyla gaz analizi, hız ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm verileri (sıcaklık, basınç, hız, gaz analizleri) kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Kütle ve enerji dengelerinden hareketle, kazanda verim, potansiyel tasarruf alanları ve tasarrufun boyutları hesaplanmıştır. Kazanda yakıt olarak kullanılan doğal gazın debisi sayaçtan alınmış, debi değerleri kullanılarak yanma ürünlerinin bileşenleri ve debileri hesap edilmiştir. Hesap edilen bu değerler kazan çıkışı ve baca çıkışında yapılan gaz analizi, basınç, hız ve sıcaklık ölçümleriyle de doğruluğu kontrol edilmiştir.

Sistemde kullanılan buhar debisinin belirlenmesi amacıyla, su debileri “Panametrics” marka transit zaman ultrasonik debimetre yardımı ile ölçülmüştür. Debimetreye ait iki adet transducer boruya dışarıdan bağlanmış ve akışa paralel şekilde birinci transducer sinyal üretici ikinci ise sinyal alıcı olarak çalıştırılmıştır. Sinyal ulaşma zamanı ölçülerek ses hızı ile arasındaki fark akışkan hızı olarak belirlenmiştir. Cihaz ayrıca boru çapını da ölçtüğünden geçen debi miktarı da online olarak ölçülmüştür. Cihazın ölçtüğü debi ile kazanda mevcut buhar debi ölçerlerin değerleri zaman zaman karşılaştırılmış ve her iki debi ölçerin birbirine çok yakın debileri ölçtüğü görülmüştür.

Kazana giren havanın debileri ise “Testo 435” marka hız-ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Baca gazı ve kazan çıkış gaz analizlerinin ölçümleri için ise elektrokimyasal detektör yöntemi ile çalışan “Testo 350” marka gaz analiz cihazları kullanılmıştır.

“Testo 435” marka cihazla baca gazı hız ve basınç değerleri ölçülmüş ve baca gazı debileri hesaplanmıştır. Baca gazı debilerinin ölçümünden sonra, baca çıkış O<sub>2</sub> yüzdesi ile kazan çıkışta ölçülen O<sub>2</sub> yüzdeslerinden faydalanılarak kazan yanma gazı debisi hesaplanmıştır. Kazana giren besi suyu debisi ise PT878 marka ultrasonik debimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşağıda ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bunlara ait ölçüm parametreleri, ölçüm aralığı ve hassasiyet dereceleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bunlara ait ölçüm parametreleri, ölçüm aralığı ve hassasiyet dereceleri

No	Ölçüm Cihazı	Ölçüm Parametresi	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
1	TESTO 350 BACA GAZI ANALİZ CİHAZI	Gaz (ppm) Sıcaklık (°C) Basınç (hPa)	95 - 210,8 90 - 110 9 - 11	±%2 ±0,27°C ±0,05 hPa
2	TESTO 435-416 MM PERVANELİ HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,5 - 10,1	±0,1
3	TESTO 435-460 MM HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,60 - 10,73	±0,2
4	PT878 ULTRASONİK DEBİMETRE	Debi (m <sup>3</sup> /h)	68,5 - 319,7	±2,61
5	TESTO 435-4 PİTOT TÜP HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,5 - 9,8	±0,1

### 3.1. Ölçüm ve Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kazan verimi, buhar debisi, ortalama doğalgaz ve buhar debileri, buhar ve suyun giriş entalpi değerleri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Kazan verim hesabı

Buhar debisi ( $m_b$ , kg/h)	4.080
Buhar giriş entalpisi ( $i_b$ , kcal/kg)	656,7
Su giriş entalpisi ( $i_s$ , kcal/kg)	103
Entalpi farkı ( $i_b-i_s$ , kcal/kg )	553,71
Suya verilen ısı ( $Q_s=m_b*(i_b-i_s)$ , kcal/h)	2.259.151
Doğal gaz debisi ( $m$ , Nm <sup>3</sup> /h)	304
Yakıt alt isil değeri (kcal/kg)	8.250
Yakıt isisi ( $Q_y=m*Hu$ , kcal/h)	2.504.700
<b>Genel verim (<math>Q_s/Q_y</math>, %)</b>	<b>90,20</b>

Seçilen kazanın (1 No'lu kazan) işletme şartları için kullanılan kazan yanma gazı oksijen oranı ve yanma gazı sıcaklığı Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** 1 No'lu kazan yanma gazı oksijen oranı ve çıkış sıcaklığı

Kazan çıkış gazı oksijen oranı (%)	4,81
Kazan çıkış gazı sıcaklığı (°C)	185

Yakıt miktarı, kazan yanma gazı oksijen yüzdesi ve yakıtın elementel analizleri kullanılarak yanma gazı analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Seçilen 1 No'lu kazan için yakıtın elementel analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri

Yakıt		Gerekli O <sub>2</sub>	Yanma Ürünleri (Nm <sup>3</sup> /h)					
Analiz	%(ob)		CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Argon	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> (%)
Metan	91,2	553,7	277,6	0,0	2.063,6	24,6	602,2	0,0
Etan	3,2	34,1	19,5	0,0	127,1	1,5	32,2	0,0
Propan	1,2	18,2	11,0	0,0	67,9	0,8	16,2	0,0
Bütan	0,2	4,3	2,6	0,0	15,9	0,2	3,7	0,0
Pentan	0,3	7,4	4,7	0,0	27,7	0,3	6,2	0,0
Azot	3,3	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0
Karbondioksit	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam	100,0	617,7	315,4	0,0	2.305,6	27,4	660,4	0,0
Fazla Hava			0,3	0,0	774,2	9,2	18,2	207,7
Gaz Bileşimi %(ob)			7,3	0,0	71,3	0,8	15,7%	4,8

ob: orijinal bazda

Tablo 5 bileşenleri kullanılarak toplam stokiyometrik yanma gazı, teorik yanma havası, fazla hava, teorik toplam yanma havası ve kazan çıkış gazı debileri ve fazla hava oranı hesaplanmıştır (Tablo 6). Hesaplanan debiler, ayrıca baca çıkışında ölçülerek doğruluğu sağlanmıştır.

**Tablo 6.** Seçilen (1 No'lu) kazan için kazan yanma gazı debisi, teorik yanma havası, fazla hava debisi ve oranı

Debi adı	Miktarı
Toplam stokiometrik yanma gazı (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	3.309
Teorik yanma havası (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	3.003
Fazla hava (Nm <sup>3</sup> /h)	1.010
Teorik toplam yanma havası (Nm <sup>3</sup> /h)	4.012
Baca gazı debisi (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	4.318
Fazla hava oranı (%)	33,63

Ölçülen ve hesaplanan değerler kullanılarak kazan için enerji denklikleri kurulmuş sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Seçilen (1 No'lu) kazan için kurulan kütle ve enerji denklikleri

Girişler	Debi (Nm <sup>3</sup> /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	Alt ısı değer (kcal/kg)	Cp (kcal/Nm <sup>3</sup> K)	Q (kcal/h)	Toplamdaki pay (%)
Doğalgaz	304		10	8.250	0,44	2.504.700 (y) 1.336 (d)	83,9
Yakma Havası	4.012	20,57	45		0,32	57.777	0,01
Su	4.080*		103		1,000	420.240	14,1
<b>TOPLAM</b>						2.984.053	100
Çıkışlar	Debi (Nm <sup>3</sup> /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (C)	Entalpi (kcal/kg)	Cp (kcal/Nm <sup>3</sup> K)	Q (kcal/h)	Toplamdaki pay (%)
Baca gazı	4318	4,81	185		0,32	255.655	8,6
Buhar	4080*			656,7		2.679.391	89,8
Kayıplar (yüzey ısı, havadaki nem vb.)						49.007	1,6
Toplam						2.984.053	100

### 3.2. Potansiyel Tasarruf Alanları

#### a) Fazla havanın azaltılması

Seçilen (1 No'lu) kazanda yapılan ölçümlerde, kazanın optimum (doğalgaz için %10) hava fazlalık katsayısının üzerinde çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Bu durumda önemli miktarda hava ısıtılarak atmosfere verilmektedir. Kazanda gaz analizörleri belli aralıklarla alınmalı ve kazan uygun hava fazlalık oranıyla işletilmelidir. Fazla havanın neden olduğu enerji kaybı hesaplanarak Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** Fazla havanın azaltılmasıyla yapılacak tasarruf miktarı

Fazla hava debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	1.010
Fazla hava oranı (%)	34
Hedef fazla hava oranı (%)	10
Cp (kcal/Nm <sup>3</sup> K)	0,32
Havadaki azalma (Nm <sup>3</sup> /h)	709
Hava giriş sıcaklığı (°C)	45
Baca gazı sıcaklığı (°C)	185

Enerji tasarrufu (kcal/h)	31.782
Yıllık kazan op. süresi (saat)	7.000
Yıllık enerji tasarrufu (kcal)	222.471.949
Mali tasarruf (USD/yıl)	6.742

### b) Kazan yüzey kayıplarının azaltılması

Kazanda yüzey kayıplarını belirlemek amacıyla termal kamerayla tüm kazan yüzeyi taranmış ve zayıf yalıtımlı bölgeler tespit edilmiştir. Özellikle seçilen (1 No'lu) kazanda oldukça fazla ısı kaybı tespit edilmiştir. Kazan enerji balansından toplam yüzey kaybı çıkarılmış, bu miktarın %50'lik kısmının giderilmesi durumunda sağlanacak tasarruf Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** Seçilen (1 No'lu) kazan yüzey kayıplarının azaltılması ile sağlanacak enerji ve mali tasarruf

Kazan ısı kayıpları (kcal/h)	49.007
Hedef Azaltma (%)	50
Enerji tasarrufu (kcal/h)	24.504
Yıllık Kazan operasyon süresi (saat)	7.000
Yıllık enerji tasarrufu (Kcal)	171.525.170,8
Maliyet Kazancı (USD/yıl)	5198

### c) Baca gazı sıcaklığının azaltılması

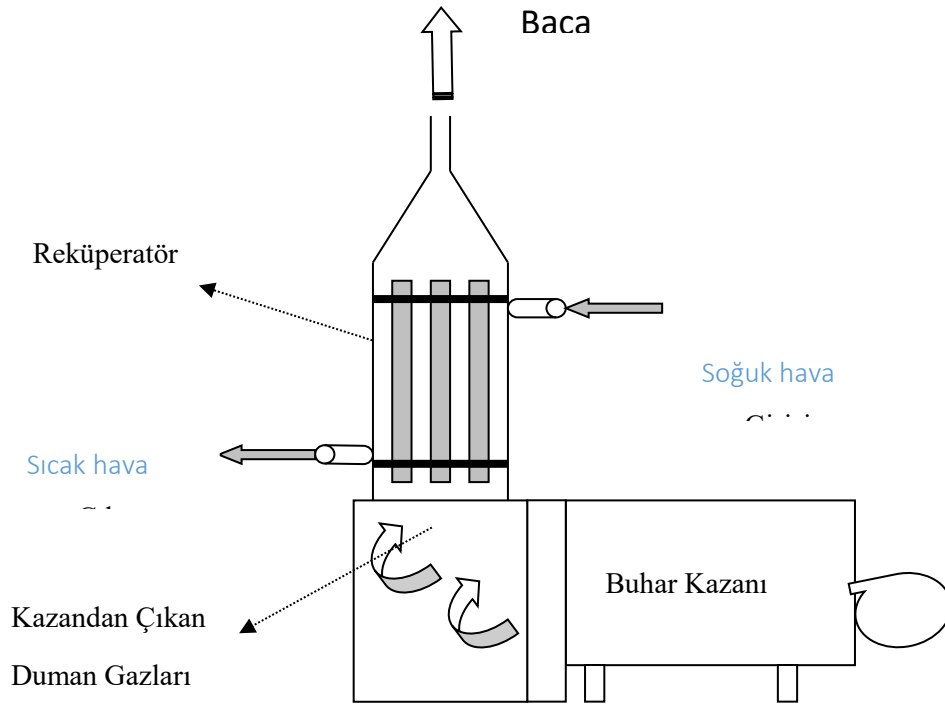
#### Yanmanın verimli olması ve duman gazlarının verimli kullanılması

1. Brülörde yakıt- hava karışımının otomatik ayarlanması gerekmektedir. (Oransal kontrol). Mevcut sistemde oransal kontrol yapılmış durumdadır.
2. Ekonomizör kullanarak hem baca gazının enerjisinin kullanılması, hem de kazan besi suyunun kazana giriş sıcaklığının yükseltilmesi gerekir. Mevcut sistemde kazanda ekonomizör kullanılmıştır.
3. Besleme havası sıcaklığının, brülör için izin verilen sıcaklığa kadar yükseltilmelidir. Mevcut sistemde 1 No'lu kazan için kompresörlerden gelen hava kullanılmış olup, kazan giriş sıcaklığı 33 °C ölçülmüştür. Bu değerde yakıt ekonomisi açısından yeterli değildir. Yanma havası ısıtılması için "reküperatör" kullanılmalıdır (Şekil 1).

#### Yanma Havaısı Isıtılması için Reküperatör Kullanımı:

Kazan verimi yanma havasının baca gazıyla ısıtılmasıyla yükseltilebilir. Yanma havasının 56 °C'ye kadar ısıtılmasıyla verim %2 artar [16].

Yanma havasının baca gazlarıyla ısıtılması kazan verimini yükseltecektir. Çünkü bacadan atılan enerji azalacaktır.



**Şekil 1.** Buhar kazanında rekuperatör kullanımı

Eğer yanma havası başka bir atıl kaynak vasıtasıyla ısıtılırsa, kazan veriminde bir değişiklik olmamasına rağmen yanma kalitesinden dolayı yakıt tasarrufu sağlanacaktır.

### Rekuperatör Kullanılması ile Yapılacak Tasarruf

185 °C olan duman gazının 4318 Nm<sup>3</sup> debi ile rekuperatöre girip, 110 °C sıcaklıkta terk ettiğini kabul edelim, bu enerji ile 25 °C de kazana verilen yanma havası ısıtılarak kazan veriminin yükselmesi temin edilebilir.

Duman gazı için;  $c_{p185^{\circ}\text{C}} = 0,33 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$

$c_{p110^{\circ}\text{C}} = 0,325 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$

Hava için;  $c_p = 0,314 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$  dir

Rekuperatör verimi: %80 kabul edelim,

$$\begin{aligned}
 Q &= m.(c_{p185^{\circ}\text{C}} \times T_g - c_{p110^{\circ}\text{C}} \times T_ç) \\
 &= 4318 \text{ Nm}^3/\text{h} (0,33\text{kcal/Nm}^3\text{°C} \times 185^{\circ}\text{C} - 0,325\text{kcal/Nm}^3\text{°C} \times 110^{\circ}\text{C}) \\
 &= 109.245,4 \text{ kcal/h} \\
 &= 109.245,4 \text{ kcal/h} \times 7000 \text{ h/yıl} \\
 &= 764.717.800 \text{ kcal/yıl}
 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8250 kcal/Sm<sup>3</sup>

Tasarruf edilecek Doğalgaz miktarı:  $764.717.800 \text{ kcal/yıl} \times 0,80 / 8250 = 74.154,46 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$

Doğalgazın fiyatı: 0,25 USD/Sm<sup>3</sup>

Yıllık toplam Tasarruf: 18.538,62 USD/ yıl

(Yalnız duman gazı ile çevreye attığımız, kullanılabilir enerjinin maliyetidir.)

### Yatırım ve Geri Ödeme Süresi

Yapılan piyasa araştırmasında reküperatör ve kurulumun yatırım miktarı yaklaşık 41000 USD olarak verilmiştir. Basit Geri Ödeme Süresi ise:

Basit Geri Ödeme Süresi: Yatırım Miktarı / Yıllık Tasarruf Miktarı

Basit Geri Ödeme Süresi: 41.000 USD/18.538,62 USD/ YIL = 2,21 Yıl (26,5 Ay)

### Çevresel Analiz

Yapılan hesaplamalar sonucunda sağlanan tasarruf opsiyonları ve bunların miktarları Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10. Tasarruf opsiyonları ve miktarları**

Tasarruf No	Tasarrufun Adı	Yıllık enerji tasarrufu (kcal)	Doğalgaz Eşdeğeri SM <sup>3</sup> /yıl	Tasarrufun içindeki payı (%)
1	Fazla Havanın azaltılması	222.471.949	26,966	19,19
2	Yüzey kayıplarının giderilmesi	171.525.170	20,790	14,80
3	Baca gazı reküperatör uygulaması	764.717.800	74.154	65,99
	TOPLAM	1.158.714.919	121910	100

**Toplam yıllık enerji tasarrufu** 1.158.714.919 kcal (1,347,342 kWh)'dir. 1 kWh Doğalgaz 0,234 kg eşd. CO<sub>2</sub> Salımı'dır. Bu durumda;

Toplam CO<sub>2</sub> salınımı 1,347,342 kWh x 0,234 kg eşd. CO<sub>2</sub> Salınımı

Toplam 315.278 kg CO<sub>2</sub> salınımı önlenmiştir.

### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada bir sanayi kuruluşuna ait seçilen bir buhar kazanında enerji verimliliği çalışmaları gerçekleştirilmiş olup; hesaplamaları gerçekleştirmek üzere çeşitli ölçümler yapılmıştır.

Ölçüm değerleri alındıktan ve mevcut sayaç değerlerinin doğruluğu teyit edildikten sonra gereken tüm hesaplamalar yapılmış, kütle ve enerji dengesi kurulmuş, tasarruf potansiyelleri belirlenerek sunulmuştur. Başlıca verim kayıpları ise şöyle sıralanabilir: kazanın yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması, yüzey ısı kayıpları ve yüksek baca gazı sıcaklığı.

Buna göre kazana ait bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kazan %34 fazla havayla çalıştırılmakta olup, optimum fazla hava oranı %10 düşürülmesi önerilmiştir. Bu durumda yıllık 222.471.949 kcal'lik enerji ve mali tasarruf 6.742 USD olarak hesaplanmıştır.
- Kazanda önemli oranda yüzey ısı kayıpları tespit edilmiştir. Tespit edilen kayıpların %50'nin giderilmesi durumunda yıllık 171.525.170 kcal'lik enerji ve 5198 USD mali tasarruf sağlanabilir. Gerekli yatırım miktarı ise yaklaşık 2600 USD olup basit geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıldır.
- Kazandan 185 °C baca gazı atılmakta olup, geri kazanımı için reküperatör önerilmiştir. Reküperatör kuruluyla gerekli yatırım miktarı 41000 USD, Yıllık enerji tasarrufu 764.717.800 kcal ve mali tasarruf ise 18.538,62 USD, Yatırımın basit geri ödeme süresi ise 2,21 yıldır.
- Yukarıda belirtilen tüm tasarruf opsiyonlarının gerçekleştirilmesi durumunda yıllık toplam 1.158.714.919 kcal'lik enerji ve 30479 USD'lik mali tasarruf yapma imkânı bulunmaktadır.
- Yukarıda sözü edilen tasarrufların sağlanmasıyla yıllık 315.278 kg CO<sub>2</sub> salınımı önenebilecektir.

**NOMENKLATÜR (TERMİNOLOJİ)**

B: Ölçülen yakıt debisi (kg /h)

$H_u$  : Yakıt alt ısıl değeri (kcal/kg)

$H_u$ : Yakıtın alt ısıl değeri (kcal /kg)

$i_b$ : Buhar entalpisi (kcal/kg)

$i_b$ : Buhar giriş entalpisi (kcal/kg)

$i_s$ : Besi suyu entalpisi (kcal/kg)

$i_s$ : Su giriş entalpisi (kcal/kg)

m: Doğal gaz debisi (Nm<sup>3</sup>/h)

$m_b$ : Buhar debisi (kg/h)

$m_b$ : Ölçülen buhar debisi (kg/h)

$m_s$ : Ölçülen su debisi (kg/h)

$\eta$  : Isıl verim

ob: orijinal bazda

$Q_s/Q_y$ : Genel verim (%)

$Q_y$ : Yakıt ısısı

USD: Amerikan Doları

Z: Çeşitli ısıl kayıplardır (%)

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] “Sanayide Enerji Yönetimi Esasları”. Cilt No:3, EİEİ/UETM, Ankara, 1997.
- [2] Onat K., Genceli O., Arısoy A. “Buhar Kazanları Isıl Hesapları”. Denklem Matbaası, İstanbul, 1988.
- [3] Göç, H., YILMAZOĞLU, M. Z., DURMAZ, A. Bir kazan test merkezinin kurulması, devreye alınması, belgelendirme amaçlı ısıl ve çevresel performans testleri. 2010. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, 4 (19-24).
- [4] Özkan, M., Buhar Kazanları Isıl Hesapları, 1. Cilt, Bizim Büro Basım Evi, Ankara, (1984).
- [5] Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar – Anma ısı gücü ve verim deneyleri esasları, TS4041, TSE, Ankara, (1983).
- [6] Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar – Isı tekniği ve ekonomisi açısından aranacak özellikler, TS4040, TSE, Ankara, (1983).
- [7] “Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı”. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 110-7, Ankara, 1998.
- [8] Kaya D., Eyidogan M. 2009. “Energy Conservation Opportunity in Boiler Systems”. Journal of Energy Resources Technology, 131 (3), 032401, 2009. DOI: 10.1115/1.3185440.
- [9] Kaya D., Eyidogan M. 2010. “Energy Conservation Opportunities in an Industrial Boiler System.” Journal of Energy Engineering. 10.1061/(ASCE)0733-9402 (2010) 136: 1 (18), 18-25.

- [10] Kaya D., Eyidogan M., Ozkaymak M., Turhan F., Kilinc E., Kayabasi E., Sahin Z., Sonverdi E., Selimli S. 2013. "Energy-Exergy Efficiencies and Environmental Effects of a Mixed Fuel (Solid + Gas) Industrial Facility Steam Boiler". *Journal of the Energy Institute*, 2013; Number: 4, Volume: 8, 194-2013.
- [11] Kaya D., Eyidogan M., Çanka Kılıç, F., Çay Y., Çağman S., Çoban V. 2014. "Energy Saving and Emission Reduction Opportunities in Mixed-Fueled Industrial Boilers". *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Vol:33, No:4, pp. 1350-1356. December, 2014. DOI:10.1002/ep.11925, ISSN: 1944-7450.
- [12] Saidur R., Ahamed J. U., Masjuki H. H. 2010. "Energy and Economic Analysis of Industrial Boilers". *Energy Policy*, 38 (5), 2188–2197. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.11.087.
- [13] Saidur, R. 2011. "Energy Savings and Emission Reductions in Industrial Boilers". *Thermal Science*, Vol: 15, No:3, pp. 705–719. UDC: 66.046:536.24, DOI: 10.2298/TSCI091014046S.
- [14] "Improving steam boiler operating efficiency", Enerkon 1987.
- [15] Naturel Kimya. Su Mühendisi. Kartal, İstanbul Türkiye. Son erişim tarihi: 02.12.2016. <http://www.naturelkimya.com.tr/kazan-temizleme-kimyasallari.html>.
- [16] Kaya D., Ozturk H.H., "Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği, Uygulamalı Örneklerle" (2014). Umuttepe Yayınları, ISBN: 9786055100179.





## Düzlemsel Olmayan Çatlak İlerleme Problemlerinin Üç Boyutlu Analizi

Oğuzhan DEMİR<sup>1,2</sup>, Ali Osman AYHAN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Serdivan/SAKARYA

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, BİLECİK

### Öz

Enerji, Savunma, Havacılık ve Uzay teknolojileri, ülkeler için kritik öneme sahip olup, bilim ve teknoloji düzeyinin gelişmesinde öncü rol oynayan alanların başında gelmektedir. Ar-Ge ve yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu bu alanlarda, kullanılan ekipmanlar da hem mali açıdan hem de malzeme güvenilirliği açısından büyük önem kazanmaktadır. Malzemelerde oluşabilecek hasarları en aza indirebilmek ve çatlak içeren yapıların emniyetli çalışabilmesini sağlamak için son yıllarda kırılma mekaniği alanında yapılan çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Tasarım aşamasından başlayarak hasar/çatlak toleransları ve ömürleri tahmin edilerek iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada, çatlaklı yapıların mod-I kırılma tokluğunu ( $K_{IC}$ ) belirlemede kullanılan standart CT (compact tension) numunesine eğik çatlak yerleştirilerek mod-I dış yüklemesi altında çatlağın üç boyutlu modelleme ve çatlak ilerleme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Kırılma ve çatlak ilerleme analizleri FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System) programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, FCPAS ile üç boyutlu karışık modlu çatlak ilerleme olgusunun modellenmesinin ilk adımını oluşturmaktadır.

### Three Dimensional Analysis Of Non-Planar Crack Propagation Problems

#### Abstract

Energy, defence, aeronautics and space technologies are critical for countries and they are the leading areas which promote and require development of science and technology. In these areas, where research, development and investment costs are high, it is very important to use appropriate materials and parts from the points of economics and part reliability. In recent years, studies performed to minimize damages in materials and to ensure a safe operation of the structures have gained importance from the perspective of fracture mechanics. Improvement studies have been performed by estimating life and damage/crack tolerances of structures starting from the design stage.

In this study, an inclined crack is inserted to the standard CT (compact tension) specimen that is used to determine mode-I fracture toughness ( $K_{IC}$ ) of cracked structures. Three-dimensional modeling and crack propagation analyses are performed under mode-I external loading. Fracture and crack propagation analyses are performed using FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System) software. This study is the first step for modeling of three-dimensional crack propagation problems.

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 22/06/2016

Düzeltilme: 23/07/2016

Kabul: 22/02/2017

#### Anahtar Kelimeler

Sonlu Elemanlar Yöntemi  
 Çatlak İlerleme Analizi  
 Karışık Mod-I/III  
 Düzlemsel Olmayan  
 Çatlak İlerlemesi

#### Keywords

Finite Element Method  
 Crack Propagation  
 Analysis  
 Mixed Mode-I/III  
 Non-Planar Crack Growth

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kırılma mekaniği ve uygulamaları, Enerji, Savunma, Havacılık ve Uzay teknolojileri alanlarında ileri teknoloji ürünler üreten gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamaların çoğu ise havacılık alanında yoğunlaşmaktadır. Örneğin, uçak gövdelerinde, helikopter ve uçak motor parçalarında kırılma ve çatlak ilerleme analizleri tasarım aşamasında dahi kullanılmaktadır. Ülkemizde de milli olarak geliştirilmesi planlanan uçak ve motor projelerinin yakın gelecekte hız kazanması beklenmektedir. Bu alanlarda karşılaşılan saha problemlerinin araştırılarak belirlenmesi ve tasarım aşamasında ve sonrasında

\*İletişim yazarı, e-mail: ayhan@sakarya.edu.tr

bu problemleri önlemeye yönelik çözüm yollarının geliştirilmesi gerekmektedir. Havacılık alanında literatürde karşılaşılan birçok saha probleminin, askeri ve yolcu uçaklarının gövdelerinde, gaz türbin motorlarında ve türbin kanatlarında [1-13] oluşan çatlak ve kırılma problemleri olduğu görülmektedir. Özellikle çok sayıda yolcunun bir arada ve hızlı bir şekilde ulaşım imkânı bulabildiği havayolu araçlarında can güvenliği ön plana çıkmakta olup, çatlak içeren bir yapının doğru bir şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Yukarıda bahsedilen alanlarda karşılaşılan çatlak ve kırılma problemlerinin sebeplerinden biri, makine parçalarının karmaşık yükler altında yorulmaya maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Son 10 yıla kadar yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak basit mod-I yüklemesi altında malzemelerin çatlak ilerleme davranışının incelenmesi üzerine olmuştur. Ancak mühendislik malzemeleri, çalışma koşulları bakımından mod-II ve mod-III yüklemeye tiplerinin de olduğu, karışık mod olarak adlandırılan yüklere de maruz kalabilmektedirler. Bu yüzden son yıllarda karışık modlu çatlak ilerleme deneyleri de ağırlık kazanmaya başlamıştır.

İki boyutlu kırılma problemlerinde, çatlak ya düz bir şekilde ya da bir eğri şeklinde ilerleme göstermektedir. Üç boyutlu çatlak problemlerinde ise, geometri, yükleme ve sınır şartlarına bağlı olarak düz, eğri, düzlemsel veya düzlemsel olmayan bir şekilde ilerleyebilmektedir. Bu yüzden kırılma davranışı, hem çatlak yüzeyinin eğriliğine hem de çatlak önünün eğriliğine bağlı olarak üç boyutlu çatlak ilerlemesiyle ilişkilendirilmelidir. Son yirmi yıl içerisinde nümerik teknikler kullanarak üç boyutlu çatlak ilerleme simülasyonları ve kırılma analizleri için özelleştirilmiş araç ve yöntem geliştirmek amacıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu konudaki ilk çalışmalar sınır elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizler [14, 15] olmasına rağmen, çalışmaların çoğu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlere odaklanmıştır. FRANC3D [16, 17], ZENCRACK [18, 19], ADAPCRACK3D [20], BEASY™ [21] bu yöntemleri kullanarak üç boyutlu kırılma ve çatlak ilerleme analizlerini yapabilen programlardır. FRANC3D sınır elemanı yöntemini kullanan bir araştırma programıdır. ZENCRACK ticari bir programdır ve yine ticari bir sonlu eleman programı olan ABAQUS ile çalışmaktadır. Gerilme yoğunluk faktörlerini ve çatlak ilerleme miktarlarını hesaplamak için şekil değiştirme enerjisi bırakma oranı ve düğüm noktaları yer değiştirmeleri gibi değişik bilgileri kullanır. ADAPCRACK3D sonlu elemanlar metodunu kullanarak karmaşık yükler altında üç boyutlu geometrilerin yorulma çatlak ilerleme tahminini yapabilen bir analiz programıdır. BEASY™ ise ticari programdır ve sınır elemanlar kullanarak üç boyutlu kırılma ve çatlak ilerleme analizlerini gerçekleştirmektedir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi de, çatlak önü yakınında özel ağ (mesh) gerektirmemesi ve sonlu eleman çözümü sonrası işleme ihtiyaç duyulmaması nedeniyle üç boyutlu hassas ve etkili kırılma analizleri gerçekleştirmek için cazip bir yöntemdir. Literatürde bu metodu, genişletilmiş sonlu elemanlar (X-FEM) ve zenginleştirilmiş sonlu elemanlar olarak iki ayrı formda görmek mümkündür. Termo-elastik kırılma problemlerini ve üç boyutlu çatlak ilerlemesi için çoklu-grid yöntemini içeren, X-FEM metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş çok sayıda başarılı uygulama bulunmaktadır [22-26]. X-FEM metodunda çatlak ilerleme modeli üzerinde yeniden ağ örülmesine gerek kalmamakta veya bu en aza indirgenmektedir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodu da çatlak civarında özel grid veya ağ gerektirmeyen bir yöntemdir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodu diğer nümerik yöntem ve bunların uygulamaları kadar yaygın olmamasına rağmen, üç boyutlu kırılma problemleriyle ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar da literatürde yer bulmuş [27-30] ve Ayhan tarafından karışık modda kırılma [31, 32], arayüzey çatlakları [33] ve fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler [34, 35] gibi çeşitli üç boyutlu problemlere başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yukarıda belirtilen yöntemler, çatlağın ilerleme bölgesinin tümü boyunca önceden öngörülmüş ağ yoğunluğu (X-FEM) veya çatlak ucunda özel şekilde konumlandırılmış tekil elemanlar (dikdörtgen veya üçgen prizma tekil elemanları) gerektirmektedir.

Bu çalışmada, düzlemsel olmayan artırımlı çatlak ilerlemesi ve modellenmesinde kullanılan yöntem ve çatlak ilerleme prosedüründe izlenen adımlar detayları ile verilerek, çalışmanın Enerji, Savunma, Havacılık ve Uzay teknolojileri alanlarında karşılaşılan karışık modlu kırılma ve çatlak problemlerinin bilgisayar ortamında analiz edilebilmesinde fayda sağlayacak bir kaynak olarak gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Ayhan tarafından geliştirilen çatlak ucu bölgesinde özel ağ (mesh) gerektirmeyen ve zenginleştirilmiş elemanlar kullanan FCPAS/FRAC3D programı [36, 37] kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için kullanılmıştır. Standart CT (compact tension) numunesine eğik (eğim düzlem dışı yöndedir) çatlak yerleştirilerek numuneye mod-I dış yüklemesi uygulanmıştır. Uygulanan yük çatlak yüzeyine açılı olarak etkilediği için, problem karışık mod-I/III yüklemeye durumunun olduğu üç boyutlu bir problem haline dönüşmektedir. Kırılma analizleri sonrası, bir sonraki düzlemsel olmayan çatlak profili tahmin edilerek

profillere üç-boyutlu uzayda tanımlı polinom eğri uydurulmuştur. Bu şekilde güncellenen çatlak yüzeyi katı model formatında temsil edildikten sonra model bölüntülenerek düzlemsel olmayan bir şekilde ilerleyen artırımlı üç boyutlu modelleme ve çatlak ilerleme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. CT numunesinin ele alındığı örnek uygulama detaylarından önce, daha önceki çalışmalarda [37, 39-42] detaylı bir şekilde verilen teorik altyapının özeti Bölüm 2.1 ve 2.2'de verilmektedir.

Çalışmada kullanılan yöntem ve analiz adımları referans alınarak, yukarıda bahsedilen teknolojik alanlarda karşılaşılan düzlemsel olmayan çatlak ilerleme problemlerinin modellenmesi ve analizinin mümkün olduğu değerlendirilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma, üç boyutlu karışık modlu çatlak ilerleme olgusunun modellenmesinin ilk adımını oluşturmaktadır.

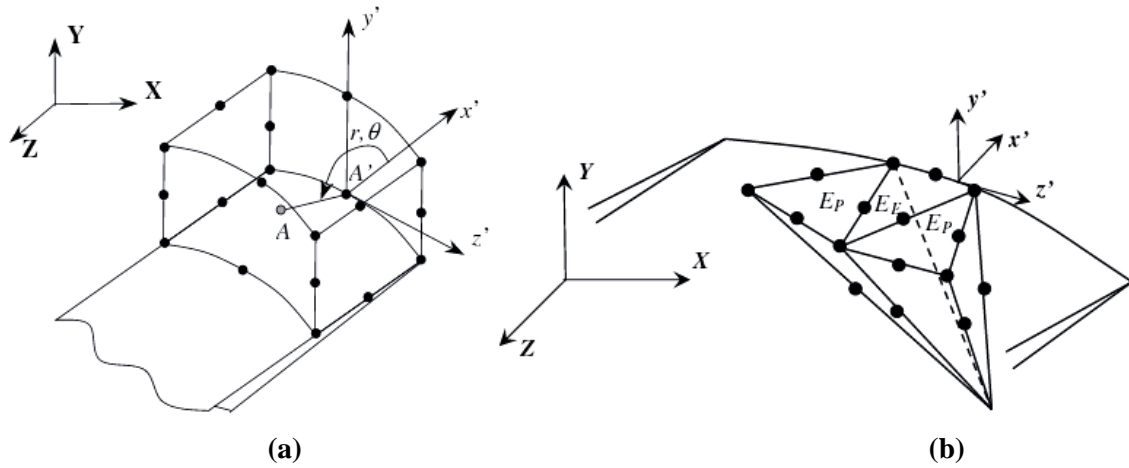
Düzlemsel olmayan çatlak ilerleme olgusunun üç boyutlu modelleme ve analizi karmaşık ve zor olduğu için, literatürdeki örneklerde verildiği gibi farklı yöntem, kriter ve programlar kullanarak araştırmacılar tarafından günümüzde de çalışılan bir konudur. 2016 yılında Davis ve ekibi [38] tarafından enerjiye dayalı bir yaklaşım kullanılarak bu makalede sunulana benzer bir çalışma gerçekleştirilmiş ve saygın bir uluslararası dergide yayımlanmıştır. Bu da çalışmanın halen güncelliğini koruduğunu göstermektedir.

## **2. ÇATLAK İLERLEME SİMÜLASYON PROSEDÜRÜ (PROCEDURE FOR SIMULATION OF CRACK PROPAGATION)**

Düzlemsel olmayan üç boyutlu çatlak ilerleme modelleme ve simülasyonunun hassas olarak gerçekleştirilmesi birkaç parametreye bağlıdır. Bunların en önemlilerinden biri çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörlerinin doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Bir diğer önemli parametre ise seçilen çatlak ilerleme kriteridir. Seçilen kriter göre çatlak yön ve doğrultusunun tespiti ve kriterde kullanılan malzeme özellikleri çatlak ilerleme prosedürünün tamamını etkilemektedir. Bu bölümde çatlak ilerleme simülasyon sonucunu etkileyen bu parametrelerin detayları verilmiştir [37, 39].

### **2.1. Gerilme Şiddet Faktörlerinin Hesaplanması [37, 39] (Computation of Stress Intensity Factors [37, 39])**

Çatlaklı lineer elastik bir yapı analizinin amacı ne olursa olsun, mekanik ömür değerlendirmesi için üç boyutlu gerilme şiddet faktörünün doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Uygulamada iki boyutlu teknikler ve araçlar kullanılarak çözülmüş birçok kırılma problemleri olmasına rağmen, çoğu problemler üç boyutlu kırılma parametrelerinin hesaplanmasını gerektirmektedir. Sonlu elemanlar metodu, bugüne kadar üç boyutlu kırılma ve çatlak ilerleme problemlerinin çözümünde çoğunlukla kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmada, zenginleştirilmiş sonlu elemanlar tekniği ve Ayhan [37, 39] tarafından geliştirilmiş sonlu eleman temelli bağımsız kırılma analiz programı olan FCPAS/FRAC3D kullanılmıştır. Çatlak içeren sonlu eleman modelinde çatlak ucuna değen elemanlar zenginleştirilmiş elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1'de üç boyutlu uzayda konumlandırılmış bir çatlak ucuna değen 20- ve 10-düğüm noktalı zenginleştirilmiş elemanlar temsili olarak gösterilmektedir. Şekil 1.b'de yer alan  $E_E$  isimli eleman çatlak ucunda bir kenara sahip,  $E_P$  isimli elemanlar ise çatlak ucunda bir noktaya sahip zenginleştirilmiş elemanlardır.



**Şekil 1.** Çatlak ucuna değen zenginleştirilmiş elemanlar (a) 20-düğüm noktalı eleman, (b) 10-düğüm noktalı eleman [40] (Enriched elements near crack front (a) 20-noded element, (b) 10-noded element [40]).

Çatlak ucu bu şekilde çatlak ucu ile nokta veya kenar paylaşımında bulunan elemanlar ile tamamen çevrilidir. Şekil fonksiyonlarını ve düğüm noktası yer değişimlerini içeren geleneksel sonlu eleman formülasyonuna ilave olarak bu elemanlar çatlak ucunda yer alan gerilme şiddet faktörlerini de bilinmeyen olarak içerirler. Zenginleştirilmiş bir elemanda  $\xi, \eta$  ve  $\rho$  lokal koordinatlarındaki bir integrasyon noktası için  $u, v$  ve  $w$  yer değiştirmeleri aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanmaktadır [37, 39].

$$\begin{aligned}
 u(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) u_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( f_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{uj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( g_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{uj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( h_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{uj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
 v(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) v_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( f_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{vj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( g_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{vj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( h_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{vj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned}
 w(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) w_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( f_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{wj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( g_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{wj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left( h_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{wj} \right) \left( \sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right)
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

(2.1)-(2.3) nolu denklemlerde yer alan bilinmeyenlerden,  $N_j$  ile gösterilen  $\xi, \eta$  ve  $\rho$  lokal koordinatları için eleman şekil fonksiyonlarını,  $Z_0, 0$  ve  $1$  arasında değışkenlik gösteren sıfırlama fonksiyonunu temsil

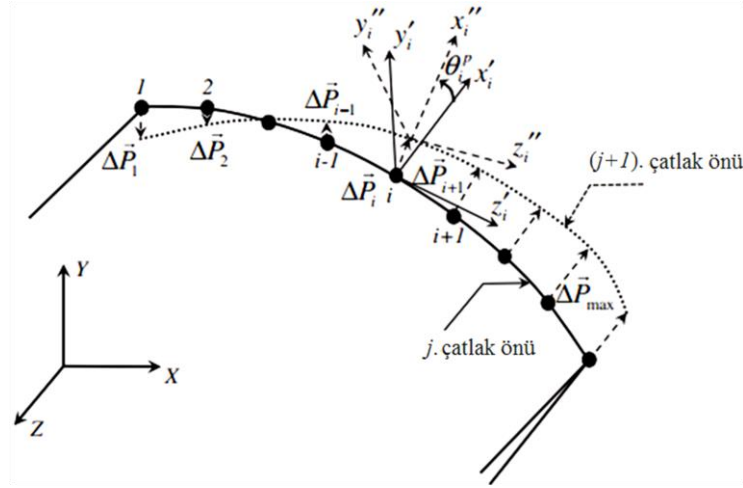
etmektedir.  $f_u, g_u, h_u, f_v, g_v, h_v, f_w, g_w$  ve  $h_w$  ise asimptotik çatlak ucu yer değiştirme ifadelerinde analitik olarak bilinen fonksiyonlardan elde edilirler ve lokal koordinat sisteminden global koordinat sistemine transfer edilen mod-I, mod-II ve mod-III deplasman bileşenlerini temsil etmektedirler.  $m$  eleman tipine göre 10 veya 20 değerini almaktadır.  $K_I^i, K_{II}^i$  ve  $K_{III}^i$  çatlak önünde bulunan herhangi bir  $i$ 'nci düğüm noktası

için bilinmeyen gerilme şiddet faktörlerini ve  $\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma)K_{I,II,III}^i$  ifadesi ise çatlak önüne değen kenar

elemanlarının gerilme şiddet faktörlerinin değişimini temsil etmektedir. Lokal izoparametrik koordinatı ifade eden  $\Gamma$ , -1 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Eleman formülasyonu ve integrasyonu ile ilgili daha detaylı bilgi [37, 41] nolu kaynaklardan elde edilebilir. Zenginleştirilmiş elemanların rijitlik matrisinin hesaplanması yukarıda verilen denklemlerin türevlerini içermektedir. Öncelikle modeldeki tüm elemanlar için eleman rijitlik matrisleri hesaplanır. Düğüm noktaları yer değiştirmelerini ve ek bir işlem gerekmeksizin çatlak önü düğüm noktalarının gerilme şiddet faktörlerini aynı anda elde etmek için hesaplanan rijitlik matrisleri çözüm fazına dâhil edilirler.

## 2.2. Çatlak İlerleme Modeli [39, 42] (Crack Propagation Model [39, 42])

Herhangi bir çatlak ilerleme adımı için çatlak ucu boyunca sıralanan düğüm noktalarının gerilme şiddet faktörleri hesaplandıktan sonra belirlenen çatlak ilerleme modeli kullanılarak gerilme şiddet faktörlerinin değeri ve dağılımına bağlı olarak bir sonraki çatlak önünün ilerleme adımı ve doğrultusu tahmin edilir. Şekil 2'de herhangi bir  $j$ 'nci çatlak önünden belirli bir ilerleme adımı ile bir sonraki artırımlı çatlak profiline geçişin şematik üç boyutlu görünümü verilmiştir. Şekilde yer alan  $x_i^I - y_i^I - z_i^I$  ve  $x_i^{II} - y_i^{II} - z_i^{II}$  lokal koordinat sistemleridir ve  $\theta_i^P$  ise lokal olarak izafi çatlak ilerleme açısını temsil etmektedir.  $\Delta \vec{P}_i$  (ilerleme vektörü) çatlak önündeki bir düğüm noktasının çatlak ilerleme sırasındaki artışını ifade etmektedir.



**Şekil 2.** Herhangi bir çatlak ilerleme adımı için çatlak önü ilerlemesinin üç boyutlu şematik görünümü [39, 42] (Three-dimensional schematic of crack front advancement for an arbitrary crack propagation step [39, 42]).

Çatlak önündeki her bir düğüm noktası için ilerleme miktarı hesaplanır ve üç boyutlu uzayda buna karşılık gelen bir sonraki konum lokal  $x^I - y^I$  düzlemine göre bağımsız olarak belirlenir. Bu çalışmada, verilen bir  $j$ 'nci çatlak önünde  $i$ 'nci düğüm noktasının çatlak ilerleme miktarı ( $\Delta a_i$ ), aşağıda (2.4) nolu denklemle verilen Paris denklemine [43] göre hesaplanmıştır.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n, \quad \Delta a_i = \Delta a_{\max} \left( \frac{\Delta K_i}{\Delta K_{\max}} \right)^n \quad 2.4$$

$\Delta a_{\max}$ , verilen bir çatlak ilerleme artış değeri için çatlak ucu boyunca maksimum gerilme şiddet faktörü değer aralığına ( $\Delta K_{\max}$ ) sahip düğüm noktasına karşılık gelen çatlak ilerleme artış miktarını temsil etmektedir.  $C$  ve  $n$  değerleri, çatlak ilerlemesi ile ilişkili malzeme özellikleridir.  $\Delta K_i$  ise herhangi bir  $i$ 'nci düğüm noktasının sahip olduğu gerilme şiddet faktörü değer aralığını ifade etmektedir. Herhangi bir  $j$ 'nci çatlak önünün verilen ilerleme artış değeri için çatlak önünde bulunan tüm düğüm noktalarının yön kosinüsleri kullanılarak bir sonraki konumları belirlenir ve çatlak önüne dikey düzlemlerde Denklem 2.4'e göre elde edilen artış miktarları kadar düğüm noktaları ilerletilir. Eğer yükleme durumu basit mod-I yüklemesi ise herhangi bir  $i$ 'nci düğüm noktası için  $\Delta K_i$ , mod-I gerilme şiddet faktörü değerini temsil etmektedir. Fakat yükleme durumu karışık modlu yükleme ise denklemde  $\Delta K_i$  yerine eşdeğer gerilme şiddet faktörü değeri,  $\Delta K_{eş}$  kullanılmaktadır. Bu çalışmada mod-I/III karışık modlu yükleme durumu analiz edildiği için denklemde  $\Delta K_{eş}$  değeri kullanılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan Erdogan ve Sih'in önermiş olduğu iki boyutlu maksimum teğetsel gerilme kriteri [44], eşdeğer gerilme şiddet faktörü ve çatlak sapma açısının tespiti için analizlerde kullanılmıştır. Maksimum teğetsel gerilme kriterine göre  $\Delta K_{eş}$  ve çatlak sapma açısı ( $\varphi_0$ ) aşağıda Denklem 2.5 ve 2.6'da sırasıyla verilen eşitlikler ile hesaplanabilmektedir.

$$\Delta K_{eş} = \cos \frac{\varphi_0}{2} \left[ K_I \cos^2 \frac{\varphi_0}{2} - \frac{3}{2} K_{II} \sin \varphi_0 \right] = K_{IC} \quad 2.5$$

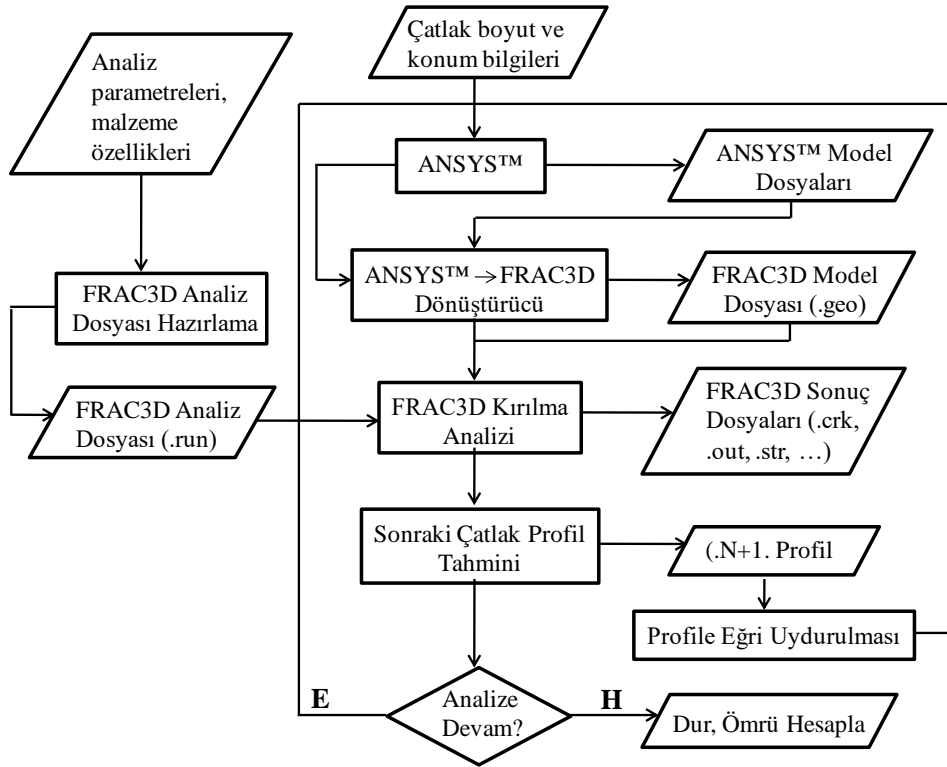
$$\varphi_0 = -\arccos \left( \frac{3K_{II}^2 + K_I \sqrt{K_I^2 + 8K_{II}^2}}{K_I^2 + 9K_{II}^2} \right) \quad 2.6$$

Bu kritere göre çatlak, maksimum teğetsel gerilmenin olduğu yönde çatlak ucundan radyal olarak ilerlemekte ve bu teğetsel gerilme değeri kritik değeri aştığı durumda veya  $\Delta K_{eş}$  değeri malzemenin kırılma tokluğu ( $K_{IC}$ ) değerine ulaştığı anda kararsız çatlak ilerlemesi başlamakta ve kırılma meydana gelmektedir. Analizlerde belirli bir çatlak ilerleme artış miktarı için bir sonraki çatlak profili belirlenerek çatlak boyutu kritik değerine ulaşmaya veya malzemenin kırılma tokluğu değerine ( $K_{IC}$ ) ulaşmaya kadar analizler tekrar edilmektedir.

### 2.3. Çatlak İlerleme Analiz İşlem Adımları (Procedure Steps of Crack Propagation Analysis)

Bu bölümde, düzlemsel olmayan artırımlı çatlak ilerlemesi ve modellenmesinde izlenen adımlar detaylı olarak verilmiştir. Şekil 3'te, gerçekleştirilen çatlak ilerleme simülasyonlarının süreç şeması verilmiştir. Takip edilen sürecin temel işlem adımları aşağıda verilmektedir:

1. Çatlak konum, boyut ve yön bilgilerine göre çatlak modellenir,
2. Çatlak bölgesinde daha yoğun ağ olacak şekilde bölüntüleme işlemi gerçekleştirilir,
3. Analiz parametreleri, malzeme özellikleri ve model bilgileri FRAC3D çözücüsü için oluşturulur,
4. FRAC3D kırılma analizi gerçekleştirilir,
5. FRAC3D sonuç dosyalarında bulunan gerilme şiddet faktörü ve konum bilgileri ile seçilen çatlak ilerleme kriteri kullanılarak bir sonraki çatlak profili tahmin edilir,
6. Tahmin edilen profile üç-boyutlu polinom eğri uydurularak konum, boyut ve yön bilgileri sonraki çatlak profil modellemesi için alınır.

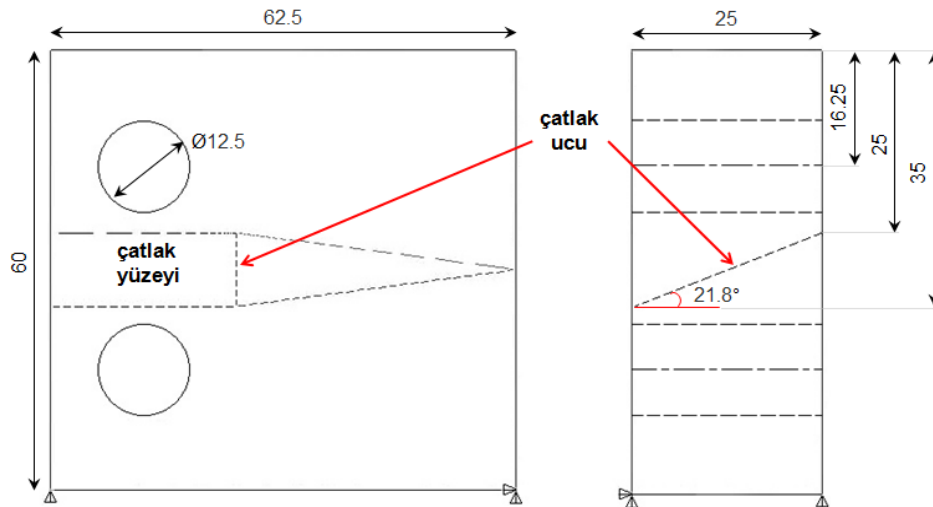


**Şekil 3.** Çatlak ilerleme simülasyonlarının süreç şeması [39] (Process chart of crack propagation simulations [39]).

Düzlemsel olmayan artırımlı çatlak ilerleme prosesinin tam olarak anlaşılabilmesi için problem tanımı yapılarak, 5. çatlak ilerleme adımından 6. çatlak ilerleme profilinin tahminine kadar olan bir adımlık çatlak ilerleme döngüsünde gerçekleştirilen işlem adımları aşamalı olarak detayları ile maddeler halinde açıklanarak verilmiştir.

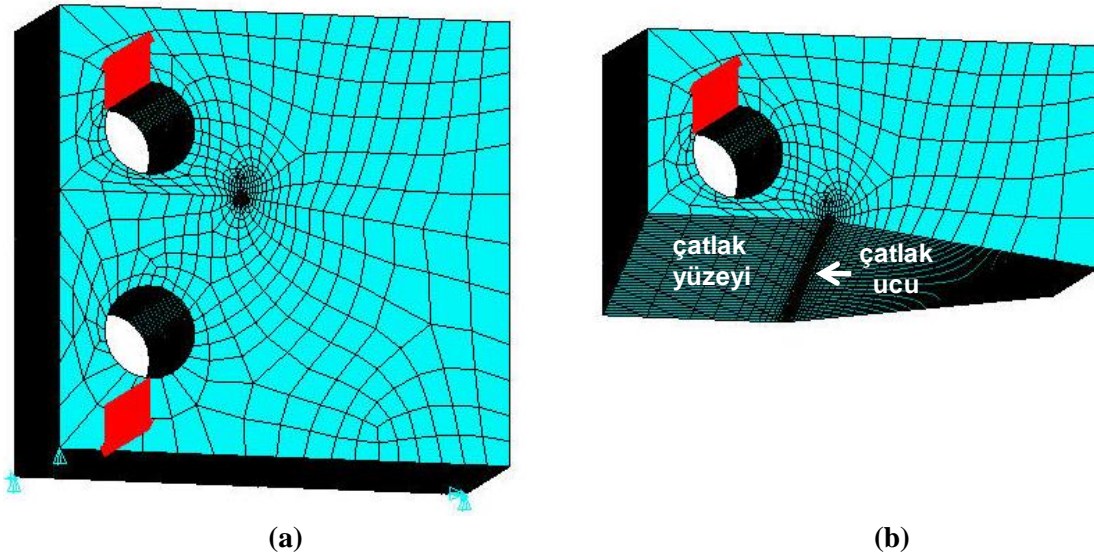
### 2.3.1. Problem Tanımı (Problem Description)

Karışık modlu düzlem dışı mod-I/III yükleme durumunu analiz etmek için, standart CT (compact tension) numunesine eğik (eğim düzlem dışı yöndedir) çatlak yerleştirilerek yükleme deliklerinden numuneye dış mod-I yüklemesi uygulanmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Düzlem dışı yönde eğik çatlak yerleştirilen CT numunesinin önden ve yandan görünümü (Front and side view of CT specimen having inserted inclined crack in the out of plane direction).

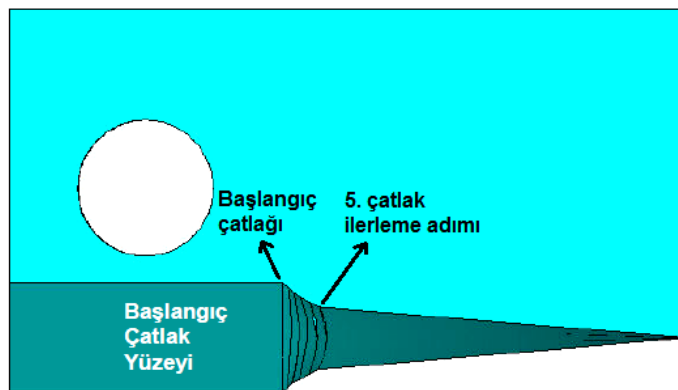
Uygulanan yük çatlak yüzeyine düzlem dışı açılı olarak etki ettiği için problem karışık mod-I/III yükleme durumunun olduğu üç boyutlu bir problem haline dönüşmektedir. Şekil 5'te yük ve sınır şartları uygulanmış numunenin tamamının ve çatlak yüzeyinin üst kısmını oluşturan bölümün sonlu eleman modelinin perspektif görünümü verilmektedir. Sonlu eleman modellerinin oluşturulması için ANSYS™ [45] programı kullanılmıştır.



**Şekil 5.** Yük ve sınır şartları uygulanan numunenin sonlu eleman modeli (a) modelin tamamı, (b) çatlak yüzeyinden sonraki üst bölümü (Finite element model of specimen applied loading and boundary conditions (a) whole model, (b) part of model above crack surface).

### 2.3.2. Adım 1: Çatlak Modellemesi (Step 1: Modeling of Crack)

Çatlak ilerleme simülasyonları ilk olarak, yukarıda Şekil 5'te verildiği gibi başlangıç çatlağı oluşturulan numune üzerinde kırılma analizinin yapılması ile başlatılmıştır. Kırılma analiz sonuçlarına göre bir sonraki çatlak profili tahmin edilerek çatlak ilerlemesi gerçekleştirilmektedir. Şekil 6'da ilerletilen çatlağın 5. adımı için oluşturulan modelin yarı model görüntüsü verilmektedir.



**Şekil 6.** 5. çatlak ilerleme adımı için oluşturulan modelin çatlak yüzeyinin önden görünümü (Front view of crack surface generated for the 5<sup>th</sup> crack propagation step).

5. çatlak profiline göre FRAC3D çözücüsü ile gerçekleştirilen analizlerinden elde edilen gerilme şiddet faktörü değerleri ve bu değerler ile belirlenen çatlak ilerleme kriterini kullanarak 6. çatlak profilini oluşturacak düğüm noktalarının konum bilgileri elde edilmektedir. Düğüm noktalarından, Datafit™ [46] eğri uydurma programı kullanılarak, orijinal koordinatlarına en yakın polinom eğri uydurulmaktadır (Şekil 7; Durum I).

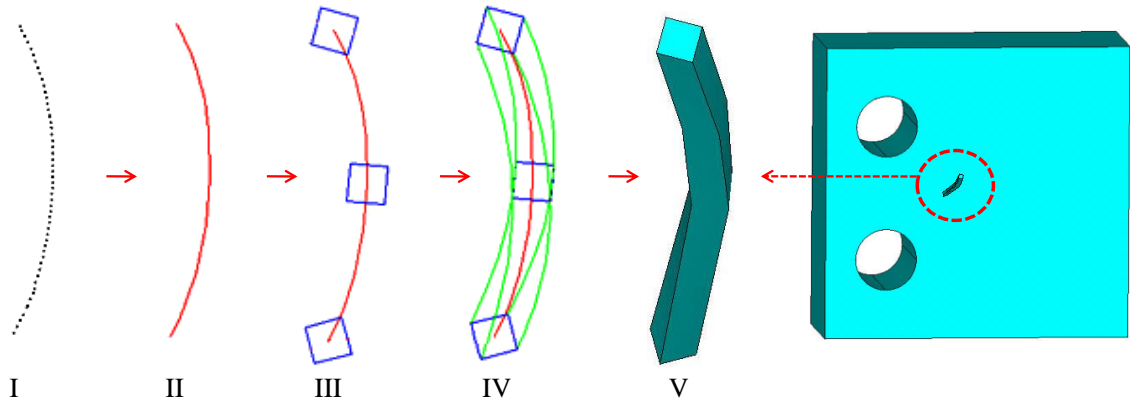


İlk olarak 6. çatlak profilinin oluşturulması için, uydurulan eğrinin tüm düğüm noktalarından geçen bir eğri modellenmektedir (Şekil 7; Durum II).

Çatlak civarında yoğun ve düzenli bir bölüntülemenin gerçekleştirilmesi için çatlak çevreleyen izole bir tüpün oluşturulması gerekmektedir. Çatlak bölgesinde böyle bir tünel hacmin oluşturulmasıyla, çatlak civarının, modelin tamamından izole edilerek bu bölgedeki ağ yapısının bağımsız olarak kontrol edilebilmesi amaçlanmaktadır. İlk olarak çatlak ucunda bulunan düğüm noktalarından bazılarına, oluşturulmak istenen tüpün boyutlarında kare kesitler belirli açılarda yerleştirilmektedir (Şekil 7; Durum III).

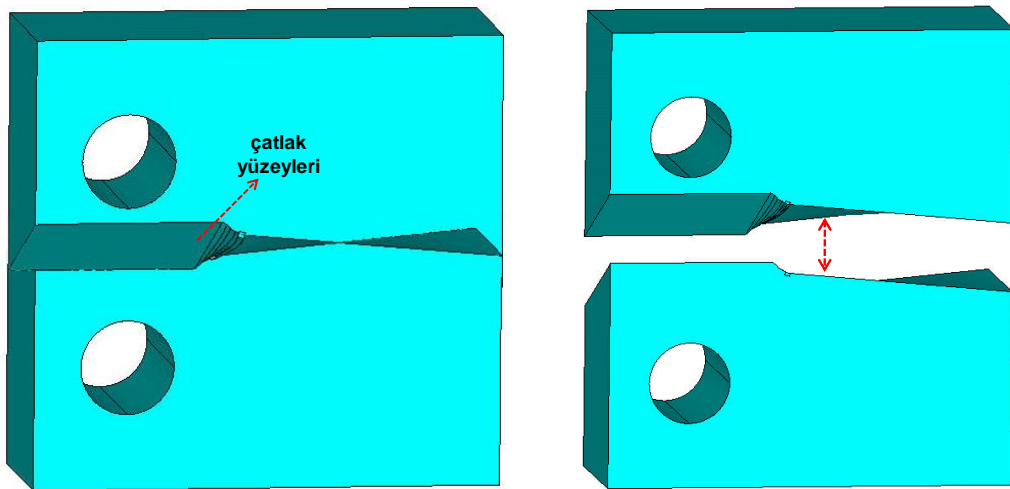
Kare kesitli alanların her birinin köşelerinden geçen eğriler oluşturulmaktadır (Şekil 7; Durum IV).

Oluşturulan eğrilerden meydana gelen alanlar ve bu alanlardan meydana gelen bir hacim oluşturularak çatlak civarını çevreleyen bir tünel hacim modellenmektedir (Şekil 7; Durum V).



**Şekil 7.** Çatlak profilini çevreleyen tünel hacmin modellenmesinde gerçekleşen işlem adımları (Necessary process steps for modeling of tunnel volume surrounding the crack profile).

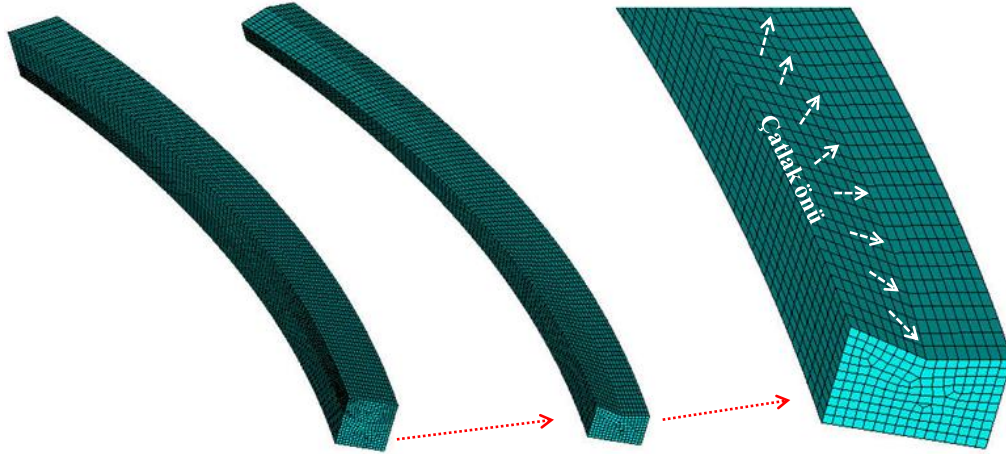
Tünel hacmin modelleme adımından sonra modelin tamamından tünel hacim ayrıştırılarak, bölüntüleme işlemlerinde modelin tamamı ile tünel modeli ayrı ayrı kontrol etmek mümkün hale getirilmektedir. 5. çatlak profili ile 6. çatlak profili arasındaki yüzey tanımlanmakta ve bir önceki çatlak yüzeyleri ile birleştirilerek nihai çatlak yüzeyi oluşturulmaktadır. Her iki model, çatlak yüzeyini oluşturan alanlar ile önce bölünmekte ve sonrasında çatlak ucu kenar düğüm noktalarından birleştirilerek düzlemsel olmayan üç boyutlu çatlak profili modelde tanımlanmaktadır (Şekil 8).



**Şekil 8.** Modelin çatlak yüzeyi ile ayrıştırılarak modelde çatlak profilinin tanımlanması (Definition of crack profile on the model separating the model by crack surface).

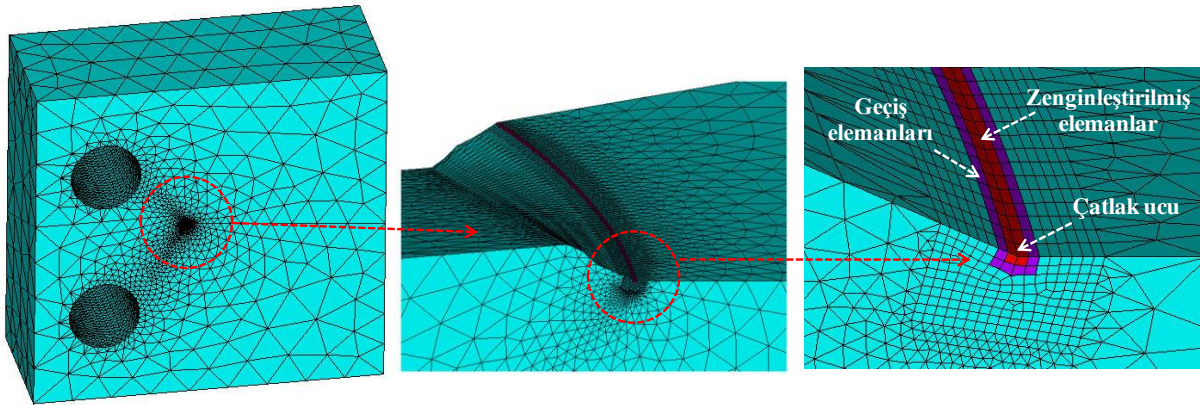
### 2.3.3. Adım 2: Bölüntüleme İşlemi (Step 2: Meshing)

Çatlak ucu civarında düzenli ve yoğun bir ağ yapısı ve çatlak ucu boyunca daha hassas gerilme şiddet faktörü değerlerinin elde edilebilmesi için tünel hacim altı yüzeyli hexa elemanlar ile bölüntülenmektedir. Bunun için tünel hacmin kenarında yer alan kare kesitin yüzeyi, istenen eleman boyutu elde edilecek şekilde bölüntülenmekte ve bu yüzey ağı çatlak ucu boyunca süpürülerek tüm hacimde aynı ağ yapısının düzenli bir şekilde örülmesi sağlanmaktadır (Şekil 9).



**Şekil 9.** Hexahedral elemanlar ile bölüntülenen tünel hacim (Tunnel volume meshed with hexahedral elements).

Tünel hacmin bölüntülenmesinin ardından tünel hacim dışında kalan tüm model tetrahedral elemanlar ile bölüntülenmektedir. Şekil 10'da bölüntüleme işlemi tamamlanan sonlu eleman modelinin perspektif görünümü ve kırılma analizi için FRAC3D çözücüsünün kullandığı zenginleştirilmiş ve geçiş elemanlarının olduğu çatlak ucu civarının yakın görünümü verilmektedir. Şekilde çatlak ucuna değen zenginleştirilmiş elemanlar kırmızı renkte ve zenginleştirilmiş elemanlarla yüzey, kenar ya da nokta paylaşımında bulunan geçiş elemanları ise mor renkte gösterilmektedir.



**Şekil 10.** Sonlu eleman modelinin perspektif ve çatlak ucu civarının yakın görünümü (The overall and close-up view of crack front region of finite element model).

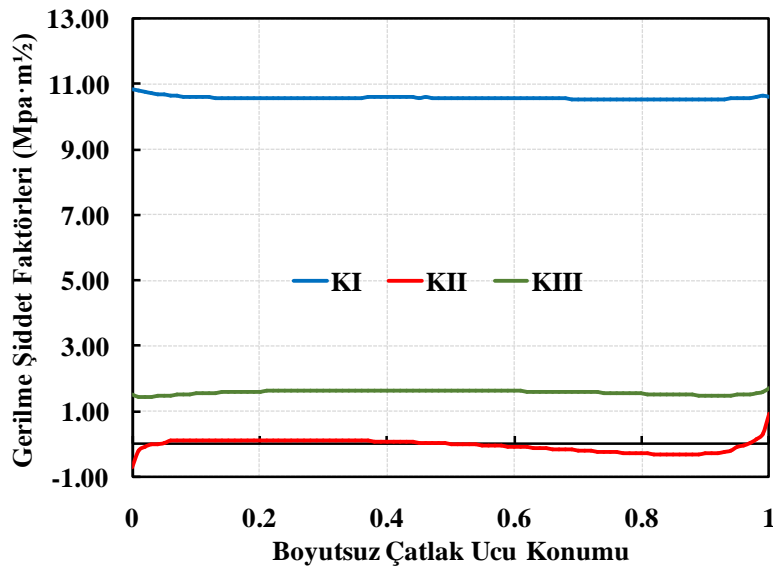
### 2.3.4. Adım 3: Analiz Parametreleri, Malzeme ve Model Bilgileri (Step 3: Analysis Parameters, Material and Model Data)

Kırılma analizi yapılmadan önce, sınır koşulları ve yükleri tanımlayan analiz parametreleri, malzeme özellikleri (elastisite modülü, Poisson oranı vb.), çatlak ucu ve modelin tamamının sahip olduğu eleman ve düğüm noktalarının listesini içeren model bilgileri, FRAC3D çözücüsü için oluşturulmaktadır. Sınır koşulu

olarak öteleme ve dönme rijit cisim hareketlerinin engellenmesi için, sonlu eleman modelinin belirli düğüm noktalarına minimum gerekli deplasman sınırlamaları verilmektedir. Analizlerin tamamında yükleme deliklerine 10 kN sabit yük uygulanarak analizler gerçekleştirilmektedir. Numune malzemesi alaşımli alüminyum (elastisite modülü 72 GPa ve Poisson oranı 0.3) olarak alınmıştır.

### 2.3.5. Adım 4: FRAC3D Çözücüsü ile Kırılma Analizinin Gerçekleştirilmesi (Step 4: Performing Fracture Analysis Using FRAC3D Solver)

Bir önceki adımda FRAC3D çözücüsü için oluşturulan çatlak ucu ve sonlu eleman modelinin eleman ve düğüm noktası listeleri sınır koşulları ile birlikte programa transfer edilerek kırılma analizi gerçekleştirilmektedir. 6. çatlak profili için gerçekleştirilen analiz sonrasında çatlak ucu boyunca elde edilen gerilme şiddet faktörü değerleri, KI, KII ve KIII'ün değişimi Şekil 11'de verilmiştir.



**Şekil 11.** 6. çatlak profili için çatlak ucu boyunca elde edilen gerilme şiddet faktörü, KI, KII ve KIII değerleri (The stress intensity factor values obtained along crack front for the 6<sup>th</sup> crack profile (a) KI, (b) KII and (c) KIII).

### 2.3.6. Adım 5: Sonraki Çatlak Profili Tahmini (Step 5: Prediction of Next Crack Profile)

Bir sonraki çatlak profili tahmini için kırılma analizlerinden elde edilen gerilme şiddet faktörü değerlerini içeren eşdeğer bir gerilme şiddet faktörünün ( $\Delta K_{es}$ ) tanımlanması gerekmektedir. Yükleme tipi karışık mod-I/III yükleme durumu olmasına rağmen, kırılma analizleri sonrasında çatlak ucu boyunca KII gerilme şiddet faktörü değeri de gözlemlenmektedir. Bu yükleme açısında çatlak ucu boyunca mod-II kırılma modunun gözlemlenmesinin ve çatlak ucu boyunca lineer olarak pozitiften negatif bir değere değişkenlik göstermesinin sebebi ise, mod-III yüklemesi altında çatlak yüzeylerinin çatlak ucu orta noktası etrafında birbirlerine ters yönlü dönme deformasyonu eğiliminde olmalarından kaynaklanmaktadır. Çatlağın sapma açısında ( $\varphi_0$ ) KIII gerilme şiddet faktörü değerinin lokal olarak çatlak ucuna dik düzlemlerdeki sapma açılarına etkisi olmadığından dolayı, bu düzlemlerde iki boyutlu çatlak ilerleme kriteri olan Erdoğan ve Sih'in geliştirmiş olduğu maksimum teğetsel gerilme kriteri [44] çatlak ilerleme kriteri olarak kullanılmaktadır. 6. çatlak profilinden elde edilen gerilme şiddet faktörü değerleri kullanılarak Denklem 2.5 ve Denklem 2.6'da verilen eşitliklere göre  $\Delta K_{es}$  ve  $\varphi_0$  hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak Denklem 2.4'te verilen eşitliğe göre bir sonraki çatlak profilinin koordinatları elde edilmektedir. Denklem 2.4'te maksimum çatlak ilerleme adımı ( $\Delta a_{max}$ ) değeri için, numune kalınlığının 1/10 katına karşılık gelen 0.25 mm kullanılmıştır. Yine Denklem 2.4'te yer alan malzeme sabitleri için literatürden [47] alınan değerler kullanılmıştır ( $C=2.28 \cdot 10^{-7} \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  ve  $n=3.11$ ).

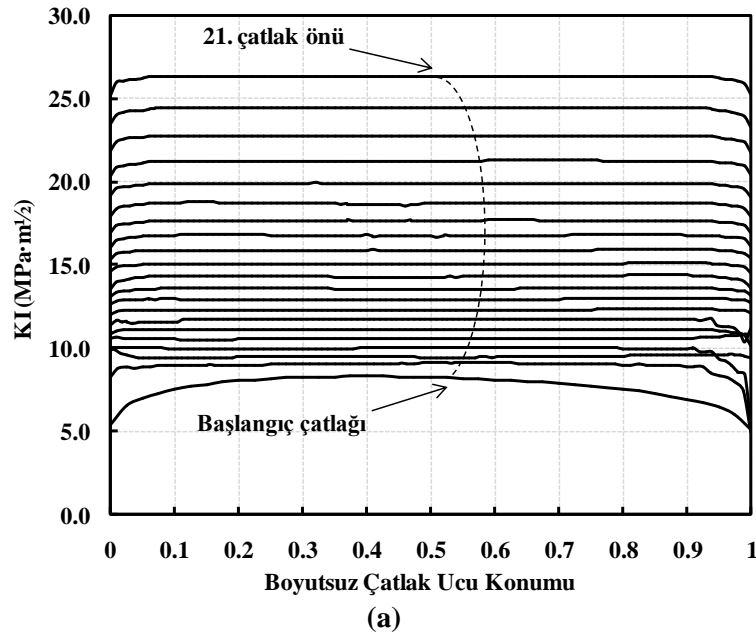
### 2.3.7. Adım 6: Tahmin edilen profile polinom eğri uydurulması (Step 6: Polynomial Curve Fitting to The Estimated Profile)

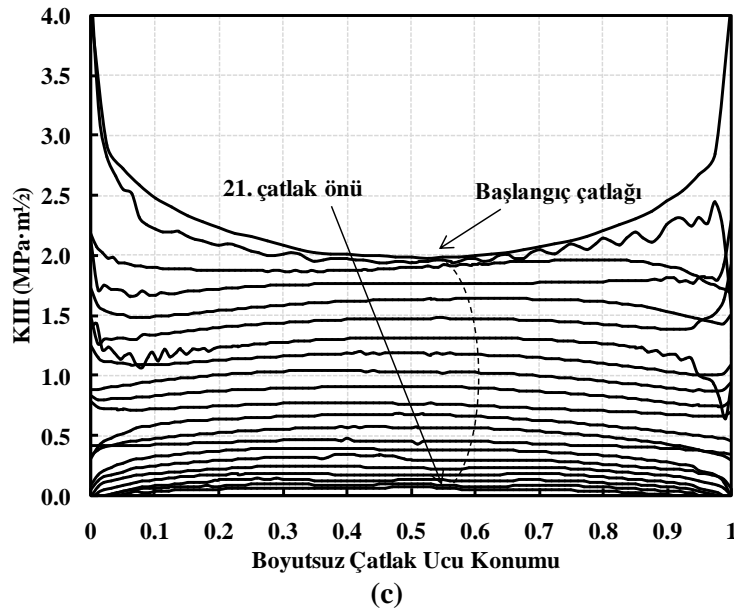
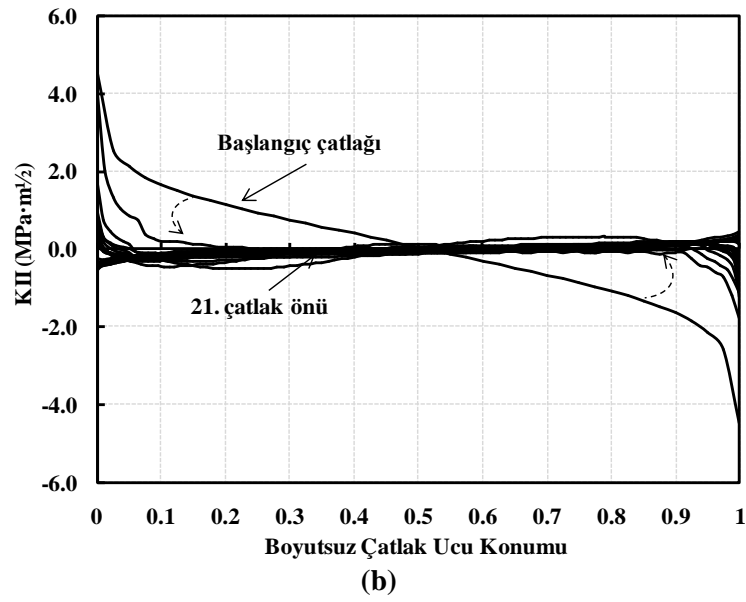
Çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörleri çok hassas bir şekilde hesaplandığı için düğüm noktalarının dizilimindeki en küçük sapma, o düğüm noktası için elde edilen gerilme şiddet faktörü değerlerinde çok büyük sapmalara neden olabilmektedir. Bu yüzden tahmin edilen profile en yakın üç-boyutlu eğri uydurularak düğüm noktalarının sıralanmasında var olan düzensizliklerin giderilmesi gerekmektedir. Datafit™ [46] eğri uydurma programı kullanılarak tahmin edilen bir sonraki çatlak ucu profiline en yakın üç boyutlu düzlemsel olmayan eğrisel bir profil uydurularak elde edilen konum, boyut ve yön bilgileri alınmakta ve ilk işlem adımına tekrar geri dönülerek çatlak profilinin modellenmesi işlemine geçilmektedir.

5. çatlak ilerleme adımından 6. çatlak ilerleme profilinin tahminine kadar olan bir adımlık çatlak ilerleme döngüsünde gerçekleştirilen işlem adımları yukarıda detaylı bir şekilde verilmiştir. Çatlak uzunluğu kritik boyuta ulaşana veya  $\Delta K_{es}$  değeri kırılma tokluğu ( $K_{IC}$ ) değerine ulaşana kadar döngü aynı şekilde devam etmektedir.

### 3. SONUÇLAR (RESULTS)

Bir önceki bölümde detayları verilen çatak ilerleme döngüsü, eğrisel çatlak düzlemsel hale gelene kadar devam ettirildikten sonra 21. adım sonunda çatlak düzlemsel hale gelmektedir. Şekil 12'de tüm adımlar için gerçekleştirilen kırılma analizleri sonrasında elde edilen gerilme şiddet faktörleri, KI, KII ve KIII'ün çatlak ucu boyunca değişimleri sırasıyla verilmiştir.

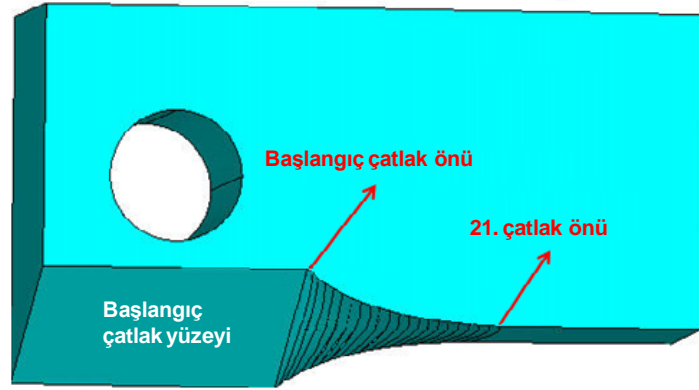




**Şekil 12.** Tüm çatlak profilleri için gerçekleştirilen kırılma analizleri sonrası elde edilen gerilme şiddet faktörlerinin çatlak ucu boyunca değişimi (a) KI, (b) KII ve (c) KIII (Variation of stress intensity factors obtained from fracture analyses performed for all crack profiles (a) KI, (b) KII and (c) KIII).

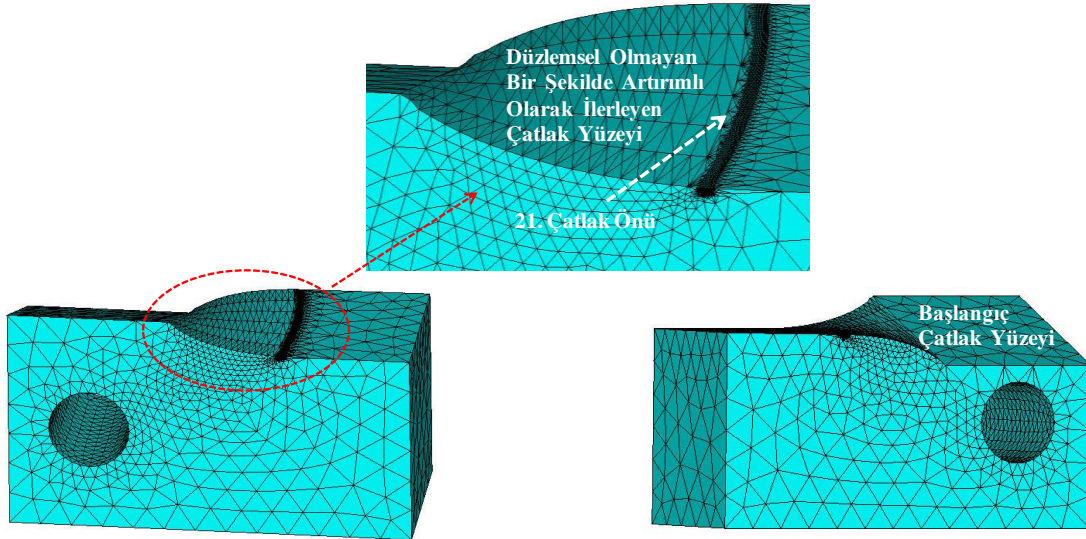
Şekilde görüldüğü gibi çatlak ilerledikçe KI gerilme şiddet faktörü artarken KII ve KIII azalarak sıfıra yaklaşmaktadır. Yani problem karışık mod-I/III durumundan, KII ve KIII'ün etkinliğinin çatlak ilerleme sürecinde azalmasıyla tekil mod-I yükleme durumuna dönüşmektedir. Şekillerde bazı dağılımlarda gözlemlenen salınım veya gürültüler, profillere uydurulan eğrilerin düğüm noktalarının dizilimindeki küçük oranda sapmalardan kaynaklanmaktadır. 2012 yılında, Kikuchi ve ekibi [48] tarafından benzer bir yaklaşımla çatlak ilerleme analiz ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Farklı açılarda eğik çatlak içeren plakalara dört nokta eğme deneyi uygulanmış ve açılı çatlakın zamanla mod-I durumuna dönüştüğü, elde edilen çatlak yüzeyleri ve gerilme şiddet faktörü değerleri ile gösterilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen analizlere benzer diğer bir çalışma ise 2016 yılında Davis ve ekibi [38] tarafından enerji yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonrası elde edilen çatlak yüzeyleri verilerek, yüzeylerin açılı konumdan yükleme eksenine dik doğrultuda düzlemsel hale dönüştüğü gösterilmiştir.

Şekil 13'te 21. adım sonunda modellenen çatlak profilinin üst kısmının yarı model görünümü verilmektedir. Her bir adımda bir önceki çatlak profili de dâhil edilerek çatlak tanımlandığı için profillerin tümü 21. adım çatlak modelinde görülmektedir. Tıpkı KII gerilme şiddet faktörü değerinin çatlak ucu boyunca pozitiften negatif bir değere değişkenlik gösterdiği gibi, çatlak ucu kenarlarının aşağı ve yukarı yönlü zıt doğrultularda ilerleme eğilimi göstererek çatlağın giderek düzlemsel hale geldiği şekilden görülmektedir. Bu da Denklem (2.6)'da verilen çatlağın sapma açısının tespitinde KII'nin etkin bir rol oynadığını doğrulamaktadır. Elde edilen bulguların deneysel çalışmalar ile de desteklenmesi ve literatürdeki benzer problemlerle doğrulanması, sonuçlarla ilgili daha doğru değerlendirmelerin yapılmasına imkan sağlayacaktır.



**Şekil 13.** 21. adım sonuna kadar modellenen çatlak profillerinin üstünde kalan yarı model görünümü (View of half model above crack profiles until the end of 21<sup>st</sup> step).

Şekil 14'te ise 21. çatlak adımının sonlu eleman modelinin farklı açılarda görüntüleri verilmektedir. Her adımda olduğu gibi bu adımda da çatlak ucu bölgesinde tünel hacim oluşturularak düzenli ve yoğun bir ağ yapısının oluşturulması için hexahedral elemanlar ile bölüntülenmiş ve modelin geri kalanı ise tetrahedral elemanlar ile bölüntülenmiştir.



**Şekil 14.** 21. çatlak profiline ait sonlu eleman modelinin farklı açılarda görüntüleri (Different views of finite element model for the 21<sup>th</sup> crack profile).

#### 4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER (DISCUSSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada, Enerji, Savunma, Havacılık ve Uzay teknolojileri gibi kritik alanlarda karşılaşılan birçok karışık modlu kırılma problemlerine sayısal analiz yaklaşımıyla çözüm üretebilmek, karışık modlu kırılma olgusunun anlaşılabilmesini sağlamak ve düzlemsel olmayan çatlak ilerlemesinin modellenmesine

göstermek amacıyla, bir başlangıç çalışması olarak CT (compact tension) numunesine eğik çatlak yerleştirilerek tek eksenli çekme yükü altında çatlağın üç boyutlu modelleme ve çatlak ilerleme simülasyonları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Kırılma ve çatlak ilerleme analizleri FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System) programı ile gerçekleştirilmiştir. Çatlağın ilerletilmesinde üç boyutlu karışık mod-I/III probleminde, KIII'ün olmadığı ancak KIII'ün etkisinde oluşan KII'nin olduğu iki boyutlu mod-I/II kriteri kullanılarak, çatlak sapma açıları ( $\varphi_0$ ) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda KII'nin etkin bir rol oynadığı görülmüş ancak daha doğru ve güvenilir bir sonuca varmak için ve KII ve KIII'ün hem eşdeğer gerilme şiddet faktörü ( $\Delta K_{es}$ ) hem de çatlak sapma açısı ( $\varphi_0$ ) değerinin tespiti üzerindeki etkisini belirlemek için benzer deneysel çalışmaların da gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Konuyla ilgili gerçekleştirilen çalışmalar hem sayısal analiz hem de deneysel olarak gelişerek devam ettirilmekte olup, pratikte karşılaşılan saha problemleri içinde benzer çalışmalar uygulanmaktadır.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmayı, 113M407 no.lu proje kapsamında finansal olarak destekleyen, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Haile, T. K. Chen, F. Sediles, M. Shiao, D. Le, Estimating crack growth in rotorcraft structures subjected to mission load spectrum, *International Journal of Fatigue*, 43:142–149, 2012.
- [2] R. Jones, D. Tamboli, Implications of the lead crack philosophy and the role of short cracks in combat aircraft, *Engineering Failure Analysis*, 9:149–166, 2013.
- [3] L. Molent, S. A. Barter, A comparison of crack growth behaviour in several full-scale airframe fatigue tests, *International Journal of Fatigue*, 29:1090–1099, 2007.
- [4] W. Zhuang, S. Barter, L. Molent, Flight-by-flight fatigue crack growth life assessment, *International Journal of Fatigue*, 29:1647–1657, 2007.
- [5] R. K. Yee, K. S. Sidhu, Innovative laser heating methodology study for crack growth retardation in aircraft structures, *International Journal of Fatigue*, 27:245–253, 2005.
- [6] R. Jones, S. Pitt, D. Peng, The generalised Frost–Dugdale approach to modelling fatigue crack growth, *Engineering Failure Analysis*, 15:1130–1149, 2008.
- [7] L. Molent, S. A. Barter, R. J. H. Wanhill, The lead crack fatigue lifing framework, *International Journal of Fatigue*, 33:323–331, 2011.
- [8] W. Zhuang, L. Molent, Analytical study of fatigue crack growth in AA7050 notched specimens under spectrum loading, *Engineering Fracture Mechanics*, 77:1884–1895, 2010.
- [9] I. Salam, A. Tauqir, A. Q. Khan, Creep-fatigue failure of an aero engine turbine blades, *Engineering Failure Analysis*, 9:335–347, 2002.
- [10] L. Molent, S. A. Barter, The lead fatigue crack concept for aircraft structural integrity, *Procedia Engineering*, 2:363–377, 2010.
- [11] J. M. Larsen, B. D. Worth, C. G. Annis, F. K. Haake, An assessment of the role of near-threshold crack growth in high-cycle fatigue life prediction of aerospace titanium alloys under turbine engine spectra, *International Journal of Fracture*, 80:237–255, 1996.
- [12] T. Nicholas, J. R. Zuiker, On the use of the Goodman diagram for high cycle fatigue design, *International Journal of Fracture*, 80:219–235, 1996.

- [13] B. A. Cowles, High cycle fatigue in aircraft gas turbines-an industry perspective, *International Journal of Fracture*, 80:147-163, 1996.
- [14] Y. Mi, M. H. Aliabadi, Three-dimensional crack growth simulation using BEM, *Comput. Struct.*, 52(5):871-8, 1994.
- [15] W. T. Riddell, A. R. Ingraffea, P. A. Wawrzynek, Experimental observations and numerical predictions of three-dimensional fatigue crack propagation, *Eng. Fract. Mech.*, 58(4):293-310, 1997.
- [16] B. J. Carter, P. A. Wawrzynek, A. R. Ingraffea, Automated 3-D crack growth simulation, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 47:229-53, 2000.
- [17] K. W. Barlow, R. Chandra, Fatigue crack propagation simulation in an aircraft engine fan blade attachment, *Int. J. Fatigue*, 27:1661-8, 2005.
- [18] J. Hou, M. Goldstraw, S. Maan, M. Knop, An evaluation of 3D crack growth using ZENCRACK, DSTO-TR-1158, Defense Science and Technology Organization, 2001.
- [19] Zentech, Zencrack, 3D fracture mechanics simulation, UK: Zentech Int. Ltd., 2008.
- [20] M. Schollmann, M. Fan, H. A. Richard, Development of a new software for adaptive crack growth simulations in 3D structures, *Eng. Fract. Mech.*, 70:249-68, 2003.
- [21] BEASY™, Fatigue and crack growth software, <<http://www.beasy.com>>.
- [22] S. Bordas, B. Moran, Enriched finite elements and level sets for damage tolerance assessment of complex structures, *Eng. Fract. Mech.*, 73:1176-1201, 2006.
- [23] M. Moes, A. Gravouil, T. Belytschko, Non-planar 3D crack growth by the extended finite element and level sets-Part I: Mechanical model, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 53:2549-2568, 2002.
- [24] J. Oliver, A. E. Huespe, P. J. Sanchez, A comparative study on finite elements for capturing strong discontinuities: E-FEM vs X-FEM, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 195:4732-4752, 2006.
- [25] J. Rannou, A. Gravouil, M. C. Baietto-Dubourg, A local multigrid X-FEM strategy for 3-D crack propagation, *Int. J. Numer. Methods En.*, 77:581-600, 2009.
- [26] M. DufLOT, The extended finite element method in thermoelastic fracture mechanics, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 74:827-847, 2008.
- [27] T. H. Hyde, N. A. Warrior, Mixed-mode stress intensity factors for inclined cracks in round bars, *J. Strain. Anal.*, 28:257-262, 1993.
- [28] W. Lan, X. Deng, M. A. Sutton, Three-dimensional finite element simulations of mixed-mode stable tearing crack growth experiments, *Eng. Fract. Mech.*, 74:2498-2517, 2007.
- [29] H. Zhang, H. Toda, P. C. Qu, Y. Sakaguchi, M. Kobayashi, K. Uesugi, Y. Suzuki, Three-dimensional fatigue crack growth behavior in an aluminum alloy investigated with in situ high-resolution synchrotron X-ray microtomography, *Acta Mater.*, 57:3287-3300, 2009.
- [30] J. Rannou, N. Limodin, J. Rethore, A. Gravouil, W. Ludwig, M. C. Baietto-Dubourg, J. Y. Buffiere, A. Combescure, F. Hild, S. Roux, Three dimensional experimental and numerical multiscale analysis of a fatigue crack, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 199:1307-1325, 2010.
- [31] A. O. Ayhan, Mixed-mode stress intensity factors for deflected and inclined surface cracks in finite-thickness plates, *Eng. Fract. Mech.*, 71:1059-1079, 2004.



- [32] A. O. Ayhan, Mixed-mode stress intensity factors for deflected and inclined corner cracks in finite-thickness plates, *Int. J. Fract.*, 29:305–317, 2007a.
- [33] A. O. Ayhan, A. C. Kaya, H. F. Nied, Analysis of three-dimensional interface cracks using enriched finite elements, *Int. J. Fract.*, 142:255–276, 2006.
- [34] A.O. Ayhan, Stress intensity factors for three-dimensional cracks in functionally graded materials using enriched finite elements, *Int. J. Solids Struct.*, 44:8579–8599, 2007b.
- [35] A. O. Ayhan, Three-dimensional mixed-mode stress intensity factors for cracks in functionally graded materials using enriched finite elements, *Int. J. Solids Struct.*, 46:796–810, 2009.
- [36] A. O. Ayhan, H. F. Nied, FRAC3D-Finite element based software for 3-D and generalized plane strain fracture analysis, SRC Technical Report, 1998.
- [37] A. O. Ayhan, H. F. Nied, Stress intensity factors for three-dimensional surface cracks using enriched elements, *Int J Numer Method Engng.*, 54:899-921, 2002.
- [38] B. R. Davis, P. A. Wawrzynek, B. J. Carter, A. R. Ingraffea, 3-D simulation of arbitrary crack growth using an energy-based formulation-Part II: Non-planar growth, *Engineering Fracture Mechanics*, 154:111–127, 2016.
- [39] A. O. Ayhan, Simulation of three-dimensional fatigue crack propagation using enriched finite elements, *Computers & Structures*, 89:801-812, 2011.
- [40] M. Uslu, O. Demir, A. O. Ayhan, Surface cracks in finite thickness plates under thermal and displacement-controlled loads – Part 1: Stress intensity factors, *Engineering Fracture Mechanics*, 115:284–295, 2014.
- [41] A. O. Ayhan, Finite element analysis of nonlinear deformation mechanisms in semiconductor packages, Ph.D. dissertation, Lehigh University, 1999.
- [42] M. Uslu, O. Demir, A. O. Ayhan, Surface cracks in finite thickness plates under thermal and displacement-controlled loads – Part 2: Crack propagation, *Engineering Fracture Mechanics*, 115:255–269, 2014.
- [43] P. C. Paris, M. P. Gomez, W. E. Anderson, A rational analytic theory of fatigue, *Trend Engng.*, 13:9–14, 1961.
- [44] F. Erdogan, G. C. Sih, On the crack extension of plates under plane loading and transverse shear, *J. Bas. Engng.*, 85:519-527, 1963.
- [45] ANSYS, Academic Research Version 12.0, Ansys Inc., Canonsburg, PA, USA, 2009.
- [46] DataFit 9 Tutorials, Oakdale Engineering, Oakdale, PA 15071.
- [47] H. E. Misak, V. Y. Perel, V. Sabelkin, S. Mall, Crack growth behavior of 7075-T6 under biaxial tension–tension fatigue, *International Journal of Fatigue*, 55:158–165, 2013.
- [48] M. Kikuchi, Y. Wada, C. Ohdama, Effect of KIII on fatigue crack growth behavior, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 134(4), 041009, 2012.



## Ankara'da Apartmanlar Ve Kapalı-Güvenlikli Toplu Konutlar Mekânsal Konfigürasyonu Sentaktik Analizi

Merve BAYSAL<sup>1</sup>, Mehmet Tayfun YILDIRIM<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570, Maltepe Ankara/TÜRKİYE

### Öz

Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze kadar Ankara'da farklı tiplerde konutlar üretilmiştir. Üretilen bu konutlar tipolojik bağlamda, kentsel yerleşim biçimi bağlamında ve konut üretim yöntemlerine göre sınıflanabilmektedir. Son dönemde büyük inşaat firmaları tarafından üretilen ve konut tipolojisinde ayrı bir sınıfı oluşturan kapalı-güvenlikli konut yerleşimlerinde, konut grubu yakın çevresinde veya konut bloğu içerisinde konut işlevine ek yüzme havuzu, sağlık birimleri, alışveriş ve rekreasyon mekânları inşa edildiği görülmektedir. Bu çalışmada, Ankara'da farklı dönemlerde inşa edilen, yapım yöntemlerine göre yapı kooperatifleri, yap-satlar, toplu konutlar ve özel müteşebbüsler aracılığı ile üretilen konutlar mekân sentaksı yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışmada seçilen yöntem, apartman birim konutu, kapalı toplu konut birim konutu, kapalı toplu konut birim konutuna bağlı kabuk içi ek mekânlar dâhil edilerek 3 farklı plan tipinde uygulanmıştır. Sonuç olarak, kapalı konut sitesi konut birimlerinde ebeveyn banyosu, giyinme odası gibi ek mekânların oluşmasına rağmen; tüm tiplerde, konut içi mekânsal organizasyonda değişikliğin olmadığı ve gece gündüz bölümü ayrımı, yatak odası sayıları gibi benzerliklerin devam ettiği gözlemlenmiştir. Sentaktik analizlerde, kapalı konutlarda konut birimi dışı ve kabuk içi ek mekânlar konfigürasyona dahil edildiğinde; mekan entegrasyon değerlerinde değişimler görülmüştür. Bu durum da, kapalı güvenlikli konutlarda, kullanıcıların konut birimi dışında ama blok içinde yaşam mekânlarını kullandığı görülmektedir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 15/06/2015

Düzeltilme: 10/08/2016

Kabul: 22/01/2017

### Anahtar Kelimeler

Mekân sentaksı

Graf teori

Kapalı toplu konut

Apartman

### Keywords

Space syntax

Graph theory

Closed mass housings

Apartments

### Spatial Configuration Syntactic Analysis Of Apartments And Closed-Guarded Mass Housings In Ankara

### Abstract

Since the foundation of the Turkish Republic, different types of houses have been constructed in Ankara. These houses can be classified typologically, such as housing in parcels and housing in isles, or they can be classified according to the production methods. Lately, closely guarded settlements, which have been produced by major construction companies of the country have different housing typologies which have additional facilities such as swimming pool, health care units, recreational and shopping spaces. In this study, by the method of production, cooperatives, small budget contractor apartments, social housings and private corporation houses were analyzed using space syntax analysis method.

These chosen analysis method in this study have been applied to 3 types of plans such as unit houses in apartments, closed mass housing unit house and closed mass housing unit house with additional in-shell facilities. Although there are additional spaces, such as parent bathroom or dressing room in closed mass houses, all housing spatial organizations have not differences. Separations between day and night partitions and numbers of bedrooms have similarities. It is observed differences on the integration values of spaces when additional in-shell facilities have been added to spatial configuration. This result indicates home users are using the spaces which exist out of house unit but in block.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kentlerde yaşanan toplumsal, ekonomik ve siyasi yöndeki değişimler kentlerin gelişimine yansımaktadır. Türkiye'nin bu anlamdaki değişimi ve dönüşümü Cumhuriyet'in kurulması ile başlamıştır. Başkent olmanın avantajıyla hızlı bir yapılanma içine giren Ankara'da Cumhuriyet döneminde artan nüfus ve kente yapılan göçler barınma ihtiyacını beraberinde getirmiş, kent hızlı bir yapılanma sürecine girmiştir.

\*İletişim yazarı, e-mail: [mtayfun@gazi.edu.tr](mailto:mtayfun@gazi.edu.tr)

Cumhuriyet dönemi ile başlayan bu kentleşme ve konut sorunu her dönemde farklı konut tiplerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu dönemde kente gelen yabancı bürokratlar için modern, batı tarzı olarak tanımlanabilecek konutlar (apartmanlar) yapılmaya başlanmıştır. Yerli halk için ise Cumhuriyet'in modern yüzüne ve yaşam biçimine uygun olduğu düşünülen bahçeli, az katlı konut tipleri üretilmiştir.

Başkent'in konut sorununa yönelik olarak gerçekleştirilen, alt ve orta gelir gruplarını hedef alan kooperatifler ve özel şirketler aracılığı ile konutlar üretilmiştir. Üretilen bu konutları farklı bağlamlarda analiz etmek mümkündür. Tipolojik olarak bağımsız ev, ikiz ev, sıra ev, teras ev, apartman, duvar blok, nokta blok şeklinde sınıflanabilen konutlar; kentsel yerleşim biçimi bağlamında ise parsel içi yerleşim konutlar ve ada içi yerleşim konutlar şeklinde sınıflanabilmektedir. Bireysel konut üretimi, yapsat üretimi, yapı kooperatifleri üretimi, büyük inşaat şirketleri aracılığı ile konut üretimi gibi konutun kim tarafından hangi yolla üretildiğini ifade eden sınıflama ise konutları yapım yöntemlerine göre ayırmaktadır.

Konut üretim süreci içerisinde son yıllarda metropollerde yeni konut eğilimleri ortaya çıkmış, farklı konut talepleri olan üst gelir gruplarına yönelik konut üretimi başlamıştır. Günümüzde üst gelir gruplarının konut taleplerini karşılamaya yönelik olarak büyük inşaat firmaları tarafından üretilen ve rezidans olarak adlandırılan özgün bir konut tipinin ortaya çıktığı görülmektedir. Kapalı-güvenlikli bu konut yerleşimleri, kullanıcılarına sunduğu alternatif plan çeşitleri, günlük hayatı kolaylaştıran hizmetleri ve sosyal donatıları içerisinde barındıran küçük ölçekte birer çekim merkezi haline dönüşmesi bağlamında günümüz konut sektöründe önemli bir yer tutmaktadırlar.

Bu makalenin amacı; Ankara'da Cumhuriyet'ten günümüze kadar olan süreçte gerçekleştirilen konut uygulamaları içerisinde ağırlıkta olan parsel içi apartmanlar ile günümüz konut sektöründe önemli bir yer tutan kapalı güvenli konut yerleşimlerinin (rezidanslar) mekânsal konfigürasyonlarının karşılaştırılması, varsa farklılaşmaların tespit edilmesidir. Bu amaçla çalışmada Ankara'da farklı dönemlerde ve farklı üretim biçimleri ile üretilmiş konut örnekleri seçilmiştir. Çalışma örneklem evresinde yer alan yapı kooperatifleri, yapsatlar, toplu konutlar ve kapalı güvenli konut yerleşimleri (rezidanslar) üzerinden mekânsal anlamda konut sosyal ilişkilerinin değişimini ve bu değişimin plana yansımalarını analiz etmek amaçlanmaktadır.

## 2.YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, Ankara'da farklı üretim biçimleri ile üretilen konut tiplerinin mekânsal analizi, çalışmanın ilk adımı olarak ele alınmıştır. Konut örnekleri farklı üretim biçimlerinden seçilmiştir. Seçilen konut örneklerinin planları, Mekân Sentaksı ve Graf yöntemi ile analiz edilmiştir.

### 2.1. Graflar ve Kullanıldığı Alanlar (Graphs and Spaces in Used)

Graf yöntemi topolojik ilişkiler, geometrik ilişkiler ve geleneksel ilişkilerle birbirine bağlanan mekânlardan oluşan matematiksel bir analiz yöntemidir [1]. Bu yöntem, binalarda mekânsal sistemin örgütlenme biçimini ve işlevsel ilişkilerini, mekânsal dizilişte mekânların işlevsel sistem içerisindeki önem sırasını ve kullanıcıların sosyal davranış ilişkilerini "sayısal" olarak ifade etmeyi hedeflemektedir [2]. Günümüzde sistem mühendisliği, elektrik devresi tasarımı, şehir planında konut-ticaret-sanayinin ulaşım ağlarının çözümü, sirkülasyon şeması oluşturma, bilgisayar yazılımları gibi dallarda yararlanılan graflar mimaride; bina programlama aşamasında mekan işlev ilişkileri, mekanların işlevlere göre sınıflandırılması ve binaların matematiksel olarak tipolojilerinin analiz edilmesinde bir araç olarak kullanılmaktadır [3].

Graf yöntemi kullanılırken yararlanılan çözümleme araçları şunlardır:

- Beta İndeksi ( $\beta = \frac{E}{V}$ ) [4]
- Gamma İndeksi ( $G = \frac{E}{(v^2 - v)} / 2$ ) [4]
- Döngü - bölge sayısı  $C = [E - (V + 2) - 1]$  [5]
- Grafın çapı
- Alt yedek şebeke indeksi  $RI = (E - V + G) / [(V^2 - V) / 2] - (V - 1)$  [5]

## 2.2. Mekân Dizim Analiz Yöntemi (Space Syntax Analysis Method)

“Mekân dizimsel analiz, Bill Hillier ve Julienne Hanson önderliğindeki araştırma grubu tarafından Bartlett School, University College London’da geliştiren bir mekân okuma yöntemidir” [6]. Çakmak Mekânsal dizim yöntemini “sosyal ilişkileri, kültürel farklılıkları ve davranış değişimlerini tanımlayan, mekânların şematik bir sunumu” olarak tanımlamıştır [7]. Mekân Dizim yöntemi, çevrenin mekânsal örgütlenme özelliklerinin tanımlanması ve analiz edilmesi için geliştirilen teorik bir yöntemdir. Yöntem mekânsal örgütlenmeyi oluşturan süreçleri ve bu süreçlerin oluşumuna zemin hazırlayan sosyal anlamları öğrenmeyi hedeflemektedir [2]. Mekânsal Dizim Yöntemi kullanılırken yararlanılan çözümleme araçları şunlardır:

- König sayıları
- Ortalama derinlik değeri (  $md = \frac{\sum d}{k-1}$  )
- Entegrasyon değeri (  $RA = \frac{2(md-1)}{k-2}$  )

## 3. CUMHURİYET’TEN GÜNÜMÜZE ANKARA’DA KONUT UYGULAMALARI VE KONUT ÜRETİM BİÇİMLERİ KAPSAMINDA ELE ALINAN KONUT ÖRNEKLERİ (HOUSING PRACTICES IN ANKARA DATE FROM REPUBLIC AND HOUSINGS EXAMPLES WHICH ARE TAKED HOUSINGS PRODUCTION METHODS CONTEXT IN HAND)

Cumhuriyetle birlikte gelen Ankara’nın model kent olma durumu Ankara’nın hızlı bir yapılaşma süreci içerisinde girmesini sağlamıştır. Kente yapılan göçler ile birlikte nüfus hızla artmıştır.

### 3.1. Cumhuriyet’ten Günümüze Ankara’da Konutun Gelişimi ve Değişimi (Housings Development And Transformation In Ankara Date From Republic)

Cumhuriyet’in Ankara’da kurulmuş olması kentin geleceğini etkilemiş, yönetimin kentin düzenlenmesi ve gelişimine yönelik kararları olmuştur. “Cumhuriyet yönetiminin öncelikleri; Ankara’nın Başkent olması nedeniyle, bu kentin bir başkente yakışır biçimde imarı ve Başkent’te çalışacak memurların barınma sorunlarının giderilmesidir” [8]. Başkentte çalışacak memurlar bir süre eski Ankara’da barınma ihtiyacını karşılarken, eski Ankara ile Çankaya arasındaki arazi seçilerek Yenişehir gelişmeye başlamıştır [9]. Cumhuriyet kurulduğu tarihten itibaren Ankara’da konut zaman içinde değişim ve gelişim göstermiştir. Geleneksel konut tipinin yanı sıra, gerek konut üretim modellerine göre gerekse tipolojik olarak farklı konut tipleri ortaya çıkmıştır.

1950 sonrasında arsa fiyatlarının yükselmesi, konut maliyetinin artması sebepleriyle tek kişinin tek parselde bireysel olarak konut yapma imkânı azalmıştır. Çok katlı ve yüksek yoğunluklu yapılaşmanın ise bireysel yolla üretilme imkânı olmadığı gibi apartmanların tek hisse olarak satılması da olanaksızdır. 1954 yılında kentteki bu mülkiyet durumunu çözüme kavuşturmak için kat mülkiyeti hakkında yasal düzenleme yapılmıştır. Böylece bireysel konut üretimi yerini yap-sat denilen sunum biçimine bırakmıştır [10]. 1960’ların kentsel gelişmemize katkısı apartmanlaşmanın önünü açması olmuştur. [11]. Yap-satçılığın geliştiği 1960’lı yıllarda konut fiyatlarının giderek artması dolayısıyla halkın alım gücünün üzerine çıkması ve gecekonduların artmasıyla birlikte 1967’de hazırlanan İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda toplu konut yapımına yer verilmiştir. Toplu konut üretimi ucuz konut imkânı sunacak bir konut biçimi olarak önerilmiştir .

Ankara’da toplu konuttaki en önemli gelişmeler 1982 yılından itibaren olmuştur. 1981 ve 1984 yıllarında çıkarılan toplu konut yasaları ile öncekilerden daha büyük miktarda kamu fonu kredi şeklinde verilerek toplu konut yapımı desteklenmiştir [10]. 1981 yılındaki kanunda büyük sermaye gruplarına yer verilmezken, 1984 yılındaki 2985 sayılı kanunla özel sermayeye de yer verilmiştir. Böylece toplu konut üretimi yapı kooperatifleri ve konut şirketleri tarafından iki koldan sağlanmıştır [12]. “1980 sonrası konut üretim sürecinde ağırlıklı rol oynayan kesim büyük inşaat şirketleridir. Dönemde, büyük inşaat şirketleri konut üretim sürecine girerek, kent dışında satın aldıkları arazileri imar planı kapsamına aldırdıktan sonra buralarda konut yapımına başlamışlardır” [13].

2000'li yıllarla birlikte hızla gelişen kentleşme süreci içerisinde, dünya ülkelerinde özellikle metropollerde ortaya çıkan yüksek yoğunluklu yapı eğilimleri Ankara'da da yavaş yavaş kendini göstermeye başlamıştır. Son yıllarda iyice gelişme gösteren konut sektörü ile birlikte kentin çekim merkezi olan noktalarda ve kentin yeni gelişim gösteren alanlarında hızla yayılan rezidans kavramı insanlara güvenli, huzurlu, konforlu hayatlar vadederken aynı zamanda kültür, eğlence, alışveriş ve sosyal imkanlar sağlayarak yeni bir yaşam tarzı sunmaktadır.

### 3.2. Konut Üretim Biçimleri (Housing Production Methods)

Her dönemin konut sorununu çözmek için geliştirdiği konut sunum biçimleri olmuştur. Ankara'da modernleşme sürecinde dönem dönem değişen konut biçimi ve sorunları ile karşılaşmıştır. Tekeli konut sunum sisteminin değişik öğelerini oluşturan, kentin imarlı kesimine konut sunan konut sunum biçimlerini bireysel konut üretimi, yapı kooperatifleri konut üretimi, yapsatçı üretimi, toplu konut şirketleri üretimi ve yapı kooperatifleri birlikleri-yerel birlik yönetimi olmak üzere beş başlık altında incelemiştir [14]. Bu başlıklardan yararlanılarak, incelenen konutlar konut üretim modelleri kapsamında üç grup halinde sınıflandırılmıştır:

- a) Yapı kooperatifleri aracılığı ile konut üretimi
- b) Yap-satçı üretimi
- c) Büyük şirketler aracılığı ile konut üretimi
  - c.1) Toplu konut şirketleri aracılığı ile konut üretimi
  - c.2) Özel şirket aracılığı ile konut üretimi

### 3.3. Konut Üretim Biçimleri Kapsamında Ele Alınan Konut Örnekleri (Housings Examples Which Are Taked Housings Production Methods In Hand)

Ankara'da konut üretim biçimleri kapsamında üretilen apartman örnekleri arasında yapı kooperatifleri, yapsatlar, toplu konutlar ve son yıllarda hızla gelişen kapalı-güvenlikli (rezidanslar) konut örnekleri analiz örnekleri olarak seçilmiştir.

### 3.4. Yapı Kooperatifi aracılığıyla konut üretimi sunum biçimi örneği: Batıkent Çağlarkent Yapı Kooperatifi (Housings Production Presentation Format Example Which is By The Mediation of Building Cooperative: Çağlarkent Building Cooperative)

1984 yılında kurulan Çağlarkent Yapı Kooperatifi, her katında 3'er daire içeren 11 bağımsız bloktan oluşmaktadır. Tek tip olarak planlanan binaların herbir katı, 3 adet, 100 m<sup>2</sup>'lik 3+1 dairelerden oluşmaktadır. [15].

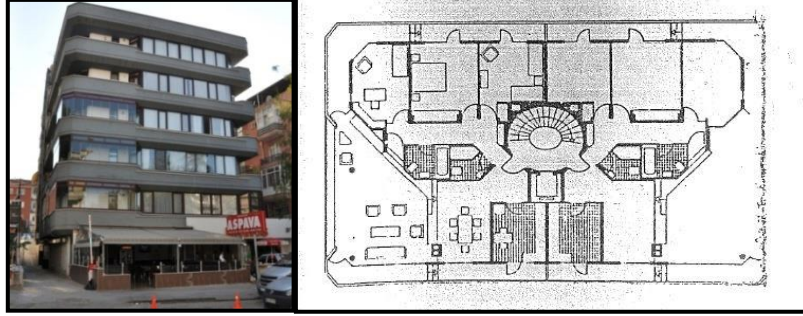


*Resim 3.1. Çağlarkent Sitesi (Çağlarkent Housings Site) [15]*

*Şekil 3.1. Çağlarkent Sitesi kat planı (Çağlarkent Housings Site floor plan) [16]*

### 3.5. Yapsat üretimi sunum biçimi örneği: Küçükesat'ta Konut (Housings Production Presentation Format Example Which is By The Mediation of Build and Sell System: Housing In Küçükesat)

Ankara'nın en işlek caddelerinden Esad Caddesi üzerinde yer alan, zemin katı ticari mekan, üst katları konut olarak tasarlanan yapının mimarı Şevki Vanlı olup, yapımı 1976 yılında tamamlanmıştır. Tasarımda konutu çepeçevre saran uzun balkonlara yer verilerek bina geri çekilmiştir. Zemin üzerinde 5 kattan oluşan konut, her katta iki dairenin yer aldığı 3+1 daire tipinden oluşmaktadır [9].



**Resim 3.2.** Konutun ön cephesinden

**Şekil 3.2.** Konutun kat planı (Floor plan) [18]

görünüş (Front Elevation) [17]

### 3.6. Büyük şirketler aracılığı ile konut üretimi sunum biçimi örnekleri ((Housings Production Presentation Format Example Which Is By The Mediation Of Big Company)

Büyük şirketler aracılığı ile konut üretimi toplu konut şirketleri aracılığı ile üretim ve özel şirketler aracılığı ile üretim şeklinde iki grup halinde incelenmiştir.

*Toplu konut şirketi aracılığı ile üretimi sunum biçimi örneği: Angora Evleri Nokta Bloklar (Housings Production Presentation Format Example Which is by the Mediation of Social Housing Company: Angora Housings Nokta Blocks)*

Ankara'nın Batı aksında yer alan Ümitköy/Çayyolu ve Beysukent semtlerinin arasında, Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü'nün batısında yer almaktadır. Angora Evleri; Beytepe Toplu Konut Alanı bölgesinde, villalar, sıra evler ve nokta bloklardan oluşan bir yerleşim alanıdır. Nokta bloklar 9 ile 14 kat arasında değişen toplam 12 adet blok olarak planlanmıştır [19]. 3+1 dairelerden oluşan Nokta Bloklarda yatak odalarında ebeveyn banyolarına yer verilmiş ayrıca konutlarda çamaşır odası, kiler, depo gibi servis mekânları da bulunmaktadır. Bloklarda çatı katları dubleks daire olarak tasarlanmıştır.



**Resim 3.3.** Nokta Bloklar

**Şekil 3.3.** Nokta Bloklar daire planı (Nokta Blocks

(Nokta Blocks) [17]

floor plan [19]

*Özel şirket aracılığı ile üretimi sunum biçimi örneği: Ankarama Rezidans 3+1 tipi (Housings Production Presentation Format Example Which is by the Mediation of Private Company: Ankarama Residence type 3+1)*

Ankarama Rezidans Gaziosmanpaşa Kırkkonaklar'da yer almaktadır. Mimari projesi Hilmi Güner ve Hüseyin Bütüner liderliğindeki ARTI Tasarım tarafından oluşturulmuştur. TESAN inşaat firması tarafından

yapılmıştır. Yalnız yaşayanlardan geniş ailelere kadar 2+1, 3+1, 4+1, 5+1, 6+1 dubleks ve bahçeli konutlar, 80-400 m2 aralığında değişen farklı alternatiflerde yaşam seçenekleri sunmaktadır. Ayrıca bahçe dubleks (garden loft), çatı dubleksleri (süite) ve /çatı dubleksleri (penthouse) dubleks daire tipinde yenilik arayanlara özel seçenekler sunmaktadır [20]. Rezidansın (-1). katında konut sahiplerinin kullanabileceği sosyal mekanlara yer verilmiştir.

*Sosyal Donatılar:* Kapalı yüzme havuzu, güneşlenme terası, fitness center, sauna

*Hizmetler:* Güvenlik, otopark, kuru temizleme, ilaç tedarik hizmeti, süpermarket hizmeti



**Resim 3.4.** Ankarama Rezidans

(Ankarama Residence) [20]



**Şekil 3.4.** 3+1 daire kat planı (Floor plan) [20]

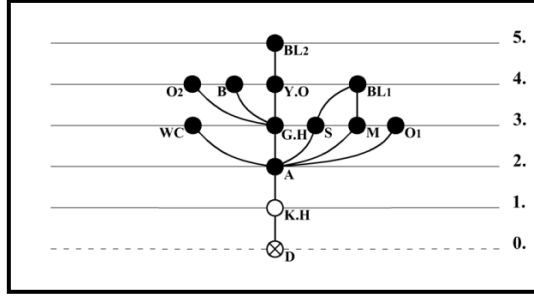
#### 4. DEĞERLENDİRME (ASSESSMENT)

Konutlarda mekân sentaksı analizleri apartman ve kapalı-güvenlikli konut örnekleri olmak üzere iki grup halinde incelenmiştir. Kapalı-güvenlikli toplu konut örneği analizinde, sosyal donatıların konut grubu içerisinde yer alması durumu göz önünde bulundurularak hesaplar yapılırken dâhil edilmiştir. Graflar elde edilirken rezidans örneğinde iki tip graf oluşturularak iki ayrı hesap yapılmıştır. Bunun nedeni ise sosyal donatıların konut bloğu içerisinde yer almadığı durumda diğer konut örnekleriyle olan benzerlik ya da farklılıklarının tespit edilmesidir.

Örnek Olarak Seçilen Konutların Sentaktik Analizleri (Syntactic Analysis of the Case Studies)

**Çizelge 4.1.** Batıkent Çağlarkent yapı kooperatifi sentaktik hesapları (Syntactic Calculation of Batıkent Çağlarkent build cooperative)

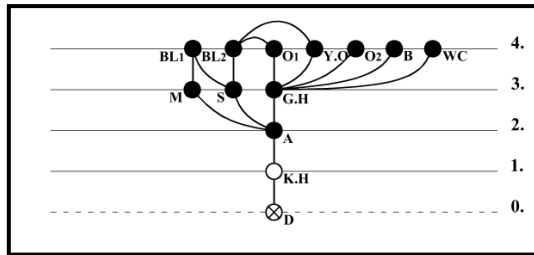
Kısaltma	Mekân	TD	MD	RA
A	Antre	19	1,583	0,106
G.H	Gece Holü	20	1,666	0,121
S	Salon	28	2,333	0,242
O 1	Oda 1	30	2,5	0,272
O 2	Oda 2	33	2,75	0,318
Y.O	Yatak Odası	31	2,583	0,287
M	Mutfak	28	2,333	0,242
B	Banyo	33	2,75	0,318
WC	Tuvalet	30	2,5	0,272
BL 1	Balkon 1	37	3,083	0,378
BL 2	Balkon 2	42	3,5	0,454
KH	Kat Holü	28	2,333	0,242
D	Dış	39	3,25	0,409



Şekil 4.1. Konut birimi ilişki grafi (Graph of Housings Unit)

Çizelge 4.2. Küçüközet'te konut örneği sentaktik hesapları (Syntactic Calculation of Housings In Küçüközet)

Kısaltma	Mekân	TD	MD	RA
A	Antre	20	1,666	0,121
G.H	Gece Hol ü	18	1,5	0,09
S	Salon	25	2,083	0,196
O 1	Oda 1	27	2,25	0,227
O 2	Oda 2	31	2,583	0,287
Y.O	Yatak Odası	27	2,25	0,227
M	Mutfak	29	2,416	0,257
B	Banyo	31	2,583	0,287
WC	Tuvalet	31	2,583	0,287
BL 2	Balkon 1	34	2,833	0,333
BL 2	Balkon 2	28	2,333	0,242
KH	Kat Holü	29	2,416	0,257
D	Dış	40	3,333	0,424



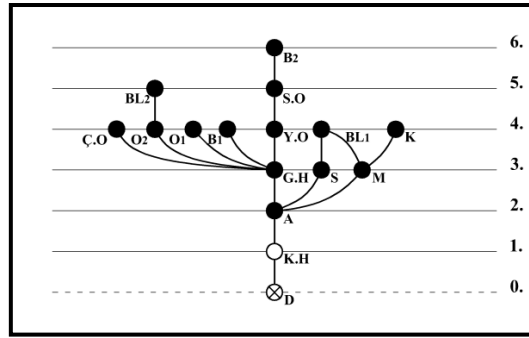
Şekil 4.2. Konut birimi ilişki grafi (Graph of Housings Unit)

Çizelge 4.3. Nokta Bloklar örneği sentaktik hesapları (Syntactic Calculation of Nokta Blocks)

Kısaltma	Mekân	TD	MD	RA
A	Antre	30	2	0,142
G.H	Gece Hol ü	28	1,866	0,123
S	Salon	42	2,8	0,257
O 1	Oda 1	42	2,8	0,257
O 2	Oda 2	40	2,666	0,238
Y.O	Yatak Odası	38	2,533	0,214
M	Mutfak	40	2,666	0,238
B 1	Banyo 1	42	2,8	0,257



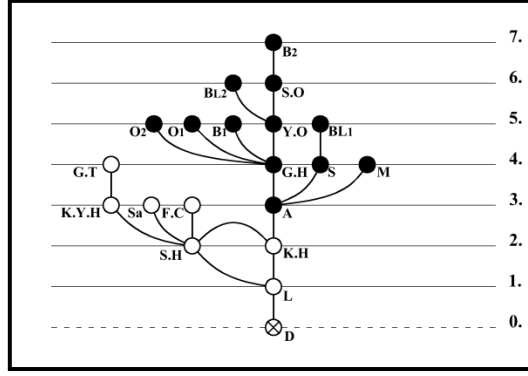
B 2	Banyo 2	64	4,266	0,466
BL 1	Balkon 1	52	3,466	0,352
BL 2	Balkon 2	54	3,6	0,371
Ç.O	Çamaşır Odası	42	2,8	0,257
K	Kiler	54	3,6	0,371
S.O	Soyunma Odası	50	3,333	0,333
KH	Kat Holü	42	2,8	0,257
D	Dış	53	3,533	0,361



Şekil 4.3. Konut birimi ilişki grafi (Graph of Housings Unit)

Çizelge 4.4. Ankarama Rezidans örneği sentaktik hesapları-1 (Syntactic Calculation 1 of Ankarama Residence)

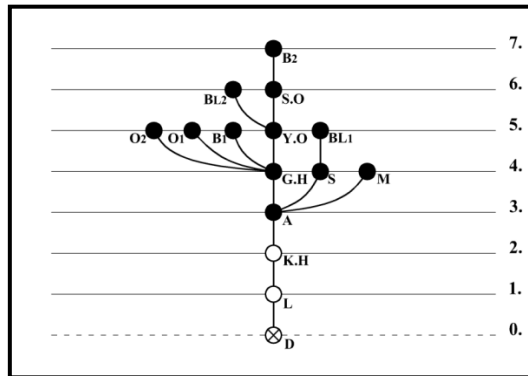
Kısaltma	Mekân	TD	MD	RA
A	Antre	44	2,315	0,146
G.H	Gece Holü	48	2,526	0,169
S	Salon	62	3,263	0,251
O 1	Oda 1	66	3,473	0,274
O 2	Oda 2	66	3,473	0,274
Y.O	Yatak Odası	60	3,157	0,239
M	Mutfak	62	3,263	0,251
B 1	Banyo 1	66	3,473	0,274
B 2	Banyo 2	94	4,947	0,438
BL 1	Balkon 1	74	3,894	0,321
BL 2	Balkon 2	78	4,105	0,345
S.O	Soyunma Odası	76	4	0,333
F.C	Fitness Center	74	3,894	0,374
K.Y.H	Kapalı Yüzme Havuzu	72	3,789	0,309
Sa	Sauna	74	3,894	0,321
G.T	Güneşlenme Terası	90	4,736	0,415
S.H	Sosyal Kat Holü	56	2,947	0,216
K.H	Kat Holü	48	2,526	0,169
L	Lobi	59	3,105	0,233
D	Dış	77	4,052	0,389



**Şekil 4.4.** Konut birimi + blok içi yarı kamusal mekanlar ilişki grafi (Graph of Housings Unit + semipublic spaces in blocks)

**Çizelge 4.5.** Ankarama Rezidans örneği sentaktik hesapları-2 (Syntactic Calculation 2 of Ankarama Residence)

Kısaltma	Mekân	TD	MD	RA
A	Antre	26	1,857	0,131
G.H	Gece Holü	28	2	0,153
S	Salon	40	2,857	0,285
O 1	Oda 1	41	2,928	0,296
O 2	Oda 2	41	2,928	0,296
Y.O	Yatak Odası	35	2,5	0,214
M	Mutfak	42	3	0,307
B 1	Banyo 1	41	2,928	0,296
B 2	Banyo 2	59	4,214	0,494
BL 1	Balkon 1	53	3,785	0,428
BL 2	Balkon 2	48	3,428	0,373
S.O	Soyunma Odası	46	3,285	0,351
K.H	Kat Holü	38	2,714	0,263
L	Lobi	49	3,5	0,384
D	Dış	62	4,428	0,527



**Şekil 4.5.** Konut birimi (blok içi yarı kamusal mekanlar dahil edilmemiş) ilişki grafi (Graph of Housings Unit which doesn't contain semipublic spaces)

Apartman örnekleri verileri:

- Apartmanlarda iç mekân konfigürasyonu bağlamında tipik özellik antreye bağlı salon ve mutfak bulunmasıdır. Gece ve gündüz bölümü ayrılmıştır. Gündüz bölümü salon, mutfak, antre, gece bölümü ise yatak odaları ve ortak banyo mekanlarını kapsamaktadır. Toplu konut örneklerinde ebeveyn banyosu, soyunma odası, kiler, vestiyer odası, depo, çamaşır odası gibi ek mekânlar gözlenmiştir. Apartmanlarda yer alan birim konutların içerdiği mekânların sentaktik değerlerinde birbirine benzerlik bulunmaktadır. Konut örneklerinde rölatif asimetri değeri en düşük ve en bağlantılı mekan çoğunlukla antre çıkmaktadır. Tipik apartmanlarda yatak odası, odalar, salon ve mutfak ortak balkona açıldığı durumlarda en entegre mekanın gece holü çıktığı görülmüştür. Mekân birimleri kapsamında graflar derinlik derecelerine göre incelendiğinde Çizelge 4.6'da yer alan veriler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Apartman örnekleri mekan analizleri (Space analysis of apartment examples)

Mekân	Mekân Hiyerarşisi	Derinlik Derecesi	(RA) Aralığı
Dış	Dış	0	0,323- 0,821
Kat Holü	Dış - Kat Holü	1	0,133- 0,571
Antre	Dış - Kat Holü - Antre	2	0,09- 0,392
Mutfak	Dış - Kat Holü - Antre - Mutfak	3	0,191 - 0,511
Salon	Dış - Kat Holü - Antre - Salon	3	0,142 - 0,327
Gece Holü	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü	3	0,087 - 0,25
Misafir wc	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Wc	4	0,254 - 0,371
	Dış - Kat Holü - Antre - Wc ÖRNEK: Batıkent Çağlarkent Sitesi	3	0,272 - 0,287
Oda	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Oda	4	0,186 - 0,422
Yatak Odası	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası	4	0,196 - 0,422
Banyo	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Banyo	4	0,228 - 0,466
Ebeveyn Banyo	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası - Ebeveyn Banyo	5	0,338 - 0,448
	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası - Soyunma Odası - Ebeveyn Banyo ÖRNEK: Angora Evleri Nokta Bloklar 3+1 tipi	6	0,466
Balkon	Dış - Kat Holü - Antre - Salon - Balkon Mutfak	4	0,228 - 0,466
Çamaşır Odası	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Çamaşır Odası	4	0,294 - 0,33
Soyunma Odası	Dış - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası - Soyunma Odası	4	0,22 - 0,257
Kiler	Dış - Kat Holü - Antre - Mutfak - Kiler	4	0,371

*Kapalı güvenli konut örneği verileri:*

- Gece ve gündüz bölümü ayrımı devam etmektedir.
- Gündüz bölümü salon, mutfak, antre ve misafir tuvaleti iken, gece bölümü yatak odaları ve ortak banyodur.

- Apartmanlarda belirli bir dönemden sonra yapılmaya başlanan ebeveyn banyosu, soyunma odası, kiler, çamaşır odası gibi ek mekânlara kapalı güvenli konutlarda ağırlıklı olarak yer verildiği görülmektedir.
- Kapalı güvenli konut örneklerinde konut birimi içerisinde yüzme havuzu, güneşlenme terası, sauna, Türk hamamı, spor merkezi, SPA, eğlence merkezi, çocuk oyun odaları, sosyal kulüpler, toplantı salonları, alışveriş birimleri gibi apartman örneklerinde görmediğimiz ek sosyal donatıların yer aldığı görülmektedir.
- Ayrıca binaya girdikten sonra otel resepsiyonu gibi hizmet veren bir lobi mekânı yer aldığı görülmektedir. Bu durum graf işlev şemalarında görüldüğü üzere apartmana kıyasla mekânların derecelerini birer kademe artırmıştır.
- Konut birimi olarak ele alındığında apartmanlardan farkı yoktur.

a) Blok içi yarı kamusal mekânlar dâhil edilerek hesaplanan kapalı-güvenlikli konut örnekleri verileri:

Rölatif asimetri değeri en düşük ve en bağlantılı mekan antre çıkmaktadır.

**Çizelge 4.7. Kapalı-güvenlikli konutlar mekân analizi (Space analysis of residence example)**

Mekân	Mekân Hiyerarşisi	Derinlik Derecesi	(RA) Aralığı
Dış	Dış	0	0,21- 0,389
Lobi	Dış - Lobi	1	0,155- 0,307
Sosyal Kat Holü	Dış - Lobi - Sosyal Kat Holü	2	0,138- 0,274
Kat Holü	Dış - Lobi - Kat Holü	2	0,112- 0,241
Antre	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre	3	0,101- 0,252
Mutfak	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Mutfak	4	0,172- 0,333
Salon	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Salon	4	0,142 - 0,316
Gece Holü	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Gece Holü	4	0,113 - 0,236
Oda	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Oda	5	0,184 - 0,483
	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Oda	4	0,2 - 0,371
Yatak Odası	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası	5	0,137 - 0,461
Banyo	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Banyo	5	0,19 - 0,483
Ebeveyn Banyo	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Gece Holü - Yatak Odası - Soyunma Odası - Ebeveyn Banyo	7	0,326 - 0,566
Balkon	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Salon - Balkon Mutfak	5	0,208 - 0,352
Soyunma Odası	Dış - Lobi - Kat Holü - Antre - Hol - Yatak Odası - Soyunma Odası	6	0,3 - 0,405
Fitness Center Kapalı Y.Havuzu Sauna	Dış - Lobi - Sosyal Kat Holü - Fitness Center Kapalı Y. Havuzu Sauna	3	0,233 - 0,448
Güneşlenme Terası	Dış - Lobi - Sosyal Kat Holü - Kapalı Yüzme Havuzu - Güneşlenme Terası	4	0,268 - 0,538

Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere her ikisinde de ortak olarak görülen ana mekanlar kapsamında değerlendirildiğinde, kapalı-güvenlikli konutlarda apartmanlara göre mekanların derinlikleri artmıştır.

**Çizelge 4.8. Apartmanlar ve kapalı-güvenlikli konutların derinlik derecelerine göre karşılaştırılması (Comparison of apartments and residences according to degree)**

KONUT İÇİ ANA MEKÂNLAR	DERİNLİK DERECELERİ	
	APARTMAN ÖRNEKLERİ	KAPALI-GÜVENLİKLİ KONUT
Antre	2	3
Salon	3	4
Mutfak	3	4
Gece Holü	3	4
Oda	4	5
Yatak Odası	4	5
Ortak banyo	4	5
Ebeveyn Banyo	6	7
Soyunma Odası	5	6
Balkon	4-5	5

*b) Blok içi yarı kamusal mekânlar dâhil edilmeden hesaplanan kapalı güvenli konut örnekleri verileri:*

Konut örneklerinde rölatif asimetri değeri en düşük ve en bağlantılı mekan çoğunlukla antre çıkmıştır.

Mekân birimleri kapsamında graflar derinlik derecelerine göre incelendiğinde; blok içi yarı kamusal mekanlar dahil edilmeden hesaplanan bu graflarda mekanların, blok içi yarı kamusal mekanlar dahil edilen rezidans örneğinin derinlik dereceleri ile aynı olduğu görülmüştür.

Kapalı güvenli konutlarda blok içi yarı kamusal mekanlar yer almadığında, rezidans graflarının apartman grafiyle benzeştiği görülmüştür. Rezidanslarda sosyal mekânlar yer almadığı durumda apartman tipinden farklılaşmadığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Ankara’da Cumhuriyet’in ilanından sonraki süreçte planlı yapılaşma ile birlikte yoğun konut üretimi olduğu görülmektedir. Tipolojik olarak bağımsız ev, ikiz ev, sıra ev, teras ev, apartman, duvar blok, nokta blok şeklinde sınıflanabilen konutlar; kentsel yerleşim biçimi ele alındığında ise parsel içi yerleşim konutlar ve ada içi yerleşim konutlar şeklinde sınıflandırılabilir. Yapı kooperatifleri, küçük sermayeli müteahhitler ve toplu konut şirketleri aracılığı ile çok sayıda apartman üretildiği görülmüştür. Konut üretim süreci içerisinde, son yıllarda metropollerde yeni konut eğilimlerinin ortaya çıkması ile 2000’li yıllardan sonra üretimi yaygınlaşan kapalı-güvenlikli konutlar (rezidans) tip kırılmasına neden olmuştur.

Apartman örnekleri batı tipinde, dışa dönük, balkonlu, gece-gündüz bölümü ayrımı olan konutlardır. Gündüz bölümü mekanları antre, salon, mutfak ve (varsa) günlük odadır. Gece bölümü mekânları ise odalar ve banyodur. 1980 sonrası dönemde gelir seviyesine göre konutlarda oda sayısı artmış, farklı büyüklükte planlarda soyunma odası, ebeveyn banyosu, kiler, çamaşır odası gibi mekânlar ortaya çıkmıştır. Kapalı-güvenlikli konut örneklerinde konut işlevinin yanı sıra açık/kapalı yüzme havuzu, alışveriş merkezi ya da birimleri, sağlık ve spor birimleri, çok amaçlı salonlar, çocuklar için etüt merkezleri, restoran/cafes gibi yemek birimleri, rekreatif mekânlar, peyzaj elemanları gibi ek işlevler yer almaktadır. Kullanıcılar dairesinden çıkıp asansöre binerek güvenlik sınırları içerisinde sosyal mekânlara ulaşabilmektedirler. Apartman örneklerinde ise; bu ek sosyal donatılara kent içinde konuttan bağımsız noktalarda ulaşılmaktadır. Konut örneklerinin mekan entegrasyonları incelendiğinde ise; çoğu örnekte en bağlantılı ve en entegre mekanın antre çıktığı görülmüştür. Yatak odası, odalar, salon ve mutfağın ortak balkona açıldığı durumlarda ise; en entegre mekanın gece holü çıktığı görülmüştür. Apartmanlarda belirli bir dönemden sonra görülen ebeveyn banyosu, soyunma odası, kiler, çamaşır odası gibi ek mekânlara kapalı güvenli konutlarda ağırlıklı olarak yer verildiği görülmektedir. Kapalı-güvenlikli konutlarda konut bloğu içerisinde

daha önceki konut tiplerinden farklı olarak ek sosyal donatılara yer verildiği görülmektedir. Ayrıca binaya girdikten sonra otel resepsiyonu gibi hizmet veren bir lobi mekânı yer aldığı görülmektedir. Kapalı-güvenlikli konut örneklerinin mekan entegrasyonları incelendiğinde ise; çoğu örnekte en bağlantılı ve en entegre mekanın antré çıktığı görülmüştür. Rezidansların farklı bir nitelik kazanmasına neden olan sosyal donatılar yer almadığında konut graflarının ve birim mekân hiyerarşilerinin apartmanlar ile benzeştiği görülmüştür. Rezidansların birim konut olarak ele alındığında apartmanlardan farklı olmadığı görülmüştür.

Kapalı-güvenlikli konut yerleşimlerinin kentliyi kentten izole ederek kentle olan sosyal ve kültürel ilişkileri zayıflattığı gözlenmiştir. Konutların yer seçimi de bu konuda bağlayıcı olmaktadır. Büyük bir kısmı kent merkezinden uzakta inşa edilen bu konutların yer seçimlerine olanak tanıyan imkânların kısıtlılığı sebebiyle konutların merkez dışına itilmesi, kimi kullanıcılar için bir dezavantaj unsuru olarak görülmekle birlikte kentin günlük yoğunluğundan uzakta yaşamayı tercih eden bireyler için ise bir avantaj unsuruna dönüşebilmektedir. Dolayısıyla kentin çeperlerine doğru gelişme gösteren konutların yer seçiminin de kentliyi merkezden uzağa itebildiği görülmektedir. Konutlar kentsel ve sosyal ilişkiler açısından ele alındığında ise; kullanıcıların konut güvenlik sınırları dışına çıkma ihtiyacı duymadan alışveriş, sinema, eğlence, yemek, sağlık gibi çoğu ihtiyacını giderebildiği ve kentle ilişki kurmadan günlük hayatını sürdürebildiği görülmektedir. Kapalı-güvenlikli konutların kullanıcılar için bir sosyal statü belirleyici olarak görüldüğü de bir gerçektir. Tanıtım reklamlarında yer verdikleri sloganlarla ayrıcalıklı bir yaşam vaat eden kapalı-güvenlikli konutlardaki hayat özendirilmektedir. Kullanıcılar için benzer maddi güce sahip bireyler içerisinde bu konut gruplarından ev almak önem arz eder hale gelmektedir. Sonuç olarak günümüzde metropol hayatının karmaşası ve yoğunluğu içerisinde birçok sosyal donatıyı bir arada bulundurarak kullanıcıya kolaylık sağlayan rezidans bloklarının, gelecekteki konutlar ve kentsel ilişkiler adına bir tehdit unsuru oluşturduğu da bir gerçektir. Kenti yaşanabilir kılan unsurların bir arada yer aldığı, kentsel ilişkilerin güçlü olduğu, sosyal ve kültürel bağların kopmadığı bir kent ortamının varlığı korunmaya çalışılmalıdır.

#### **KISALTMALAR ve SEMBOLLER (ABBREVIATIONS AND SYMBOLS)**

TOKİ	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
AVM	Alışveriş Merkezi

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Hacıhasanoğlu, O. Mimarlıkta Biçimbilimsel Çalışmalar, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Lisans Programı Seçmeli Ders Notları, İstanbul, 2007
- [2] Hillier, B. ve Hanson J. The Social Logic of Space, Cambridge University Press, London, 147-149, 1984.
- [3] Yıldırım, M. T., Bina Fonksiyonu – Bina Biçimi İlişkisinde Çizge Teorisi Kullanımı İle Veri Eldesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [4] Broadbent, G., Design in Architecture, John Wiley & Sons, London, 1973.
- [5] Tabor P. , Analysing Route patterns, The Architecture of Form, Cambridge University Press, Cambridge, 1976
- [6] Çil, E., “Bir Kent Okuma Aracı Olarak Mekân Dizimi Analizinin Kuramsal ve Yöntemsel Tartışması”, Megaron Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi e- Dergisi, Cilt 1, No 4, 218-233, 2006.
- [7] Çakmak Y. B., Kırsaldan Kente Göç Sürecinde Mekânsal Değişim Mekân Dizim Yöntemiyle Analiz, Çizgi Kitabevi, Konya, 2011.

- [8] Akın, E., Kentsel Gelişme ve Kentsel Rantlar: Ankara Örneği, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Ve Siyaset Bilimi (Kent Ve Çevre Bilimleri) Anabilim Dalı, 2007.
- [9] Özmen, A., 1920 Sonrası Ankara'da Apartman Konut Gelişimi ve Sosyal Değişim ile Etkileşimi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
- [10] Şenyapılı T. ve Türel A., Ankara'da Gecekondu Oluşum Süreci ve Ruhsatlı Konut Sunumu - Ankara'da Ruhsatlı Konut Sunumu, Ankara, Batıbirlik Yayınları, 1996.
- [11] Keleş, R. ve Duru, B., 'Ankara'nın Ülke Kentleşmesindeki Etkilerine Tarihsel Bir Bakış', Mülkiye Dergisi, Cilt XXXII, No 261, 27-44, 2008.
- [12] Tekeli, İ., Yetmiş Yıl içinde Türkiye'nin Konut Sorununa Nasıl Çözüm Arandı, TOKİ Yayınları, Ankara, 1995.
- [13] Bayraktar N., "Başkent Ankara'da Konut Sorununa Yönelik Çözüm Arayışları", TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi Bülteni, 12-14, 2002
- [14] Tekeli, İ., Konut Sorununu Konut Sunum Biçimleriyle Düşünmek, Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul, 2010.
- [15] Gündüz, M., Konut ve Yaşantı: Batıkent Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
- [16] Kent- Koop., Batıkent'95, Batıkent'i Tanıtıcı Broşür, Kent-Koop. Yayınları, 1995.
- [17] Baysal, M., *Arşivinden*, 2014
- [18] Vanlı, Ş., 'Ankara'da Bir Apartman', Mimarlık Dergisi, No 2, 104, 1976.
- [19] İnternet: URL: <http://.angoraevleri.web.tr/>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2014.
- [20] İnternet: URL: <http:// www.ankarama.com.tr/>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2014.



## Alüminyum Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Kaynak Edilebilirliğinin Değerlendirilmesi

Musa BİLGİN<sup>1,\*</sup>, Şener KARABULUT<sup>2</sup>, Ahmet ÖZDEMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hacettepe Üniversitesi, Başkent O.S.B. Teknik Bilimler M.Y.O. , 06909, Sincan, Ankara

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Ankara Sanayi Odası 1. O.S.B M.Y.O. , 06935, Sincan, Ankara

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak. , İmalat Mühendisliği, 06500, Teknikokullar, Ankara

### Öz

Hava, kara ve deniz taşımacılığında kullanılan araçlarda sera gazı emisyonlarını azaltmanın ve enerji korunumu artırmanın en iyi yollarından biri alüminyum ve magnezyum gibi daha hafif ve dayanıklı malzemeler kullanmaktır. Fakat her iki metalin klasik ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinin zor olması ve özel işlem gerektirmeleri Al ve Mg alaşımlarının ortak yapılar da kullanılmalarını sınırlamıştır. Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi kullanılarak Al/Mg alaşımlarının birleştirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilerek, SKK yönteminin de kullanılan değişkenlerin (ilerleme hızı, devir sayısı, eğim açısı, eksenel dalma kuvveti, takım tasarımı, takım kaydırma mesafesi ve malzemelerin pozisyonları); kaynak kalitesi, mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Al/Mg malzeme çiftinin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde kaynak kalitesini etkileyen en önemli unsur birleşme bölgesinde oluşan gevrek yapıdaki  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) ve  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) intermetalik bileşiklerdir. Al/Mg alaşımların SKK yöntemi ile birleştirilmesinde kaynak bölgesinin çekme dayanımı, ana metal Al alaşımların çekme dayanımının % 60 üstünde oluşabilmektedir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 14/10/2016

Düzeltilme: 23/01/2017

Kabul: 02/12/2017

### Anahtar Kelimeler

Alüminyum alaşımı  
Magnezyum alaşımı  
Sürtünme karıştırma  
kaynağı

### Keywords

Aluminum Alloy  
Magnesium Alloy  
Friction Stir Welding

### The Assessment of Aluminum Magnesium Alloys' Weldability with Friction Stir Welding

#### Abstract

One of the best ways to decrease emissions of greenhouse gas and increase protection of energy from vehicles used for air, land and sea transport is to use lighter and more durable materials such as aluminum and magnesium. However, it is difficult to combine each of two metals with conventional fusion welding methods and specific process requirements have restricted the usage of Al and Mg alloys in common structures. In this review study, the experimental studies about the joining of Al / Mg alloys by using friction stir welding (FSW) method were evaluated and the effect of welding parameters used in friction stir welding process such as feed rate, spindle speed, rake angle, axial pressure force, tool design, tool offset distance and positions of materials on the weld quality, microstructure and mechanical properties were analyzed. The most important factor affecting on welding quality is  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) and  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) intermetallic on the brittle structure which occurs on joining area in the FSW of Al/Mg material pair. The tensile strength of the joining zone can be more than 60% of the Al alloy compared to the base metal in the welding of Al / Mg alloys with FSW method of by using correct joining parameters.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz endüstrisinde teknik ve ekonomik faktörler nedeniyle farklı metallerin kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Ancak mekanik, fiziksel ve metalurjik özelliklerinin farklılığından dolayı farklı metallerin kaynağını yapmak oldukça zordur [2].

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) TWI (The Welding Institute) tarafından 1991 yılında İngiltere'de geliştirilmiş bir katı hal kaynak yöntemidir [3]. SKK yöntemi son yıllarda metallerin birleştirmesindeki en

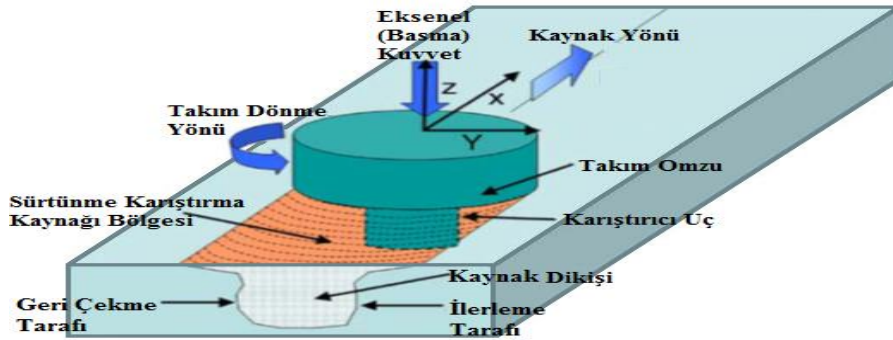
\*İletişim yazarı, e-mail: musabilgin@hacettepe.edu.tr



önemli gelişmelerden birisi olmuştur [4]. SKK yöntemi ilk olarak Al alaşımlarının birleştirilmesi amacıyla geliştirilmesine rağmen, son zamanlarda yüksek performanslı takım malzemelerinin kullanılmasıyla Titanyum, Nikel ve Çelik gibi yüksek ergime derecesine sahip metallere de kaynağı yapılabilmektedir [5]. Günümüzde SKK yöntemi ile Al alaşımı/Çelik [6-8], Mg alaşımı/Çelik [9], Al alaşımı/Bakır [10], Ti/Çelik [11] ve Al/Mg [12-14] gibi farklı metaller birleştirilebilmektedir.

SKK yöntemi genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan ve katı faz kaynağı olan sürtünme kaynağı yönteminden geliştirilmiştir [15]. SKK yöntemiyle alın, bindirme ve T kaynağı gibi tüm pozisyonlarda birleştirme olanağı sağlamaktadır [4,16]. SKK yöntemi uygulanması esnasında düşük enerji tüketimi, gaz salınımının olmaması, ışın oluşmaması, elektrot, dolgu maddesi, toz ve korucu gaz gibi maddelere ihtiyaç duyulmamasından dolayı çevreci bir kaynak teknolojisidir. Ayrıca kısa kaynak süresi, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, kaynak parametrelerinin kontrol edilebilirliği ve otomasyona yatkınlığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı geleneksel yöntemlerle kıyaslandığı zaman maliyet çok düşük kalmaktadır. SKK yönteminin klasik ergitme kaynaklar yöntemlerine göre birçok üstünlüğünün bulunması uygulama alanlarını genişlemesine ve kullanımının hızla artmasını sağlamaktadır [4,17-23].

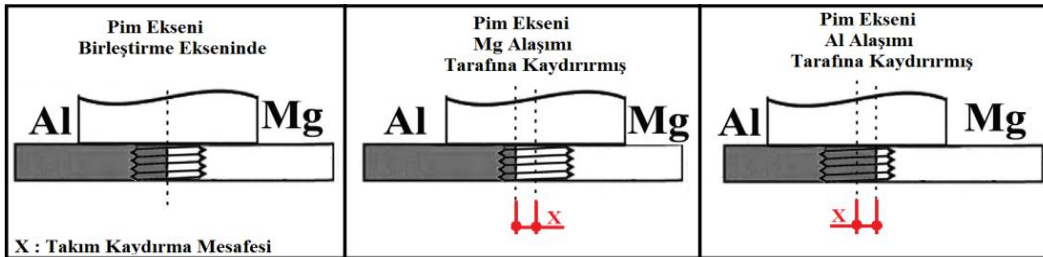
SKK yönteminin temel kavramı oldukça basittir. Pim ve omuz ile özel olarak tasarlanmış dönen takım birbirine yaslanan sac ya da plakaların içine dalar ve kaynak hattı boyunca ilerler (Şekil 1). İş parçası ile dönme ve ilerleme hareketine sahip karıştırıcı uç arasında meydana gelen sürtünme, karıştırıcı ucun etki ettiği bölgede ısı girdisi oluşturur. Isınan malzeme yumuşar, plastik olarak şekil değiştirir ve takımın basma kuvvetinden dolayı, yüksek nitelikli katı hal durumunda çarpılma olmaksızın birleştirme işlemi gerçekleşir [4, 24, 25].



Şekil 1. SKK yönteminin şematik çizimi (Schematic drawing of friction stir welding)[4]

SKK yöntemine takımın iki temel görevi vardır. Birincisi; omuz kısmının metallere sürtünerek sürtünme ısıyı oluşturması, ikincisi ise; pim kısmının yüksek devirde dönerek oluşturduğu yoğun deformasyonla malzemenin taşınmasını sağlayarak birleştirme işlemini gerçekleştirmesi [4].

Aynı tür malzemelerin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde önemli parametreler takım dizaynı, devir sayısı, ilerleme hızı, takım eğim açısı ve eksenel dalma kuvveti [4, 26] iken farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde bunlara ek olarak farklı malzemelerin pozisyonları ve takım kaydırma mesafesi de eklenir [2]. Şekil 2' de karıştırıcı takım ekseninin birleştirme ekseninde ve belli bir takım kaydırma mesafesi kullanılarak ilerleme ya da geri çekme tarafına konumlandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2. Takım kaydırma mesafesi (Tool offset distance) [27]

Magnezyum ve alüminyum alaşımları havacılık, uzay, otomotiv, makine, elektrik ve kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle Al/Mg alaşımlarının birleştirilmesi kaçınılmazdır [28, 29]. Günümüzde, zırhlı tanklar ve araçlarda [30], havacılık motorları ve bileşenlerinde [31] ve bisiklet

üretiminde [32] Mg/Al yapılar kullanılmaktadır. Mg/Al alaşımlarının güvenilir bir şekilde birleştirilmesi endüstride kullanımlarını daha da artıracaktır [33, 34].

Gelişen havacılık ve kara taşımacılığı endüstrisinin amacı; güvenlikten ödün vermeden araçların ağırlığını azaltarak performanslarını arttırmaktır [35, 36]. Al ve Mg alaşımları hafiflik ve dayanımı bir arada bulundurdıklarından dolayı önemleri sürekli artmakta ve her iki alaşımının kullanıldığı karma yapılar büyük önem arz etmektedir [36, 37].

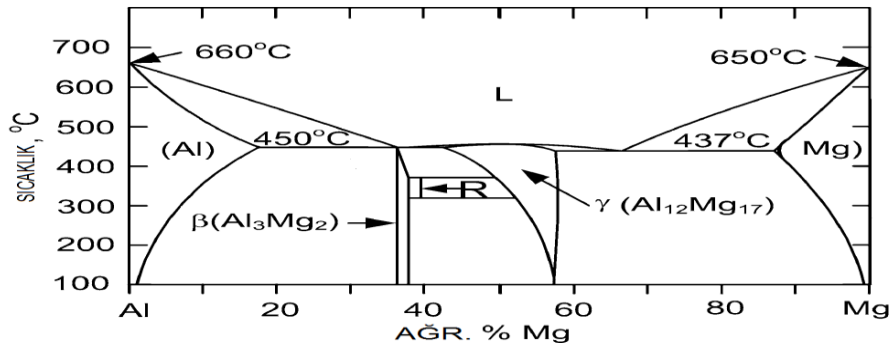
Sweeder, bir araçtaki %10'luk ağırlık azalmasıyla aşağıdaki sonuçların oluşacağını ileri sürmüştür [38]:

- Yakıt tasarrufu – 0,8 lt/100km iyileşme
- Performans iyileştirmesi – 0-100 km/h hızlanmada 0,5 s düşüş
- Emisyonların azaltılması - % 7 daha az gaz salınımı
- Güvenlik - %10 daha az kinetik enerji
- Yük taşıma kapasitesi – 140 kg'lık iyileşme
- Frenleme mesafesi – 100-0 km/h yavaşlamada 3 m azalma
- Mevcut donanımların artırılması – DVD çalar, araç içi eğlence sistemleri gibi.

Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının birlikte uygulanmasıyla hafifliğin getirdiği avantaj sayesinde; küresel petrol kaynaklarının korunması, tasarım ve üretimde esneklik, mekanik gelişime ve maliyetlerin azalması sağlanacaktır [14, 33, 35, 37, 39, 40]. Yukarıda sayılan bu avantajlara ek olarak elektrik enerjisi ile çalışan, manevra kabiliyeti yüksek araçların üretiminin daha kolay ve nitelikli olacaktır.

Al/Mg alaşımlarının birlikte kullanıldığı gövde yapılarının geliştirilmesi için her iki alaşım türünün güvenli bir şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. Fakat Al/Mg alaşımlarının TIG [41], MIG [31], lazer kaynağı [42, 43] gibi çeşitli ergitme kaynağı yöntemleri birleştirilmesinde oluşan iri taneli, gevrek ve yüksek sertlikteki Al-Mg intermetalik bileşiklerin kötü mekanik özellikleri, kaynak bölgesinde oluşan çatlaklar ve gözenekler sebebiyle kaynak dayanımı düşürmektedir. Bu metotların uygulamasının zor ve özel işlemler gerektirmesi, ergitme kaynak yöntemlerinin Al/Mg malzeme çiftinin birleştirilmesi için pratik olmadığını göstermektedir [14, 30, 36, 44, 45].

Şekil 3'de verilen ikili faz diyagramı [46] ile Al/Mg alaşımlarının kaynak sonrası oluşan intermetalik bileşiklerin  $Mg_2Al_3$  ve  $Mg_{17}Al_{12}$  şeklinde oluştuğu görülmektedir [47]. Al ve Mg alaşımlarının ortalama sertlik değerleri 25-60 HV arasında iken oluşan intermetalik bileşiklerin sertlikleri arayüz yerleşim yerine bağlı olarak 152 -221 HV arasında değişmektedir [48].

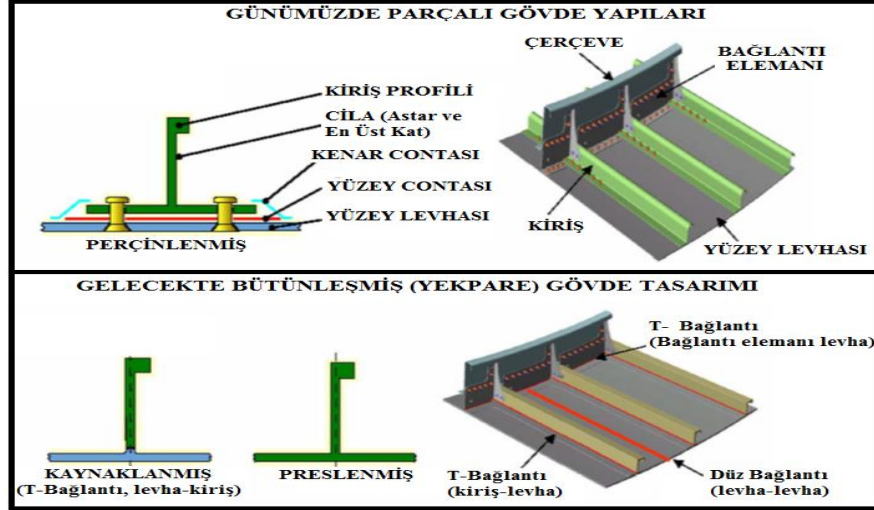


Şekil 3. Al-Mg ikili faz diyagramı (Al-Mg binary phase diagram) [46]

Günümüzde kaynakla birleştirilmesi zor olan malzemeler perçin ile birleştirilmektedir. Fakat imalat zorlukları, ağırlığı arttırması, yüksek maliyeti, perçin deliklerinde korozyon ve gerilme konsantrasyonunun oluşması perçinlemenin başlıca olumsuz etkileridir [49]. Günümüzde perçin kullanılarak oluşturulan parçalı gövde yapıları gelecekte SKK yöntemiyle birleştirilerek yada yekpare üretilerek kullanılması planlanmaktadır (Şekil 4) [50].

Al / Mg alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ve perçinlemenin dezavantajlarından dolayı her iki malzemenin ortak yapılarda kullanılması kısıtlanmıştır. Katı hal kaynağı olan SKK yöntemi Al/Mg alaşımlarının birleştirilmesi için en ideal yöntemlerden biridir. SKK yöntemi ergitme kaynağı yöntemleri ile kıyaslandığında birleştirme esnasında meydana gelen düşük ısı girdisi sayesinde intermetalik bileşiklerin

oluşumu azalarak yüksek mukavemetli bir birleştirme gerçekleştirilebilmektedir. Perçinleme ile kıyaslandığında ise daha hızlı bir birleştirme gerçekleştirilmesinin yanı sıra hem perçin deliklerinin sebep olduğu korozyon ve gerilme konsantrasyonunun hem de perçinin sebep olduğu ağırlık artışı engellenmiş olacaktır. SKK yöntemi kullanarak Al / Mg alaşımların birleştirilmesiyle Al ve Mg kullanılan ortak yapıların sayıları gün geçtikçe artmaktadır



Şekil 4. Parçalı ve bütünleşmiş gövde tasarımının uçak parçalarında gösterimi (Display of the partial casing and the integrated casing design on parts of aerostructures) [50]

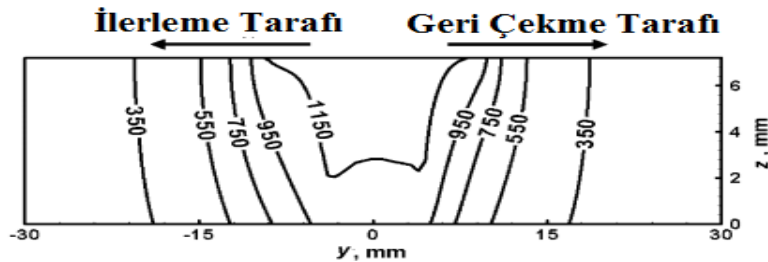
Bu çalışmada; Al/Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesine yönelik daha önce yapılan çalışmalar incelenerek; SKK yönteminin de kullanılan değişkenlerin; kaynak kalitesi, mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Al/Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde karşılaşılan en önemli sorun birleşme bölgesinde oluşan gevrek yapıdaki  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) ve  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) intermetalik bileşiklerdir. Isı girdisinin azaltılması ile intermetalik bileşiklerin oluşumu en aza indirmek mümkündür. Fakat ısı girdisinin gereğinden fazla azaltılması yetersiz karıştırmaya neden olarak mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.

## 2. KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİLERİ (EFFECT OF WELDING PARAMETERS)

### 2.1 Malzeme Çiftlerinin Konumunun Etkisi (The Effect of Materials Pair's Position)

Birleştirilen plakaların konumlarını belirleyen esas etken karıştırıcı pimin dönme yönü ve eğer vidalı pim/uç kullanılıyorsa vida dış yönüdür (sol veya sağ helis). Sabitlenmiş plakalar pimin dönme yönüne göre ilerleme ya da geri çekilme tarafında konumlanmaktadır.

SKK yönteminde ısı girdisi temel olarak karıştırıcı takım omuzunun birleştirilecek malzemelere eşit kuvvet ile bastırılarak sürünmesi ile oluşmaktadır [4] ve en yüksek sıcaklık bu kısımda oluşmaktadır. Aynı tür malzemelerin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde hem bilgisayar simülasyonunda hem de deneysel ölçümlerde ilerleme tarafında oluşan ısı girdisinin geri çekme tarafına göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 5) [5, 51 – 53].

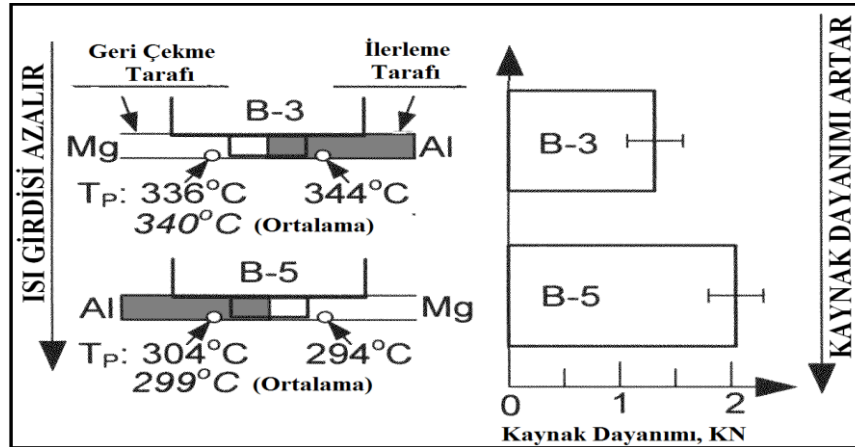


Şekil 5. Aynı tür malzemelerin SKK birleştirilmesinde sıcaklık dağılımı (Temperature distribution that similar material joined with FSW) [54].

Aynı tür malzemelerin SKK ile birleştirilmesinde geri çekme tarafına göre ilerleme tarafında ısı girdisinin fazla olması malzeme akışı ile ilgilidir. Çünkü ilerleme tarafındaki malzeme karıştırıcı takım tarafından ileri itilirken, geri çekme tarafındaki malzeme geriye doğru itilmektedir. Bu durumda ilerleme tarafındaki malzeme takıma ters yönde geri çekme tarafındaki malzeme ise takım ile aynı yönde akmasına bağlı olarak ilerleme tarafında geri çekme tarafına göre daha fazla kayma ve ısı girdisi meydana gelmektedir [55]. Malzeme akışının sebep olduğu bir diğer durum ise, karıştırma bölgesindeki malzeme pimin açtığı boşluğu doldurmak için ilerleme tarafından geri çekme tarafına doğru akış gösterdiğinden dolayı ilerleme tarafındaki malzemenin daha uzun akış mesafesi vardır. Uzun akış mesafesi ilerleme tarafındaki ısı girdisinin artmasına neden olmaktadır [56]. Isıl iletkenliği düşük malzemelerde ilerleme tarafı geri çekme tarafı arasındaki sıcaklık farkı yüksekken ısıl iletkenliği yüksek Al ve Mg gibi malzemelerde bu fark daha azdır [55].

Ayrıca aynı tür malzemelerin SKK yöntemi ile birleştirmelerinde özellikle geri çekilme tarafında porozite oluşmaktadır. Bu durum geri çekilme tarafının sertliğinin ve mekanik özelliklerinin ilerleme tarafına göre daha düşük olmasına neden olmaktadır [57 – 60].

Araştırmacılar Al ve Mg alaşımlarını SKK yöntemi ile birleştirilmesinde ilerleme tarafına Al yerleştirerek [32, 36, 39, 44, 56, 61 - 65], Mg yerleştirerek [12, 14, 39, 66] ve her iki plakayı [27, 40, 67 – 72] yerleştirerek çalışmalar yapmışlardır. Al ve Mg alaşımlarının birleştirilmesinde malzemelerin pozisyonlarının kaynak dayanımına etkisini incelemek için ilk olarak malzeme pozisyonlarının ısı girdisi üzerine etkisi incelenmelidir [55]. Al ve Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmelerinde malzeme pozisyonlarının sıcaklık ve dayanım değerlerine etkisi Şekil 6'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.** AZ 31 Mg ve 6061 Al alaşımlarının SKK yöntemi ile alın kaynağında malzeme pozisyonlarının ısı girdisi ve kaynak dayanımı üzerine etkisi (Effect of material position on the joint strength and the heat input in butt joint FSW of AZ31 Mg and 6061 Al) [55]

Şekil 6'da görüldüğü üzere aynı birleştirme parametrelerinde Al-Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde Al alaşımlarının hem ilerleme hem de geri çekme tarafına konumlandırılmaları ile Mg alaşımına göre ısı girdisi yüksek olmaktadır. Bunun sebepleri ise:

- Al alaşımları Mg alaşımlarına göre sürtünme ile daha yüksek ısı üretmektedir [73, 74].
- Al alaşımlarının yüzey merkezli kübik yapısı, Mg alaşımlarının sıkı düzen hegzagonal yapısına göre deformasyon için daha fazla aktif kayma düzlemi vardır. Bu yüzden Al Mg ile kıyaslandığında daha fazla deforme olabilir ve ısı açığa çıkar [27, 55].
- Başta AZ ve AM serisi olmak üzere pek çok Mg alaşımının için alaşım elementi olarak geniş çapta Al kullanılmaktadır. 437 derecede Magnezyumca zengin matris içinde  $Al_{12}Mg_{17}$  oluşmaktadır. Bu sıvı film karıştırma bölgesinde Mg tarafında takım ile malzeme arasına girerek takımın kaymasına sebep olur bunun sonucunda sürtünme ile oluşan ısı azalır [55].

Ayrıca Al ilerleme tarafına konumlandırılması ile geri çekme tarafına konumlandırılması arasında ortalama sıcaklıkta yaklaşık 40°C fark meydana gelmektedir. Bu fark daha önce bahsedildiği gibi ilerleme tarafında malzemenin takıma ters akış göstermesi ve pimin açtığı boşluğu doldurmak için daha uzun akış mesafesi gerekmesidir. Çünkü Al alaşımları (AA 2024 – T3 için;  $\sigma_{AK}$ : 345 MPa) ile Mg alaşımları (AZ 31 B – H24

için;  $\sigma_{AK} : 220 \text{ MPa}$ ) kıyaslandığında, Al alaşımlarının sertliği ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti daha fazladır. Bu durum, Al alaşımlarının daha yüksek akış direnci göstermesine yol açmakta ve dolayısıyla ilerleme tarafına Al plakanın yerleştirilmesi daha yüksek sıcaklıklar oluşmasına neden olmaktadır [56].

SKK yöntemi kaynak metalinin erimediği katı hal kaynak yöntemi olmasına rağmen farklı malzemelerin karıştırılması esnasında yapısal sıvılaştırma meydana gelebilmektedir [14]. Al/Mg ikili faz (Şekil 3) diyagramı incelendiğinde iki ötektik vardır; birincisi alüminyumca zengin faz ve  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  arasında, ikincisi ise Magnezyumca zengin faz ile  $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$  arasındadır. Birinci ötektik sıcaklık  $450^\circ\text{C}$ , ikinci ötektik sıcaklık ise  $437^\circ\text{C}$  dir. Her iki ötektik sıcaklıkta Al ( $660^\circ\text{C}$ ) ve Mg ( $650^\circ\text{C}$ ) alaşımlarının eğime derecesinin altındadır. Isı girdisi arttıkça Al tarafında  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  ve Mg tarafında  $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$  intermetalik bileşiklerinin oluştuğu görülmektedir. Isı girdisi arttıkça  $437^\circ\text{C}$  ötektik sıcaklığında  $\text{Mg} + \text{Al}_{12}\text{Mg}_{17} \rightarrow \text{L}$  ve  $450^\circ\text{C}$  ötektik sıcaklığında  $\text{Al} + \text{Al}_3\text{Mg}_2 \rightarrow \text{L}$  oluşmaktadır. Bu sıvı oluşumuna yapısal sıvılaştırma denilmektedir [14, 75-79].

Artan ısı girdisi ile sıvılaştırmada artmaktadır [77]. Oluşan sıvı filmler Al/Mg ara yüzeyinde ve tane sınırları boyunca oluşabilmektedir. Sıvı filmler Al-Mg ara yüzeyinin zayıflamasına, çatlak oluşumuna, intermetalik bileşiklerin artmasına ve olumsuz malzeme akışına neden olarak kaynak dayanımını önemli bir ölçüde düşürmektedir [27, 55]. Şekil 6 da artan ısı girdisi ile kaynak dayanımı arasındaki ters orantı gösterilmiştir.

Al plakanın ilerleme tarafına yerleştirilmesi ile kaynak bölgesinde düzensizlik, yetersiz karışımı gösteren zikzak şeklinde çizgiler ve çapak oluşumu tespit etmişlerdir. İlerleme tarafına Mg plakanın yerleştirilmesi ile pürüzsüz yarım dairesel izler oluşmuş, yüzey çizgileri ve yarı (kanal, oluk) gibi kusurlar gözlenmemiştir. Karıştırma işleminde Al ve Mg birbirine nüfuz etmesi ile daha homojen karışım elde edilmiştir [39].

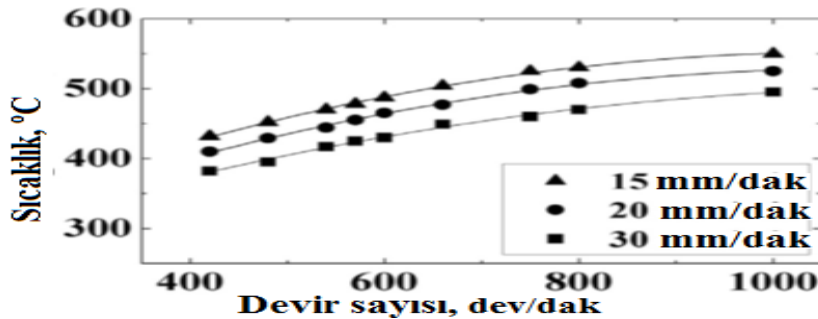
Simoncini M. ve Forcellese A.,(2012) Mg plakayı ilerleme tarafına konumlandırırlarında kaynak bölgesinin daha kaba bir yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. Bu durumun kaynak ucu üzerinde malzeme kaynaklanmasından (BUE) dolayı oluştuğu düşünülmektedir [71]. BUE (Built Up Edge) özellikle sünek malzemelerin düşük sıcaklıklarında ve yüksek basınç altında birleştirilmesi esnasında ana metalden kopan parçacıkların takıma kaynaklanması ile oluşmaktadır [80].

## 2.2.Devir Sayısı Ve İlerleme Hızının Etkileri (The Effect of Rotational Speed and Travel Speed)

Al ve Mg alaşımlarının birleştirilmesinde oluşan gevrek yapıdaki  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  ve  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$  intermetalik bileşikler kaynak kalitesini direkt etkilemektedir. Bu intermetalik bileşiklerin oluşumu ısı girdisi ile doğru orantılıdır. İlerleme hızı ve devir sayısının uygun bir kombinasyonla seçilmemesi işlem esnasında ısı girişini etkilemektedir. Devir sayısı ile ısı oluşumu doğru ilişkili ( $w$ ), kaynak hızı ( $v$ ) ile ısı oluşumu arasında ters ilişki vardır, ısı girdisi ile ilerleme hızı ve devir sayısı arasındaki eşitlik aşağıda verilmiştir [62]. Şekil 7’de ilerleme hızı devir sayısına bağlı olarak ısı girdisinin değişimi gösterilmektedir.

$$\frac{w}{v} \propto \text{Isı Girdisi}$$

(1)

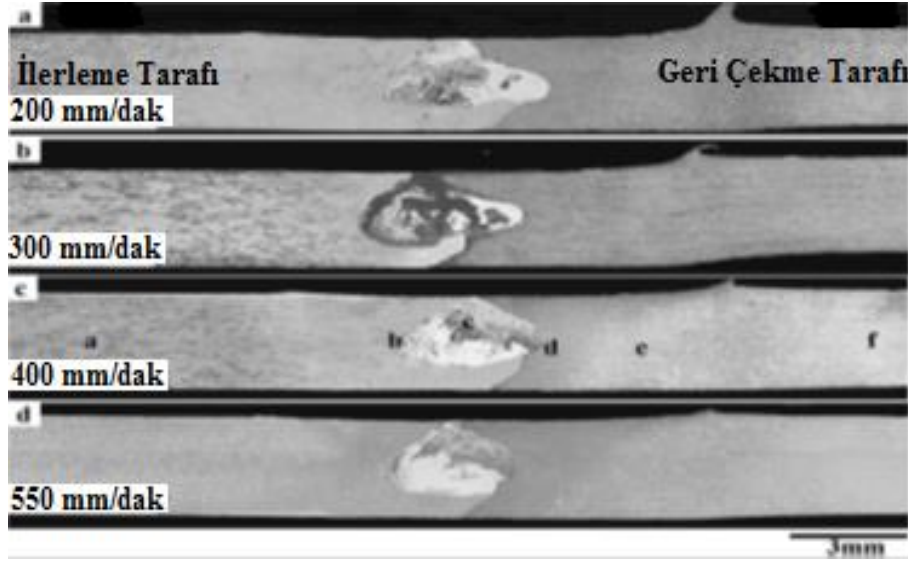


Şekil 7. AA 1100 –AZ 31 alaşımlarının birleştirilmesinde ilerleme ve devirin sıcaklık üzerine etkisi (The effect of rotational and travel speed on the temperature which alloys of AA 1100 – AZ 31 B welding) [27]

Şekil 7’de oluşan en yüksek kaynak sıcaklığı Al-Mg ötektik sıcaklıklarından fazladır. Bu nedenle düşük ilerleme ve yüksek devir sayılarında karıştırma bölgesinde sıvılaştırma beklenmektedir. Sıvı filmler Al-Mg ara yüzünü zayıflattıkları gibi SKK esnasında arayüz boyunca sıcak çatlaklara neden olabilirler [14]. Kaynak

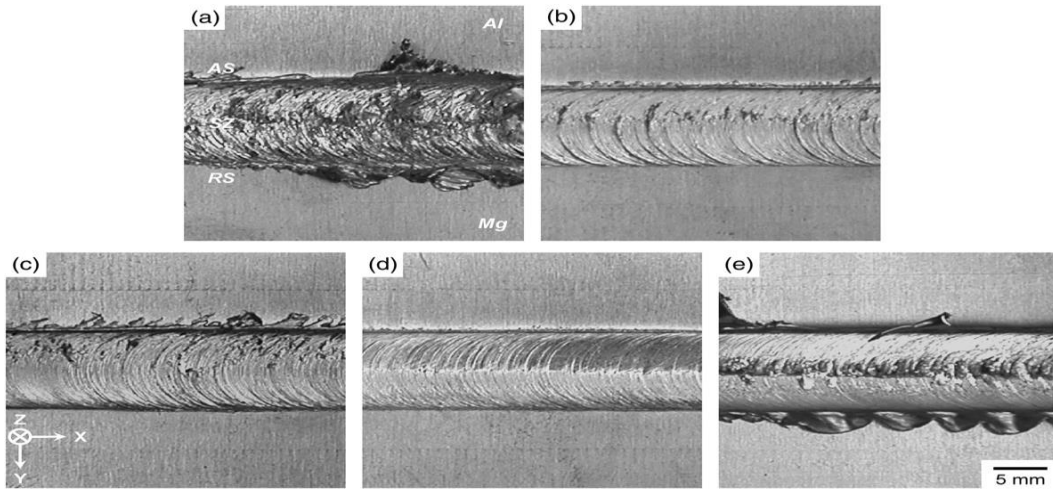
işleminde sonra sıvı filmler soğuk çatlak duyarlılığına sahip kırılgen intermetalik bileşiklere dönüşür [27]. Yüksek ısı oluşumu malzemenin plastikleşme hızını yükseltir ve plastikleşen malzeme kaynak içinde muhafaza edilemez. Bu ise dikiş kenarında yapışmaya neden olur [81]. İntermetalik bileşik oluşumunu engellemek için ısı girdisini düşürmek gerekmektedir. Isı girdisi devir sayısının düşürülmesi ya da kaynak hızının artırılması ile azaltılabilmektedir. Fakat bu iki işlemi gerçekleştirmek olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Çünkü karıştırma bölgesindeki sıcaklığın düşmesi malzeme akışını engellemektedir. Bu durum kilitleme eksikliği, boşluklar ve çatlaklardan dolayı güçlü kaynak elde edilmesini engeller [27, 62].

Kaynak adımı (kaynak hızı / devir sayısı) malzemenin akış deseninde önemli bir etkiye sahiptir [82]. Artan kaynak hızı ile kaynak dikişinde küçülme ve yuvarlaklaşma meydana gelmektedir. Kaynak hızı farklı malzemelerin birleştirilmesini mikroyapı değişimini (Şekil 8) etkileyen önemli bir parametredir [83].



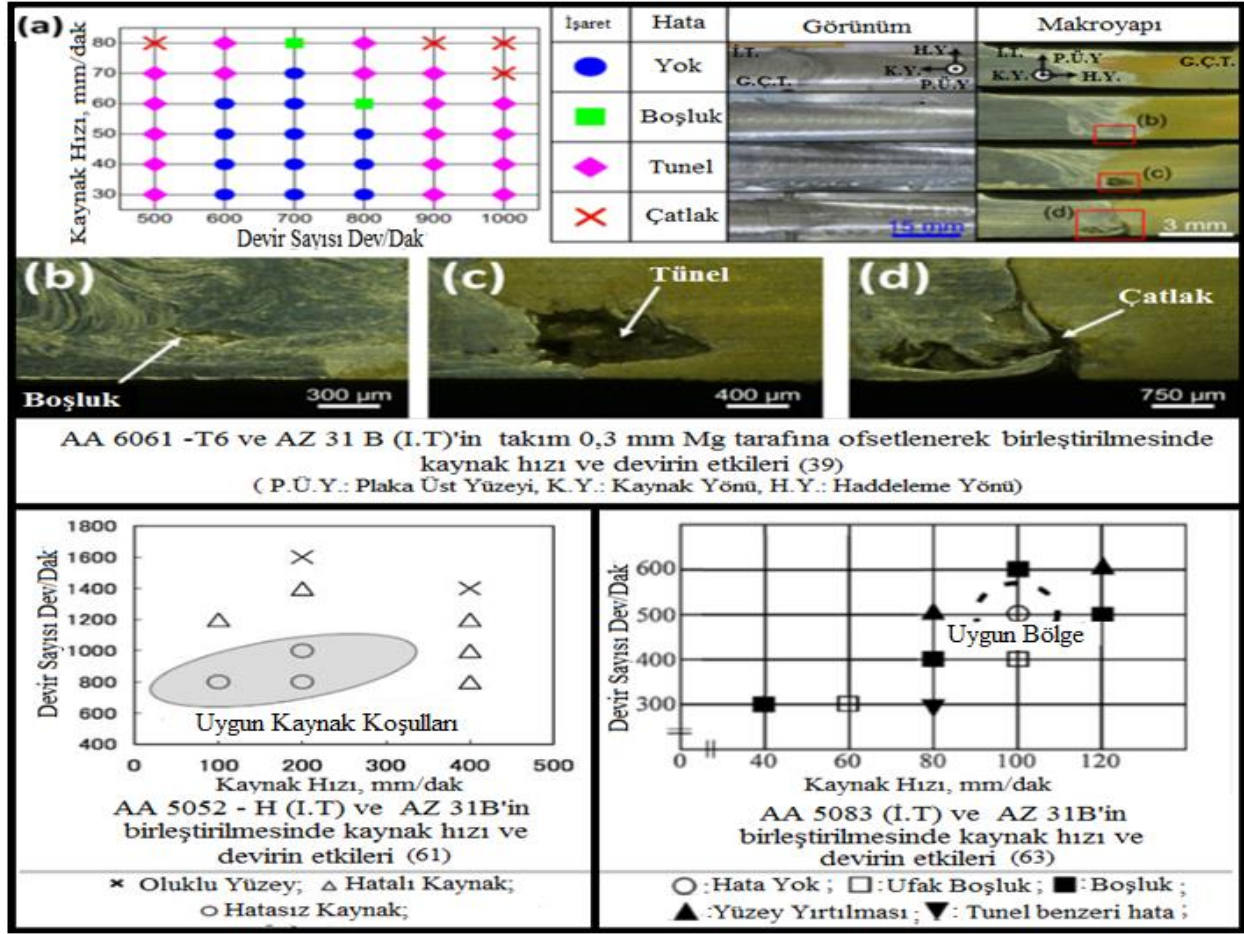
**Şekil 8.** AA 2024 – T3 (ilerleme tarafı) ve AZ 31 B (geri çekme tarafı) birleştirilmesinde farklı kaynak hızlarında karıştırma bölgesinin makro yapısı; a) 200, b) 300, c): 400, ve d) 550 mm/dak (Macrostructure of mixing area on different welding speeds to join 2024-T3 (advancing side) and AZ 31 B (retreating side) : a) 200, b) 300, c): 400, and d) 550 mm/min ) [83].

Devir sayısı ve ilerleme karıştırma bölgesinin yüzey morfolojisini etkilemektedir ve devir sayısının artması ile yüzey morfolojisinde düzleşme görülmektedir. Fakat devir sayısının belli bir değerden sonra artması ile karıştırma bölgesinin merkezine yakın çatlak oluşturmaktadır (Şekil 9) [32]. Düşük ilerleme hızlarında ise çapak oluşumu ile birlikte malzeme yüzeyinde kaynak yanıklarının meydana geldiği görülmüştür [81].



**Şekil 9.** Takım devrine bağlı olarak SKK yöntemi ile birleştirilmiş plakların yüzey görünümleri a) 800, b) 1000, c) 1200, d) 1400 ve e) 1600 dev/dak. (Surface appearances of the plates FSW as depending on tool rotation speeds of a) 800, b) 1000, c) 1200, d) 1400 and e) 1600 rpm) [32]

Şekil 10'da yapılan çalışmalarda kaynak hızı ve devir sayısının değişimi ile elde edilen kaynak özellikleri ve en uygun işleme aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 10. Al-Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde kaynak hızı ve devirin etkileri (The effect of welding speed and rotation speed to join Al – Mg alloy with FSW) [39, 61, 63].

Yukarıdaki ilişkiler göz önüne alındığında devir sayısı ve ilerleme hızı parametrelerini bir bütün olarak değerlendirmek daha doğrudur. Al/Mg çiftinin başarılı bir şekilde birleştirilmesi için ilerleme hızı ve devir sayısı aralığı oldukça sınırlıdır

### 2.3 Takımın Kaydırılmasının Etkisi (The Effect of Tool Offset)

Farklı malzemelerin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde takımın kaçıklık miktarı önemli bir parametredir ve birleştirme esnasında açığa çıkan ısıyı etkilemektedir. Takımın birleştirme ekseninde kaydırılması ile açığa çıkan ısıyı etkilemesi, farklı malzemelerinin sürtünme ile farklı ısılar üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Takımın birleştirme ekseninden kaydırılması ile işleme esnasında oluşan sıcaklık istenilen seviyede tutularak kaliteli birleştirme yapılmasına katkıda bulunmaktadır. Takımın kaydırılmasında önemli bir değişken ise plakaların konumlarıdır.

Karıştırıcı takım kaynak hattından kaydırılmadan plakalara daldırıldığında malzemelerin türüne göre birleştirme için gerekli olan ısı girdisinden daha düşük ya da yüksek sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Mg-Al alaşımlarının birleştirilmesinde aşırı ısı girdisi yüzey yırtılması ve katılma çatlama neden olurken, düşük ısı girdisi ise malzemenin yetersiz plastik deformasyonu ile birlikte karıştırma bölgesinde kanal oluşumuna neden olmaktadır [63]. Ayrıca takım levhaların birleşme ekseninde daldırıldığında karıştırma işlemi yerine daha çok frezelemeye benzer işlem gerçekleştirmektedir [62]. Takımı birleştirme hattından kaydırmadan kaynak işlemi yapıldığında; kaynak bölgesinde düzensizlik, yetersiz karışımı gösteren zikzak oluşumu, çapak, karıştırma bölgesinde çatlaklar ve boşluklar gözlenmektedir. Takımın ilerleme tarafında

bulunan Mg plakaya kaydırılması ile kusursuz bir birleştirme gerçekleşmektedir. Al tarafına kaydırılması ile kusurların boyutlarında azalmalar olmaktadır [27, 39].

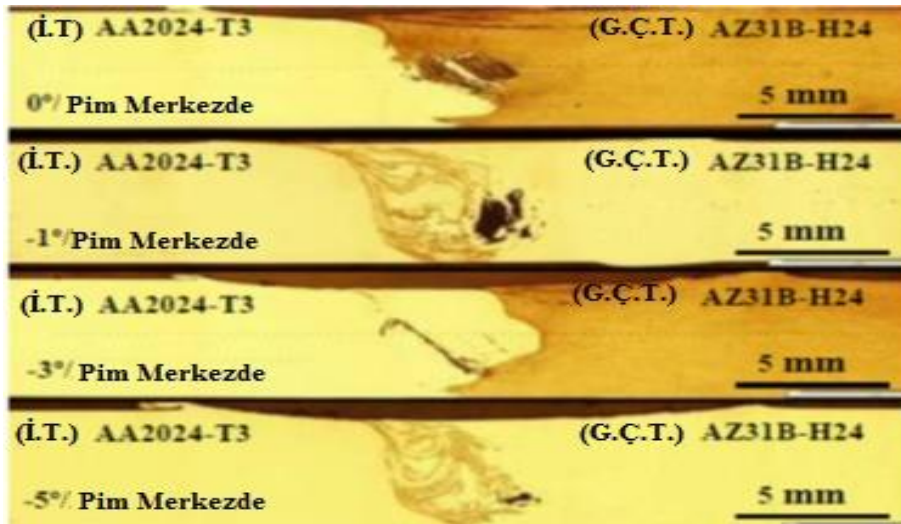
Kaçıklık miktarının artması ile belli bir kaçıklık mesafesine kadar kaynak kusurlarında azalma oluşurken optimum kaçıklık mesafesinde sonra kaçıklık değerinin artırılması ile kusurlar tekrardan oluşmaktadır. Takımın genel olarak magnezyum tarafına kaydırılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü malzemenin Al tarafına kaydırılması sıcaklığı yükseltmekte bu durumda birleştirme işlemini olumsuz yönde etkilemektedir.

Takımın Al tarafına kaydırılması ile sıcaklığın yükselmesi Al alaşımlarının Mg alaşımlarına göre sürtünme ile daha yüksek ısı üretmesidir [73, 74]. Takımın Mg tarafına kaydırılması ile düşük sıcaklık oluşumunun iki nedeni vardır. Birincisi; Mg içinde Al geniş çapta alaşım elementi olarak kullanılır.  $Al_2Mg_{17}$  437 °C 'de sıvı formda zengin Mg matris ile oluşur. Sıvı film takım ile karıştırma bölgesinin kesişme noktasına girerek kaymalara neden olur. Sonuç olarak sürtünme azalır, Mg tarafında ısı üretimi önemli ölçüde düşer. İkincisi; Al yüzey merkezli kübik yapısının, Mg sıkı düzen hegzagonal yapısına göre deformasyon için daha fazla aktif kayma düzlemi vardır [27]. SKK yöntemi sırasında plastik deformasyondan dolayı bu aktif kayma düzlemlerinin hareketleri sıcaklığı arttırmaktadır.

#### 2.4 Takım Açısının Etkisi (The Effect of Tool Tilt Angle)

Takım omuzu karıştırılan malzemeyi üstten aşağı doğru baskı altında tutabilmektedir. Bununla birlikte, plakaya paralel hareket eden omuzun karıştırılan malzemeyi önden arkaya doğru itmesi zordur. Takım açısını değiştirmek pimin önden arkaya doğru malzemeyi itmesi için takım omzuna yardımcı olmaktadır [62]. Takım açısı plastik deforme olmuş malzemeyi sıkıştırmak için de yardımcı olur. Böylece karıştırma bölgesinde dikey malzeme akışının yanı sıra yatay malzeme akışı da etkilenmiş olur [2].

Pourahmad ve Abbasi [62]; 3 derecelik takım eğim açısı ile yaptıkları birleştirmede takım daha iyi bir karıştırma gerçekleştirmiştir ve Mg içine Al 'un ekstrüze etmesi için daha fazla dalma gücüne neden olmuştur. Cao ve Jahazi [56], yaptıkları birleştirmelerde 1 ve 5 derece açılı işlemlerde boşluklu birleştirme olmasına rağmen 0 ve 3 derecelik işlemlerde iyi bir birleştirme elde etmişlerdir (Şekil 11).



Şekil 11. SKK yöntemi ile çeşitli açılarda yapılan birleştirmelerin karıştırma bölgeleri (Mix area of joints which are made on various tool tilt angles by FSW) [56].

#### 2.5 Eksenel Kuvvetin Etkisi (The Effect of Axial Force)

Dalma kuvveti karıştırıcı takımın pim kısmının malzemeye dalmasını sağlayarak karıştırma işleminin gerçekleştirmesinin yanı sıra takımın omuz kısmının birleştirilecek levhalara temas sürtünmesi ile ısının oluşmasını sağlamaktadır. Birleştirme esnasında oluşan kuvvetin mümkün olduğunca sabit tutulması kaliteli bir birleştirme sağlamaktadır.



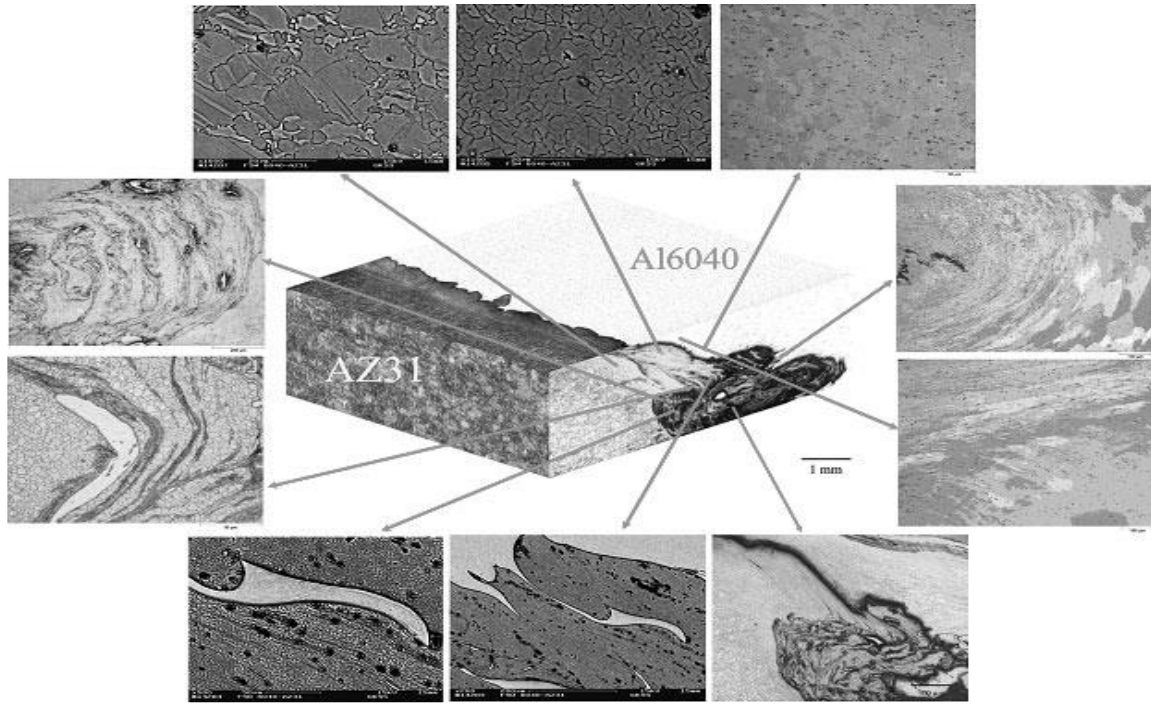
Karıştırma bölgesinde tam nüfuziyet için aksel kuvvetin yeterli olması gerekmektedir. Yetersiz aksel kuvvet deforme olmuş malzemenin dikey yönde uygun olmayan bir akış yapmasına neden olurken yüksek dalma kuvveti ise deforme olmuş malzemenin incelmesine ve bunun sonucu olarak malzemenin takımın omuz kısmından çıkarak çapak oluşmasına neden olur [2].

### 3. MİKRO YAPI İNCELEMESİ (MICROSTRUCTURE ANALYSIS)

SKK yönteminde karıştırma bölgesi için üç ayrı bölge tanımlanmaktadır:

- Kaynak sırasında omuz altında olan omuzdan etkilenen bölge,
- İlerleme tarafının üst ve orta bölgelerinde oluşan bantlı bölge.
- Alt kısımda yoğun ara katmanlı bölge [39].

Kaynak bölgesinin üst kısmı malzemelerin birlikte karıştırılarak ağır plastik deformasyonu sonucu şekil alırken takımın dönme yönü ile ilerleme tarafındaki malzemenin plastik akışı baskındır [12, 39]. Alt kısım çok daha düzgün bir arayüz ve daha az karışım göstermektedir. Kaynak bölgesinin alt ve üst kısımlarında bu farklılıklar SKK yönteminde akış alanının direkt bir sonucudur [12]. Al ve Mg alaşımlarının birleştirilmesinde karıştırma bölgesi ve geçiş bölgelerinin mikro yapısı Şekil 12’ de verilmiştir.



**Şekil 12.** Al-Mg kaynağında karıştırma ve geçiş bölgelerinin mikroyapısını gösteren 3D şematik makrografi. (3D schematic macrograph which displays the microstructure of transition and stir zone on the Mg-Al welding)[73]

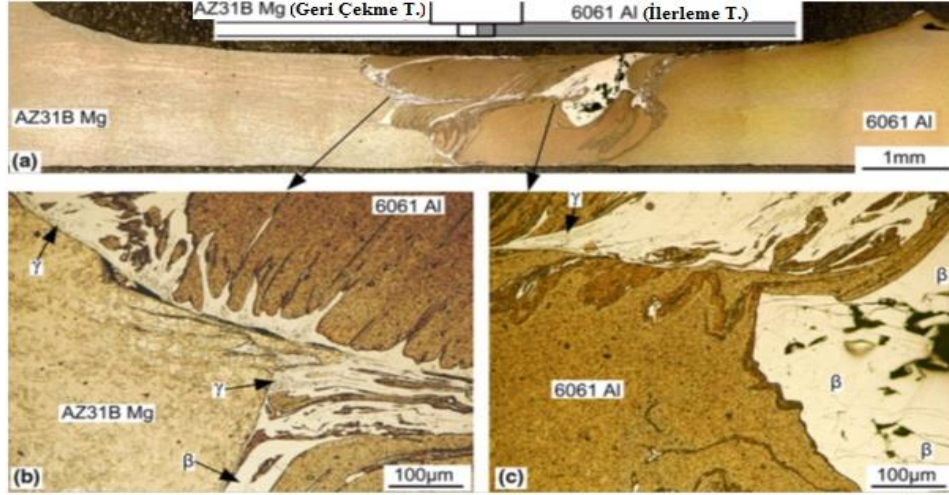
Malzemeler birbirlerine girdaplı ve vorteksli şekilde nüfus ederek karmaşık ara katmanlı akış modelleri oluşturmaktadır. Oluşan ara katmanlı mikroyapı özelliği farklı malzemelerin kaynağının tipik özelliğidir ve oluşan ara katmanlar kayma bantlarına benzemektedir. Bu ara katmanlı yapı malzemelerin farklı deforme olabilirliğinden kaynaklanmaktadır. Karıştırma bölgesinde malzemenin akışı takım dönme yönündendir [39, 67, 68, 73].

Karıştırma bölgesinde her iki tarafta da ince, homojen ve eş aksenli taneler oluşmaktadır [67]. Ana metal den karıştırma bölgesine ilerledikçe tane boyutu küçülmektedir tane boyutlarının ana metale göre boyutlarının küçülmesinin nedeni dinamik olarak yeniden kristalleşmedir (DKB) [68, 73]. Kaynaklarda bölgeler arası geçişlerde keskin sınırlar mevcuttur fakat farklı karakteristikler sergileyebilirler [67].

Metal alaşımlarının SKK yönteminde DKB birincil mekanizmadır [67]. Plastik deformasyon ve kaynak oluşumundaki katı hal akışını kolaylaştırır. DKB’ ye pim ve omuzun sürtünerek oluşturduğu ısı, pim etrafındaki adyabatik ısı, malzemenin mekanik karışımı ve karıştırıcı uçun malzemeye uyguladığı yüksek

gerilme sebep olmaktadır [4, 12, 67]. Yerel olarak yüksek sıcaklıklar ve basınçlar kimyasal reaksiyona ve difüzyonu hızlandırmaktadır, metallar arası metalik bağlara yol açmaktadırlar [67].

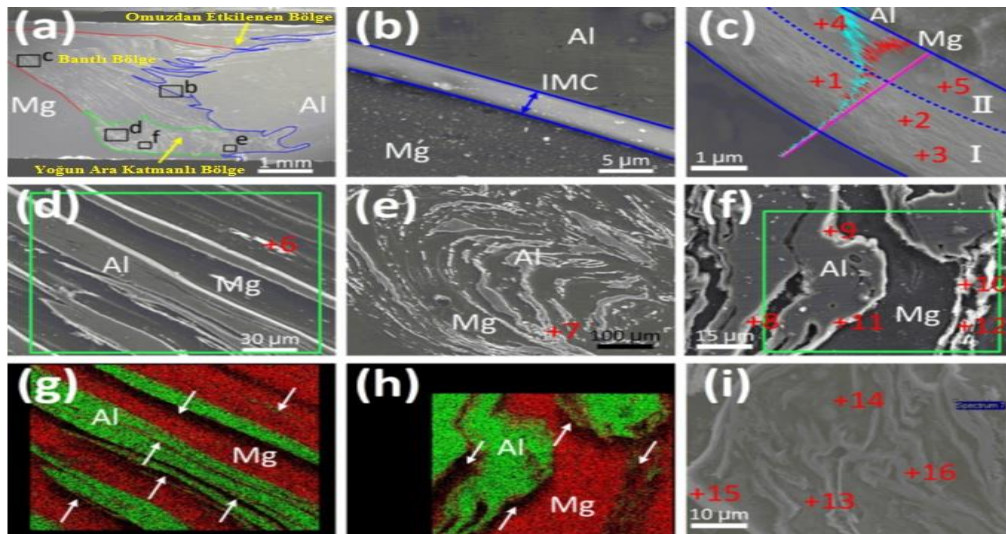
Al ve Mg alaşımlarının birleştirilmesinde  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) ve  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) intermetalik bileşiklerinin oluşturduğu ara yüzey tabakası yaygın olarak görülmektedir (Şekil 13) [14, 27, 36, 39, 69].



**Şekil 13.** Al – Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde intermetalik bileşiklerin dağılımı (The distribution of intermetallic compounds to join alloys of Al-Mg by FSW)[72]

SKK işleminde sıcaklığın artması ile sıvılaşma artmaktadır bu durum daha çok miktarda intermetalik bileşik oluşturmaktadır [72, 84]. İntermetalik fazlar her iki tarafta da değişime uğramamış alaşımların arasına girmektedir [12]. Mg ilerleme tarafına yerleştirilmesi sıcaklığı önemli ölçüde düşürmektedir. Bu durum intermetalik bileşiklerinin oluşumunu azaltmaktadır. Düşük ilerleme ve hızlı devir sayılarında ilerleme tarafına alüminyum yerine magnezyum yerleştirilmesi intermetalik bileşiklerin oluşumunu önemli ölçüde düşürmektedir [55, 72].

Şekil 14 de Al Mg kaynağında SEM incelemesi EDX analizi verilmiştir. Şekilde karmaşık ara katmanlı yapı ve intermetalik fazlı katmanlar açık olarak gözükmemektedir. İntermetalik katman kalınlığı yaklaşık 3 mikrondur ve I. Katman  $Al_{12}Mg_{17}$  II. katman  $Al_3Mg_2$  dir. Şekil 14.i de 3. bölgedeki tipik bir ötektik yapı gösterilmiştir. Açık fazlar  $Al_3Mg_2$ , koyu fazlar katı hal çözeltilisini  $Al_3Mg_2$  karışımını göstermektedir Şekil 14.d bantlı bölge, Şekil 14.e-f yoğun ara katmanlı bölge gösterilmiştir [39].

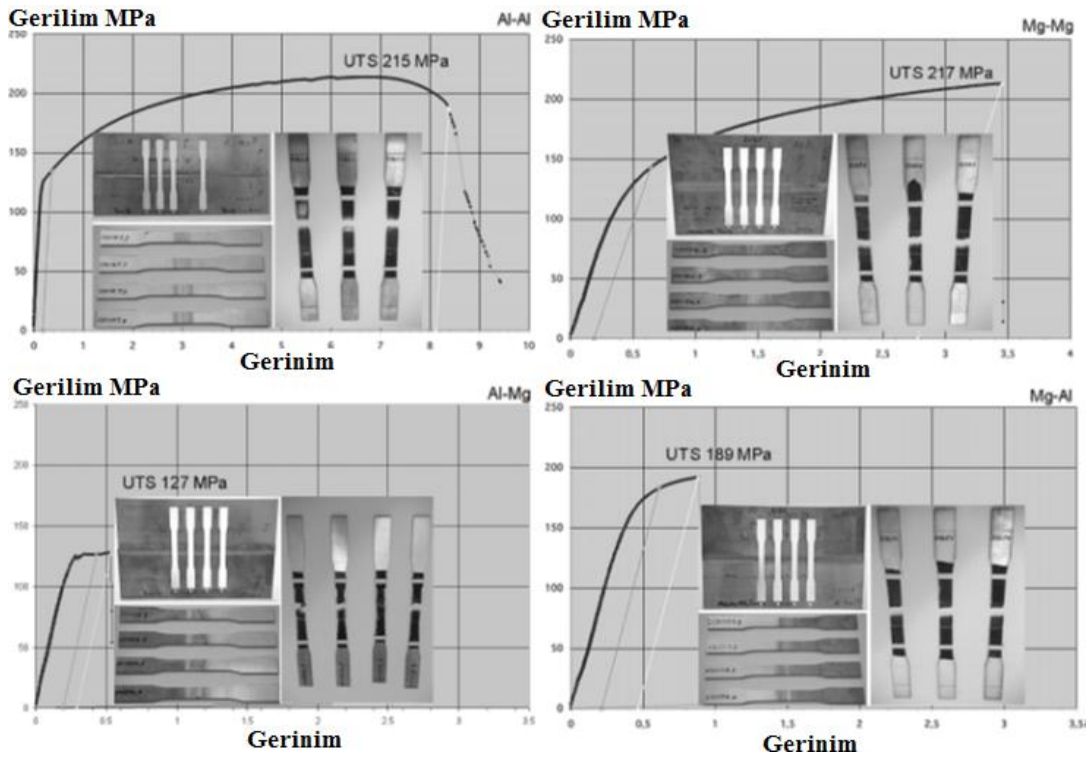


**Şekil 14.** Al-Mg alaşımlarının 700 dev/dak ve 60 mm/dak işleme koşullarında Mg alaşımının ilerleme tarafına yerleştirilerek ve takımı 0,3 mm ilerleme tarafına kaydırarak SKK yöntemi ile birleştirilmesinde SEM mikro yapısı ve EDX analizi: a) genel kesit ve bölge tanımlaması, b, d-f ve i) a'da işaretlenmiş bölgelerin büyütülmüş görüntüleri, c) arayüzün EDX analiz çizgisi, g) d' de işaretlenmiş bölgenin EDX

haritası, h)  $f'$  de işaretlenmiş bölgenin EDX haritası (SEM microstructure and EDX analysis of Al-Mg alloys to join by FSW as placing Mg onto the advancing side on 700 rpm and 60 mm/min process conditions and, tool offsetting to AS 0.3 mm: a) the description of cross-section and area, b, d-f and i) the blown-up images of the marked area on a, c) EDX analysis interface, g) EDX map of the marked area on d, h) EDX map of the marked area f)) [39].

#### 4. MEKANİK ÖZELLİKLER (MECHANICAL PROPERTIES)

Al- Mg 'un SKK işleminde intermetalik katmanların varlığı kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini ciddi oranda etkilemektedir [14, 36, 69, 72]. Yüksek ısı girdisi olumsuz malzeme akışına ve daha fazla sıvılaşmaya neden olduğundan dolayı düşük çekme dayanıma neden olabilir [62, 85, 86]. Isı girdisinin artışına paralel olarak intermetalik bileşiklerin katman kalınlığı da artmaktadır. İntermetalik bileşiklerin kalınlığının artmasından dolayı mekanik kilitlemenin zayıflaması ve intermetalik bileşiklerin sebep olduğu çatlaklardan dolayı çekme mukavemeti önemli ölçüde azalmaktadır [36, 40, 63]. SKK yönteminde kaynak sıcaklığı malzemelerin sünekliliğini direkt etkilediği için farklı malzemelerin kaynağında anahtar bir parametredir [79]. Şekil 15'de SKK yöntemi ile farklı malzemelerin birleştirilmesinden elde edilen çekme eğrileri verilmiştir.



Şekil 15. SKK yöntemi ile birleştirilmiş çeşitli numunelerin çekme testi sonuçları (Tensile test's results of various specimens joined by FSW) [73]

Düşük ısı girdisi ile intermetalik fazların oluşumun engellemesi ile yüksek uzama ve kaynak verimliliği elde edilebilir [61]. Ancak ısı girdisinin düşürülmesi malzemelerin iyi karıştırılmaması, kaynak bölgesinde boşlukların oluşması gibi nedenlerden dolayı her zaman olumlu sonuçlar vermemektedir. Ayrıca ısı girdisinin düşürülmesi için devir sayısının düşürülmesi intermetalik bileşiklerin kötü bir şekilde dağılımına neden olarak mukavemeti de düşürmektedir [55, 87]. Kaynak hızının artması iki parçanın düşük karıştırma ile birleştirilmesine neden olduğundan numunelerinin gerilme mukavemeti azalmaktadır [81].

Birleştirme bölgesinin mekanik özelliklerini etkileyen bir diğer unsur ise karıştırma hareketi ve plastik deformasyonun bir sonucu olarak kaynak bölgesinde artık gerilme kalmaktadır [4]. Bu kalıntı gerilme kaynağın mekanik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir [62].

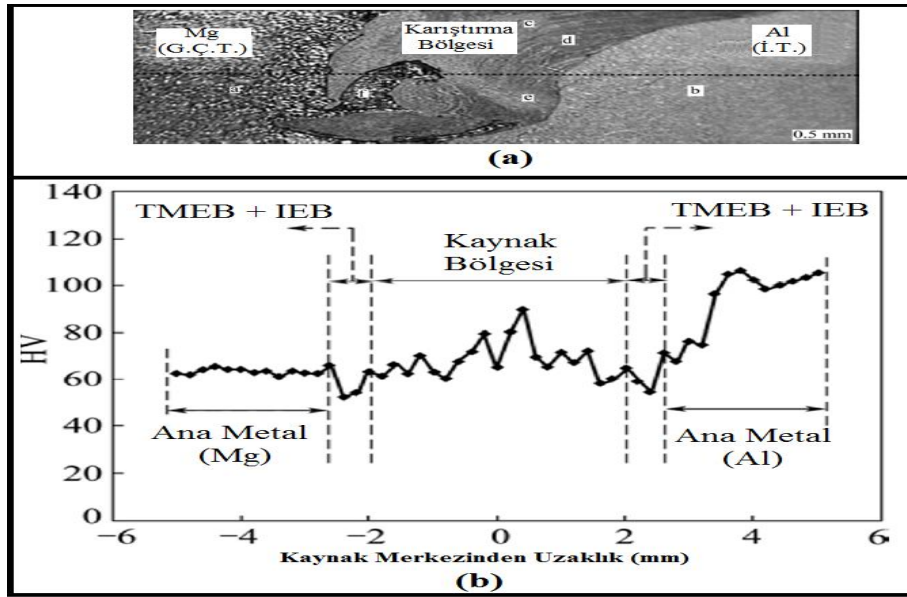
Arayüz özelliklerinden; arayüz uzunluğunun artması, ara katmanlı yapının artması ve çekme yüzeyindeki mikro boşlukların azalması ile çekme mukavemeti artar. Arayüzün uzunluğu ve karmaşıklığı arttıkça yüksek mekanik kitleme (malzemelerin kendilerini kenetleme etkilerinin artmasında, kırılma yüzeyinin

uzamasında ve mikro boşluğun azalma potansiyelinden dolayı) nedeniyle çekme mukavemeti yükselir. [40].

Birleştirme değişkenlerinin doğru seçilmesi ile çekme mukavemeti artırılabilir. Al-Mg kaynağının çekme mukavemeti, Mg-Mg kaynağının çekme mukavemetinin %80 ile %100'ü olabilmektedir ve çekme mukavemeti ana metal olan Al ile kıyaslandığında çekme dayanımı Al alaışımının % 60 üstünde oluşabilmektedir [32, 36, 68].

Genel olarak Al alaışımının Mg alaışımı ile kıyaslandığında sertliği yüksektir. SKK yönteminde Al ana metalden ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) ve Termo-mekanik etkilenmiş bölgeye (TMEB) doğru ilerledikçe sertlik değeri düşmektedir. Benzer eğilim Mg alaışımı için görülmektedir. Fakat Mg alaışımındaki sertlik değerinin düşmesi Al alaışımına göre daha az gerçekleşmektedir. Mg alaışımında sertliğin daha az düşmesinin nedeni yeniden kristalleşmedir. Karıştırma bölgesindeki sertlik faz oluşumuna ve yerel olarak yeniden kristalleşmenin boyutuna bağlıdır. Hem Al hem de Mg içeren karıştırma bölgesinde sertlik değerleri Al 'den düşük Mg'den yüksektir [56]. AA 6061 – T6 ve AZ 31 – O alaışımının birleştirilmesinde Şekil 16. a.'da kesikli çizgi ile gösterilen eksenden gerçekleştirilen mikro sertlik ölçüm değerleri Şekil 13.b. de verilmiştir.

Ayrıca kaynak bölgesinde düzensiz sertlik dağılımı meydana gelmesinin ana nedeni ara katmanlı yapıdır [69, 88]. Kaynak bölgesinde oluşan ara katmanlı yapı; karmaşık (girdap şeklinde) ve lamelli mikro yapıya sahiptir ve mikrosertlik değerinde ani değişimlere sebep olarak en düşük ve en yüksek sertlik değerleri arasında büyük farkların oluşmasına neden olmaktadır. Mikro sertlik değerlerinde meydana gelen ani değişimler DKB'miş ara katmanlı yapılar yada deforme olmuş kayma bantlarıdır [67]. Özellikle ara katmanlı yapılarda mikro sertlik değerlerinin yüksek olması  $Al_{12}Mg_{17}$  ve  $Al_3Mg_2$  gevrek intermetalik bileşiklerden kaynaklanmaktadır [56, 69, 73]. Yüksek sertlik değerleri ile ısı girdisi arasında doğrusal bir ilişki vardır [61].



Şekil 16. SKK yöntemi ile Al-Mg alaışımının birleştirilmesinde mikro sertlik dağılımı (Microhardness distribution to be joined of Al- Mg alloys via by FSW)[68]

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Al/Mg malzeme çiftinin katı hal kaynak yöntemi ile birleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenerek konu esaslı bir literatür değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- Al – Mg yapılı ürünlerin kullanılmasıyla hafifliğin getirdiği birçok avantajdan faydalanılabilmektedir.
- Geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirmeleri oldukça zor olan Al ve Mg alaışımı, katı hal kaynağı olan SKK yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir.

- Aynı tür malzemelerin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde, takım tasarımı, devir sayısı, ilerleme hızı, eğim açısı ve eksenel dalma kuvveti kaynak kalitesini etkileyen en önemli parametrelerdir. Farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde ise bu değişkenlere ek olarak birleştirme ekseninden takımı kaydırma mesafesi ve malzemelerin konumlandırılması kaynak kalitesi üzerinde önemli olan parametrelerdir.
- Hatasız bir birleştirme elde edebilmek için takım ilerleme hızı ve devir sayısının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Fakat Al-Mg çiftinin hatasız bir şekilde birleştirilmesi için ilerleme hızı ve devir sayısı aralığı oldukça dardır.
- Kaynak kalitesinin etkileyen en önemli etken 450 °C oluşan  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) ve 437 °C oluşan  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) gevrek yapıdaki intermetalik bileşikler ve bunların oluşturdukları intermetalik fazlı katmandır.
- İntermetalik oluşumu ısı girdisi ile doğru orantılıdır.
- İntermetalikler birleştirme bölgesinin sertliği ve çekme dayanımını direkt etkilemektedir.
- Isı girdisi kaynak hızı ile ters, devir ile doğru orantılıdır.
- İntermetalik oluşumundan kaçınmak için ısı girdisinin azaltılması, yetersiz karıştırma ve karıştırma bölgesinde boşluklara neden olarak mekanik özellikleri düşürmektedir.
- Mg alaşımının ilerleme tarafına yerleştirilmesi ve karıştırıcı ucun Mg tarafına kaydırılması genel olarak sıcaklık oluşumunu azaltmakta ve daha kaliteli bir kaynak elde edilmesini sağlamaktadır.
- Farklı malzemelerin özelliklerini aynı yapıda kullanmak için malzemelerin güvenli bir şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için en ideal yöntemlerden birisi ise SKK'dır. Bu sebepten dolayı SKK yönteminin özellikle havacılık ve otomotiv alanlarında kullanımı dünyada artarak devam eden bir öneme sahiptir ve metal birleştirme alanında araştırmacıların odak noktası haline gelmiştir ve farklı malzeme çiftlerinin kusursuz bir şekilde SKK yöntemi ile birleştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “**BAP 59/2016-01**” kodlu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mehta, K. P. and Badheka, V. J., “Effects of tilt angle on the properties of dissimilar friction stir welding copper to aluminum”, **Materials and Manufacturing Processes**, Cilt 31, No 3, 255–263, 2016.
- [2] Mehta, K. P. and Badheka, V. J., “A review on dissimilar friction stir welding of copper to aluminum: process, properties and variants”, **Materials and Manufacturing Processes**, Cilt 31, No 3, 233–254, 2016.
- [3] Thomas, W., Nicholas, E., Needham, J., Murch M., Temple-Smith P. and Dawes C., “Friction stir butt welding”, **International Patent No.** PCT/GB92/02203, **GB Patent No.** 9125978.8, 1991, **U.S. Patent No.** 5,460,317, 1995.
- [4] Mishra, R.S. and Ma, Z.Y. “Friction stir welding and processing”, **Material Science and Engineering R**, Cilt 50, No 1-2, 1–78, 2005.
- [5] Nandan, R., Debroy, T., Bhadeshia, B., “Recent advances in friction stir welding- process, weldment structure and properties”, **Prog. Mater. Sci.**, Cilt 53, No 6, 980–1023, 2008.
- [6] Chen, Y.C. and Nakata, K., “Effect of the surface state of steel on the microstructure and mechanical properties of dissimilar metal lap joints of aluminum and steel by friction stir welding”, **Metall. Mater. Trans. A**, Cilt 39, No 8, 1985–1992, 2008.
- [7] Springer, H., Kostka, A., dos Santos, J. F. and Raabe, D., “Influence of intermetallic phases and Kirkendall-porosity on the mechanical properties of joints between steel and aluminium alloys”, **Mater Sci Eng A**, Cilt 528, No 13 – 14, 4630–4642, 2011.

- [8] Watanabe, T., Takayama, H. and Yanagisawa, A. “Joining of aluminum alloy to steel by friction stir welding”, **J Mater Process Technol**, Cilt 178, No 1 – 3, 342–349, 2006.
- [9] Chen, Y.C. and Nakata, K., “Effect of surface states of steel on microstructure and mechanical properties of lap joints of magnesium alloy and steel by friction stir welding”, **Sci. Technol. Weld. Joining**, Cilt 15, No 4, 293–298, 2010.
- [10] Galvao, I., Verdera, D., Gesto, D., Loureiro, A. and Rodrigues, D.M., “Influence of aluminium alloy type on dissimilar friction stir lap welding of aluminium to copper”, **J. Mater. Process. Technol**, Cilt 213, No 11, 1920–1928, 2013.
- [11] Liao, J. S., Yamamoto, N., Liu, H. and Nakata, K., “Microstructure at friction stir lap joint interface of pure titanium and steel” **Mater. Lett.**, Cilt 64, No 21, 2317–2320, 2010.
- [12] Kostka, A., Coelho, R. S., Dos Santos, J. and Pyzalla, A. R., “Microstructure of friction stir welding of aluminium alloy to magnesium alloy”, **Scr Mater**, Cilt 60, No 11, 953–956, 2009.
- [13] Venkateswaran, P., Xu, Z. H., Li, X. and Reynolds, A. P., “Determination of mechanical properties of Al–Mg alloys dissimilar friction stir welded interface by indentation methods”, **J Mater Sci**, Cilt 44, No 15, 4140–4147, 2009.
- [14] Yutaka, S. S., Park, S. H. C., Masato, M. and Hiroyuki, K., “Constitutional liquation during dissimilar friction stir welding of Al and Mg alloys”, **Scripta Mater**, Cilt 50, No 9, 1233–1236, 2004.
- [15] Kurt, A., Boz, M. and Özdemir, M. “Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, **Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. Derg.**, Cilt 19, No 2, 191-197, 2004.
- [16] Zhang, Y. N., Cao, X., Larose, S. and Wanjara, P., “Review of tools for friction stir welding and processing”, **Can. Metall. Q.**, Cilt 51, No 3:250–261, 2012.
- [17] Salih, O. S., Ou, H., Sun, W. and McCartney, D.G., “A review of friction stir welding of aluminium matrix composites”, **Materials and Design**, Cilt 86, 61–71, 2015.
- [18] Külekçi, M. K. and Şik, A. “Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 7, No 3, 70–75, 2003.
- [19] Külekçi, M. and Şik, A. “Effects of tool rotation and traverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA1050-H18 aluminum alloy”, **Archives of Metallurgy and Materials**, Cilt 51, No 2, 213–216, 2006.
- [20] Cam, G. “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler”, TMMOB M.M.O. “**Kaynak Teknolojisi İV. Ulusal Kongre ve Sergisi**”. 47-62, 2003.
- [21] Kurt, A., Boz, M. “The influence of stirrer geometry on bonding and mechanical properties in friction stir welding process”, **Materials & Design**, Cilt 25, No 4, 343-347, 2004.
- [22] Kurt, A., Boz, M., Özdemir, N. “Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, **G.Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.**, Cilt 19, No 2, 191-197, 2004
- [23] Kaluç, E. ve Bozdoğan, B. “Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yöntemi”, **Makine Magazin**, Cilt 27, 1998.
- [24] Xu, S., “Microstructure analysis and solid mechanics modeling of friction stir welding”, **PhD Thesis**, Department of Mechanical Engineering College of Engineering & Information Technology, University of South Carolina, 2003.

- [25] Uzun, H., Yılmaz, R. ve Fındık, F., “Alüminyum Alaşımları için Süper Birleştirme Yöntemi: Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ve Uygulamaları”, **Metal Dünyası**, Cilt 118: 75-82, 2003.
- [26] Rai, R., De, A., Bhadeshia, H. K. D. H. and DebRoy, T., “Review: Friction stir welding tools”, **Science and Technology of Welding and Joining**, Cilt 16, No 4, 325–342, 2011.
- [27] Azizieh, M., Alavijeh, A. S., Abbasi, M., Balak, Z. and Kim, H. S., “Mechanical properties and microstructural evaluation of AA1100 to AZ31 dissimilar friction stir welds”, **Materials Chemistry and Physics**, Cilt 170, 251-260, 2016.
- [28] Feng, J. C., Wang, Y. R. and Zhang, Z. D., “Status and expectation of research on welding of magnesium alloy”, **The Chinese Journal of Nonferrous Metals**, Cilt 15, No 2, 165–178, 2005.
- [29] Cao, X., Jahazi, M., Immarigeon, J. P. and Wallace, W., “A review of laser welding techniques for magnesium alloys”, **Journal of Mater Process Technol**, Cilt 171, No 2, 188–204, 2006.
- [30] Hui, L., Ming, Q. and Da, L., “The effect of intermetallic compounds on laser weldability of dissimilar metal joint between magnesium alloy AZ31B and aluminum alloy 6061”, **Laser Journal**, Cilt 28, No 5, 61–63, 2007.
- [31] Wang, J., Feng, J. C. and Wang, Y. X., “Microstructure of Al–Mg dissimilar weld made by cold metal transfer MIG welding”, **Mater Sci Technol**, Cilt 24, No 7, 827–831, 2008.
- [32] Kwon, Y. J., Shigematsu, I. and Saito, N., “Dissimilar friction stir welding between magnesium and aluminum alloys”, **Mater Lett**, Cilt 62, No 23, 3827–3829, 2008.
- [33] Zeng, R., Ke, W., Xu, Y., Han, E. and Zhu, Z., “Recent development and application of magnesium alloys”, **Acta Metallurgica Sinica**, Cilt 37, No 7, 673–685, 2001.
- [34] Larsson, J. K., “Overview of joining technologies in the automotive industry”, **Welding Res Abroad**, Cilt 49, No 6, 29–45, 2003.
- [35] Chowdhury, S. H., Chen, D.L., Bhole, S. D., Cao, X. and Wanjara, P., “Lap shear strength and fatigue behavior of friction stir spot welded dissimilar magnesium-to-aluminum joints with adhesive”, **Materials Science & Engineering A**, Cilt 562, 53–60, 2013.
- [36] Yan, J., Xu, Z., Li, Z., Li, L. and Yang, S., “Microstructure characteristics and performance of dissimilar welds between magnesium alloy and aluminum formed by friction stirring” **Scripta Materialia**, Cilt 53, No 5, 585–589, 2005.
- [37] Mohammadi, J., Behnamian, Y., Mostafaei, A., Izadi, H., Saeid, T., Kokabi, A.H. and Gerlich, A.P., “Friction stir welding joint of dissimilar materials between AZ31B magnesium and 6061 aluminum alloys: Microstructure studies and mechanical characterizations” **Materials Characterization**, Cilt 101, 189–207, 2015.
- [38] Sweeder, T., “Demand for Lightweight Technology”, **Magnesium Expo**, Michigan-USA, 2000.
- [39] Fu, B., Qin, G., Li, F., Meng, X., Zhang, J. and Wu, C., “Friction stir welding process of dissimilar metals of 6061-T6aluminum alloy to AZ31B magnesium alloy”, **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 218, 38–47, 2015.
- [40] Venkateswaran, P. and Reynolds, AP., “Factors affecting the properties of friction stir welds between aluminum and magnesium alloys”, **Mater Sci. Eng. A**, Cilt 545, 26–37, 2012.
- [41] Liu, P., Li, Y. J., Geng, H. R. and Wang, J., “Microstructure characteristics in TIG welded joint of Mg/Al dissimilar materials”, **Mater Lett**, Cilt 61, No 6, 1288–91, 2007.

- [42] Borrisutthekul, R., Miyashita, Y. and Mutoh, Y., “Dissimilar material laser welding between magnesium alloy AZ31B and aluminium alloy A5052-O”, **Sci. Technol. Adv. Mater.**, Cilt 6, No 2, 199–204, 2005.
- [43] Liu, L. M., Wang, H. Y. and Zhang, Z. D., “The analysis of laser weld bonding of Al alloy to Mg alloy”, **Scripta Mater**, Cilt 56, No 6, 473–478, 2007.
- [44] Zhao Y., Lu Z., Yan K. and Huang L., “Microstructural characterizations and mechanical properties in underwater friction stir welding of aluminum and magnesium dissimilar alloys”, **Materials and Design**, Cilt 65, 675–681, 2015.
- [45] Ben-Artzy, A., Munitz, A., Kohn, G., Brining, B. and Shtechman, A. “Joining of light hybrid constructions made of magnesium and aluminum alloys”, **Magnesium Technology**, 295-302, 2002.
- [46] American Society for Metals. *Binary Alloy Phase Diagrams* 1: 106, **ASM International**, Materials Park, Ohio, 1986.
- [47] Wang, J., Li Y. J., Liu, P. and Geng, H. R., “Microstructure and XRD analysis in the interface zone of Mg-Al diffusion bonding”, **J. Mater. Process. Technol**, Cilt 205, No 1 -3, 146–150, 2008.
- [48] Hajjari, E., Divandari, M., Razavi, S. H., Emami, S.M., Homma, T. and Kamado, S. “Dissimilar joining of Al Mg light metals by compound casting process”, **J. Mater. Sci.**, Cilt 46, No 20, 6491–6499, 2011.
- [49] Kafalı, H. and Ay, N., “Havacılıkta kullanılan 6013-T6 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesi”, **S.D.Ü. Fen Bil. Ens. Dergisi**, Cilt 18, No 1, 38-47, 2014.
- [50] Kafalı, H. and Ay, N., “Sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmiş havacılık ve uzay yapılarında kullanılan Al 6013-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Cilt 7, No 2, 85-101, 2014.
- [51] Nandan, R., Roy, G. G., and DebRoy, T. “Numerical simulation of three-dimensional heat transfer and plastic flow during friction stir welding”, **Metallurgical and Materials Transactions A**, Cilt 37, No 4, 1247–1259, 2006.
- [52] Cho, J. H., Boyce, D. E., and Dawson, P. R. “Modeling strain hardening and texture evolution in friction stir welding of stainless steel”, **Materials Science and Engineering A**, Cilt 398, No 1 -2, 146–163, 2005.
- [53] Cho, J. H., Boyce, D. E., and Dawson, P. R. “Modelling strain hardening during friction stir welding of stainless steel”, **Model. Sim. in Mat. Sci. and Eng.**, Cilt 15: 469–486, 2007.
- [54] Nandan, R, Lienert, TJ, DebRoy, T. “Toward reliable calculations of heat and plastic flow during friction stir welding of Ti– 6Al–4V alloy”, **Int J Mater Res**, Cilt 99, No 4, 434–44, 2008.
- [55] Firouzdor, V. and Kou, S., “Al-to-Mg friction stir welding: effect of positions of Al and Mg with respect to the welding tool”, **The Welding Journal**, Cilt 88, 213-224, 2009
- [56] Cao, X. and Jahazi, M., “Friction stir welding of dissimilar AA 2024-T3 to AZ31B-H24 alloys”, **Materials Science Forum**, Cilt 638-642, 3661-3666, 2010.
- [57] Çevik, B., Özçatalbaş, Y., Gülenç, B. “SKK ile birleştirilen 7075-T651 Al Alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine devir sayısının etkisi”, **3. Int. Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET’14)**, 658-668, May 2014, Manisa.
- [58] Çevik, B., Özçatalbaş, Y., Gülenç, B. “Friction stir welding of 7075-T651 aluminium Alloy” **Practical Metallography**, Cilt 53, No 1, 6-23, 2016.



- [59] Çevik, B., Özçatalbaş, Y., Gülenç, B. “Effect of tool material on microstructure and mechanical properties of friction stir welding”, **Materials Testing**, Cilt 58, No 1, 36-42, 2016.
- [60] Çevik, B., Özçatalbaş, Y., Gülenç, B. “Effect of welding speed on the mechanical properties and weld defects of 7075 Al alloy joined by FSW”, **Kovove Mater.**, Cilt 54, No 4, 241–247, 2016.
- [61] Morishige, T., Kawaguchi, A., Tsujikawa M., Hino M., Hirata T. and Higashi K., “Dissimilar Welding of Al and Mg Alloys by FSW”, **Materials Transactions**, 49(5):1129-1131, 2008.
- [62] Pourahmad, P. and Abbasi, M., “Materials flow and phase transformation in friction stir welding of Al 6013/Mg”, **Trans. Nonferrous Met. Soc. China**, Cilt 23, No 5, 1253–1261, 2013.
- [63] Yamamoto, N., Liao, J., Watanabe, S. and Nakata, K., “Effect of intermetallic compound layer on tensile strength of dissimilar friction-stir weld of a high strength Mg alloy and Al alloy” **Materials Transactions**, Cilt 50, No 12, 2833-2838, 2009.
- [64] Jagadeesha, C.B., “Dissimilar friction stir welding between aluminum alloy and magnesium alloy at a low rotational speed”, **Materials Science & Engineering A**, Cilt 616, 55–62, 2014.
- [65] Liua, C., Chena, D. L., Bholea, S., Caob, X. and Jahazib, M.,” Polishing-assisted galvanic corrosion in the dissimilar friction stir welded joint of AZ31 Magnesium alloy to 2024 Aluminum alloy”, **C. Materials Characterization**, Cilt 60, No 5, 370 – 376, 2009.
- [66] Malarvizhi, S. and Balasubramanian, V., “Influences of tool shoulder diameter to plate thickness ratio (D/T) on stir zone formation and tensile properties of friction stir welded dissimilar joints of AA6061 aluminum–AZ31B magnesium alloys”, **Materials and Design**, Cilt 40, 453–460, 2012.
- [67] Somasekharan, A. C. and Murr, L. E., “Characterization of complex, solid-state flow and mixing in the friction-stir welding (FSW) of aluminum alloy 6061-T6 to magnesium alloy AZ91D using color metallography”, **J Mater Sci**, Cilt 41, No 16, 5365–5370, 2006.
- [68] Masoudian, A., Tahaei, A., Shakiba, A., Sharifianjazi, F. and Mohandesi, J. A., “Microstructure and mechanical properties of friction stir weld of dissimilar AZ31-O magnesium alloy to 6061-T6 aluminum alloy” **Trans. Nonferrous Met. Soc. China**, Cilt 24, No 5, 1317–1322, 2014.
- [69] Somasekharan, A.C. and Murr, L.E. “Microstructures in friction-stir welded dissimilar magnesium alloys and magnesium alloys to 6061-T6 aluminum alloy”, **Materials Characterization**, Cilt 52, No 1, 49– 64, 2004.
- [70] Somasekharan, A.C. and Murr, L.E., “Fundamental studies of the friction-stir welding of magnesium alloys to 6061-T6 aluminum”, **Magnesium Technology**, 31-36, 2004.
- [71] Simoncini, M. and Forcellese, A., “Effect of the welding parameters and tool configuration on micro- and macro-mechanical properties of similar and dissimilar FSWed joints in AA5754 and AZ31 thin sheets”, **Materials and Design**, Cilt 41, 50–60, 2012.
- [72] Firouzdor, V. and Kou, S., “Al-to-Mg friction stir welding: effect of material position, travel speed and rotation speed”, **Metallurgical and Materials Transactions A**, Cilt 41, No 11, 2914-2935, 2010.
- [73] Zettler, R., Augusto, A., da Silva, M., Rodrigues, S., Blanco A. and dos Santos J. F., “Dissimilar Al to Mg alloy friction stir welds”, **Advanced Engineering Materials**, Cilt 8, No 5, 415-421, 2006.
- [74] Morishige, T., Hirata, T., and Tanaka, T.: Preprints of The National Meeting of J.W.S, 85, 220–221, 2009.
- [75] Pepe, J. J., and Savage, W. F. “Effects of constitutional liquation in 18-Ni maraging steel weldment”, **Welding Journal**, Cilt 46, No 9, 411-422, 1967.

- [76] Pepe, J. J., and Savage, W. F. “Weld heat-affected zone of the 18Ni maraging steels”, **Welding Journal**, Cilt 49, No 12, 545-553, 1970.
- [77] Kou, S. “Welding Metallurgy”, **2nd edition, John Wiley and Sons**, 303–339, (2003), New York, N.Y.
- [78] Yang, Y. K., Dong, H., Cao, H., Chang, Y. A., and Kou, S. “Liquation of Mg alloys in friction-stir spot welding”, **Welding Journal**, Cilt 87, 167-177, 2008.
- [79] Yang, Y. K., Dong, H. and Kou, S., “Liquation tendency and liquid-film formation in friction stir spot welding”, **Welding Journal**, Cilt 87, No 8, 202-211, 2008.
- [80] Çakır, C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, **Nobel Yay Dağ.**,69-75, 2006, Ankara
- [81] Bergmann, J. P., Schuerer, R. and Ritter, K., “Friction stir welding of tailored blanks of aluminum and magnesium alloys”, **Key Engineering Materials** , Cilt 549, 492-499, 2013.
- [82] Seidel, T. U. and Reynolds, A. P., “Visualization of the material flow in AA2195 friction-stir welds using a marker insert technique” **Metallurgical and materials transactions A**, Cilt 32, No 11, 2879-2884, 2001.
- [83] Khodir, S. A. and Shibayanagi, T., “Dissimilar friction stir welded joints between 2024-T3 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy”, **Materials Transactions**, Cilt 48, No 9, 2501 – 2505, 2007.
- [84] Firouzdor, V. and Kou, S., “Formation of liquid and intermetallics in Al-to-Mg friction stir welding”, **Metallurgical and Materials Transactions A**, Cilt 41, No 12, 3238-3251, 2010.
- [85] Klag, O., Wagner, G. and Otmar D. E., “Mechanical properties of friction stir welded Mg/Mg- and Mg/Al-joints”, **Advanced Engineering Materials**, Cilt 12, No 12, 1212-1219, 2010.
- [86] Cao, G. and Kou, S., “Liquation cracking in full penetration Al-Si welds” **Welding Journal**, Cilt 84, No 4, 63-71, 2005.
- [87] Park, S.H.C., Sato, Y.S., Kokawa, H., “Microstructural evolution and its effect on Hall-Petch relationship in friction stir welding of thixomolded Mg alloy AZ91”, **Mater Sci.**, Cilt 38i No 21, 4379-4383, 2003.
- [88] Yan Y., Zhang D., Qiu C. and Zhang W., “Dissimilar friction stir welding between 5052 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy”, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, Cilt 20, No 2, 619–623, 2010.



## Rf Uygulamalarda Genel Amaçlı Tınlama Frekansı Takip Edici Sistem Tasarımı

Sabri BİCAKCI<sup>1,\*</sup>, Seyit Ahmet SİS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR

### Öz

Bu çalışmada, radyo frekans uygulamaları için genel amaçlı bir tınlama (rezonans) frekansı takip edici sistem konfigürasyonu önerilmektedir. Önerilen sistem bir RF çift yönlü kuplajlayıcı (bidirectional coupler), doğrultucu (ya da RF güç detektörü) ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır ve RF sistemin girişindeki en küçük yansıma katsayısının tınlama frekanslarında oluştuğu prensibine dayanmaktadır. Çift yönlü kuplajlayıcının giden ve yansıyan kısımlarından örneklediği sinyaller kontrol biriminde oranlanarak yansıma katsayısı hesaplanmaktadır. Kontrol birimi frekansı anlık olarak ve sistematik şekilde yansıma katsayısının asgari olduğu noktaya çekerek tınlama frekansını takip etmektedir. Önerilen sistem konfigürasyonu detaylı olarak tartışıldıktan sonra, makalenin son kısmında, örnek bir uygulama olan kablosuz güç transfer sistemleri için kısmi olarak geliştirilmiş bir frekans takip sistemi için ölçüm ve benzetim sonuçları sunulmaktadır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 24/10/2016

Kabul: 02/05/2017

### Anahtar Kelimeler

RF Frekans Takip Edici Sistemler  
RF Ayarlanabilirlik  
Kablosuz Güç Transfer Sistemleri

### Keywords

RF Frequency Tracking Systems,  
RF Tenability,  
Wireless Power Transfer System

## Design Of A Resonance Frequency Tracking System For Rf Applications

### Abstract

In this work, a resonance frequency tracking system is proposed for general use in RF applications. The proposed system is based on the fact that the minimum input reflection coefficient occurs at the resonance frequencies, and the system consists of a bidirectional coupler, a rectifier and a control unit. The sampled signals from the forward and reflect ports of the bidirectional coupler are taken as an input for the controller unit and the reflection coefficient is calculated by dividing the reflected one to forward one. The control unit systematically changes the source frequency until a minimum reflection coefficient is reached. The frequency that corresponds that minimum reflection coefficient is the instant resonance frequency for the system. After discussing the details of proposed frequency tracking system, the system is applied to a wireless power transfer system based on resonance magnetic coupling. Measurement results of the fabricated circuits and the test results for the control unit are presented.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Radyo frekans (RF) sistemlerde çeşitli uygulamalar tınlama frekansı temelli sistemlerdir. Örneğin akustik tınlayıcılar (rezonatörler) hem frekans seçiciliği sağlayan filtre tasarımlarında hem de quartz kristalde olduğu gibi osilatör tasarımlarında kullanılmaktadır [1-3]. Birçok tınlama temelli RF & mikrodalga devre ve sistemlerde, sistemin frekansa göre ayarlanabilir olması, diğer bir deyişle gereksinimlere göre sistemin tınlama frekansının değiştirebilmesi istenmektedir. Özellikle çoklu-bant haberleşme cihazlarında, RF ön-kısımdaki (front-end) mikrodalga devreler ve antenler, birden fazla frekans bandında çalışacak şekilde ayarlanabilirlik özelliğine sahip olmak durumundadırlar. Bu tür mikrodalga devre ve antenlerin frekansa göre ayarlanabilirliği (tunability), tınlama frekansını çeşitli ayarlanabilir kapasitör ya da anahtarlarla değiştirerek sağlanmaktadır. [4-8].

Yukarıda bahsedilen uygulamalarda, devrenin çalışma frekansı kasıtlı olarak değiştirilmektedir. Fakat bazı mikrodalga devre ya da sistemlerde tınlama frekansı, ısı, basınç ve nem gibi ortam şartlarının değişimiyle

\*İletişim yazarı, e-mail: sbicakci@balikesir.edu.tr

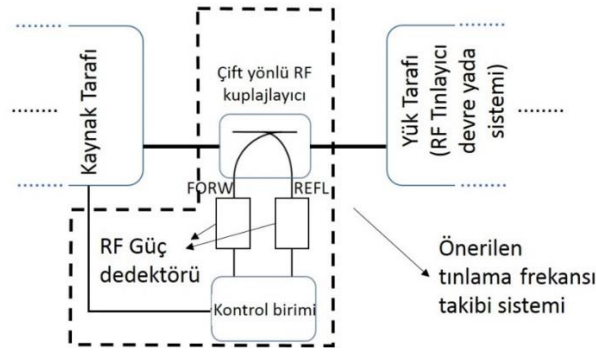
ya da tınlayıcıların arasındaki kuplaj seviyesinin çeşitli nedenlerden dolayı değişmesiyle istemsiz olarak değişmektedir. Bu durumda, devrenin tınlama frekansının istenen frekansa geri çekilmesi ya da tınlama frekansının değişimi takip edilerek kaynak frekansının devrenin tınlama frekansına ayarlanması, sistemin istenilen şekilde çalışması için hayati öneme sahiptir. Literatürde tınlama frekansını takip etmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Kimi uygulamalarda kaynaktan üretilen sinyalin frekansı sabit tutulmak istenmekte ve üretilen sinyalin frekansı ölçülen sinyal frekansına ya da referans değere eşitlenmek istenmektedir. Bu tür uygulamalarda doğrudan frekans ölçümü yapılmaktadır [9, 12]. Thomas ve Woolfson güç sistemlerinde en çok kullanılan doğrudan ölçüm metotlarını detaylı olarak incelemiştir [12]. Kimi uygulamalarda ise direk sistemin tınlama (rezonans) frekansının tespit edilip takip edilmesi gerekmektedir. Tınlama frekansı gerçek uygulamalarda çevresel faktörlerin değişken olmasından dolayı sabit değildir ve analitik olarak hassas bir şekilde hesaplanamamaktadır. Bu tip uygulamalarda dolaylı yoldan frekans takip işlemi yapılmaktadır [10, 11]. Tınlama frekansının etkileri ölçülmekte ve uygulamaya özel olarak dolaylı takip yöntemi geliştirilmektedir. Furuya ve arkadaşları değişen çalışma şartları altında ultrasonik motorların performansını maksimize edebilmek için algılayıcı (titreşim etkisi ile piezoelektrik eleman uçlarındaki voltaj değişimleri kullanılarak) ve algılayıcısız (faz kayması ve PLL kullanılarak) iki farklı tınlama frekansı takipçisi geliştirmişlerdir [10]. Li ve arkadaşları ise geliştirdikleri RF kavite sisteminin tınlama frekansındaki değişimleri algılamak için gönderilen ve yansıyan sinyaller arasındaki faz kaymasını kullanmışlar ve faz kilitlemeli çevrim (phase-locked loop, PLL) kullanarak frekans takipçisi oluşturmuşlardır. [13].

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan karmaşık faz kilitlemeli çevrimlerin yerine, RF & mikrodalga yönlü kuplajlayıcılar kullanılarak, yansıma katsayısının anlık olarak hesaplanması temeline dayanan bir frekans takip sistemi geliştirilmiştir. RF & mikrodalga devrelerde, tınlamanın olduğu frekansta empedansın reaktif değeri sıfırlandığından dolayı, sisteme giren RF enerjinin daha büyük kısmı diğer frekanslardakine oranla yük direnci üzerinde harcanır. Bu da bir mikrodalga devre tasarımcısı bakış açısı ile diğer frekanslara oranla geriye daha az enerji yansıdığı anlamına gelmektedir. Mikrodalga sistemlerde, tınlama frekansı, sistem girişinden yansıma katsayısının ( $S_{11}$ , ya da  $\Gamma_{in}$ ) ya da giriş empedansının ölçülmesi ile bulunabilmektedir. Ölçülen yansıma katsayısı frekansa göre çizdirildiğinde, tınlama frekansı kabaca bu grafiğin dip noktası / noktalarının olduğu frekanslardır. Bu durum göz önünde bulundurularak, genel amaçlı tınlama frekansının değişimini takip eden bir sistem kolaylıkla geliştirilebilir.

Bu makalede, giriş yansıma katsayısını anlık olarak ölçüp tınlama frekansı takibi yapmak için geliştirilmiş bir RF sistemin genel çalışma prensibi, tasarım, üretim ve kısmi ölçüm sonuçları verilmektedir. Aşağıda ilk olarak önerilen tınlama frekansı takip edici sistemin detayları verilmektedir. Önerilen frekans takip sisteminin uygunluğunu teyit etmek için, bir kablolu güç transfer sistemi için tasarlanan örnek bir frekans takip sisteminin detayları makalenin ilerleyen kısımlarında verilmektedir. Tasarlanan bu sistemin büyük bir kısmı üretilmiş, kontrol ünitesi programlanmış ve program kodları ile ölçüm sonuçları benzetim ortamında birleştirilerek, bir yapay test ortamında test edilmiştir. Bu test sonuçları da makalenin ilerleyen bölümlerinde detayları ile birlikte verilmektedir. Makalenin son kısmında ise, makale sonuçları değerlendirilip tartışılacak ve önerilen frekans takip sisteminin olası iyileştirilmelerinden bahsedilecektir.

## 2. ÖNERİLEN FREKANS TAKİP EDİCİ SİSTEM KONFIGÜRASYONU (PROPOSED FREQUENCY TRACKER SYSTEM CONFIGURATION)

Önerilen sistem bir çift yönlü RF kuplajlayıcı, RF doğrultucular (RF güç detektörü) ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Şekil 1 de, bu çalışmada önerilen RF frekans takip edici sistemin blok diyagramı verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere, önerilen sistem tınlayıcı devre ya da sistemin ön kısmına, yani RF sinyal kaynağı ile tınlama devresi arasına konulmaktadır. Kaynaktan çıkan sinyal, yönlü kuplajlayıcıdan geçerken sinyalin küçük bir kısmı örneklenerek FORW portuna aktarılmaktadır. Geriye kalan ve kaynaktan çıkan sinyalin hala çok büyük oranı, yönlü kuplajlayıcının çıkışından yük tarafına (tınlayıcı devreye) gitmektedir. Yük tarafındaki empedans değerine bağlı olarak, sinyalin bir kısmı yükte kullanılmadan geri yansımaktadır. Geri yansıyan sinyal tekrardan yönlü kuplajlayıcıya geri girmekte ve bu geriye yansıyan sinyalin küçük bir kısmı yine örneklenerek kuplajlayıcının REFL portuna aktarılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, kuplajlayıcının giriş ve çıkış empedansları kaynak ve yük tarafı empedansları ile eşit olarak seçilmesidir (50 ohm).



**Şekil 1.** Önerilen frekans takip sisteminin blok diyagramı  
(**Figure 1.** The block diagram for the proposed frequency tracking system)

Sırasıyla kaynaktan yüke doğru giden ve yükten yansıyor kaynak tarafına geri dönen sinyallerin aynı oranlarda örneklenmiş halleri FORW ve REFL portlarındaki sinyaller olup, bu sinyaller uygun doğrultucu ya da RF güç dedektörleri ile doğru akım şekline (DC) çevrileceklerdir. Daha sonra bu DC sinyaller kontrol birimine aktarılıp birbirleri ile (1) de verildiği şekilde oranlanarak tınlayıcı devre ya da sistemin giriş yansıma katsayısı ( $\Gamma_{in}$ ) hesaplanacaktır.

$$\Gamma_{in} = \frac{V_{DC\_REFL\_PORT}}{V_{DC\_FORW\_PORT}} \quad (1)$$

Burada  $V_{DC\_REFL\_PORT}$  ve  $V_{DC\_FORW\_PORT}$  sırasıyla REFL ve FORW portlarındaki RF sinyallerin DC ye doğrultulduktan sonraki voltaj seviyelerini temsil etmektedir. Kontrol birimi daha sonra, kaynak frekansını anlık olarak sistematik şekilde değiştirecek ve her değişimde elde edilen frekansta örneklenen giden ve yansıyan sinyallerden  $\Gamma_{in}$  değerini (1) de verildiği üzere tekrar hesaplayacaktır. Bu işlemi yinelemeli (recursive) olarak mümkün olan asgari  $\Gamma_{in}$  değerini elde edip takip edecek şekilde sürdürecektir ve bu şekilde tınlama frekansını takip edecektir.

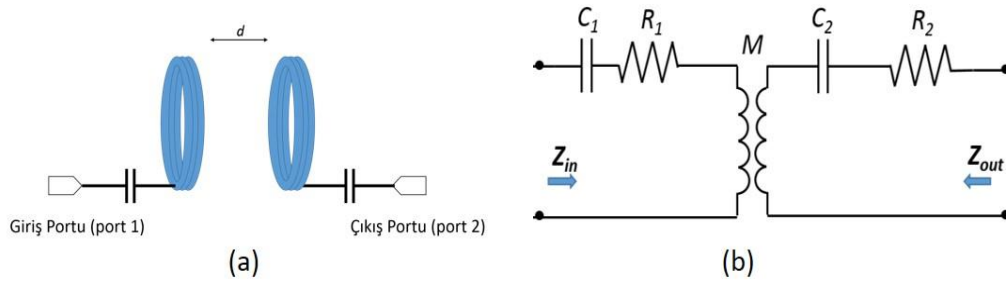
Bu bölümde kabaca anlatılan tınlama frekans takip sistemi örnek bir kablosuz güç transfer sisteminde uygulanmıştır. Bahsi geçen kablosuz güç transfer sistemi, manyetik alan vasıtası ile endüktif olarak kuplajlanan ve tınlamada çalışan çevrim çiftleri arasında elektriksel enerjinin temassız olarak aktarılması prensibine dayanmaktadır. Aşağıda, tınlama temelli bu kablosuz güç transfer sisteminin detayları, neden tınlama frekansı takip edici yapıya ihtiyaç duyduğu ve önerilen sistemin bu kablosuz güç transfer sistemine uygulanması detaylı şekilde anlatılmaktadır.

### 3. KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİ İÇİN TINLAMA FREKANSI TAKİP SİSTEMİ (RESONANCE FREQUENCY TRACKING SYSTEM FOR WIRELESS POWER TRANSFER)

#### 3.1. Kablosuz Güç Transfer Sistemi Çalışma Prensibi (Operation Principle of Wireless Power Transfer System)

Manyetik-kuplaj temelli güç transferi, iki adet çevrimin (loop) manyetik alan vasıtasıyla birbirlerine bağlanması (coupling) temeli üzerine çalışır. Çevrimler arası güç aktarımını yüksek verimlilikte yapabilmek için, her bir çevrim kendisine seri bağlı bir kapasitörle tınlamaya sokulmaktadır. Şekil 2 (a) da seri kapasitörlerle tınlamaya sokulmuş, kuplajlanmış çevrim çiftinin genel gösterimi verilmektedir. Kuplajlanmış çevrimlerin elektriksel cevabı Şekil 2 (b) de verilen lumped eleman devre modeli kullanılarak kolayca analiz edilebilmektedir. Bu devre modelindeki tüm parametreler çevrim geometrisine bağlıdır. Çevrimlerin endüktansları bu modelde  $L_1$  ve  $L_2$  ile temsil edilmektedir ve çevrim yarıçapı ve sarım sayısına bağlıdır.  $R_1$  ve  $R_2$  sırasıyla her iki çevrim için sonlu iletkenlikten ve elektromanyetik ışımadan dolayı oluşan kayıpları temsil etmektedir ve çevrim geometrisi, iletkenlik katsayısı ve çalışma frekansına bağlıdır.  $M$  karşılıklı endüktans olarak tanımlanır ve çevrimler arası manyetik kuplajı temsil etmektedir.  $M$  hem çevrim geometrisine (örn. çevrim yarıçapı) hem de çevrimler arası mesafeye bağlıdır.  $C_1$  ve  $C_2$  istenen tasarım frekansına bağlı olarak  $L_1$  ve  $L_2$  ile seri tınlama oluşturacak şekilde değerleri belirlenen kapasitörlerdir. Literatürde, bu devre parametrelerinin geometriye ve mesafeye bağlı olarak analitik ifadeleri çeşitli çalışmalarda mevcuttur [14-15]. Şekil 2 deki devrenin girişine  $R_S$  kaynak direnci olan bir

RF kaynak ve çıkışına bir  $R_L$  yükü bağlanıp benzetimi yapılırsa, çıkıştaki yüke aktarılan gücün giriş gücüne oranı hesaplanarak güç transfer verimliliği elde edilebilir. Böylece, bu model kullanılarak, verimliliğin frekansa göre cevabı çeşitli durumlar için elde edilip çizdirilebilir. Nitekim Şekil 3 de 50 cm yarıçapında, tek sargılı, 5 MHz de tınlamaya girecek şekilde seri kapasitörler kullanılmış ve özdeş kuplajlanmış çevrim çiftinin benzetimlerden elde edilmiş verimlilik cevabı çeşitli çevrimler arası mesafeler için gösterilmektedir.

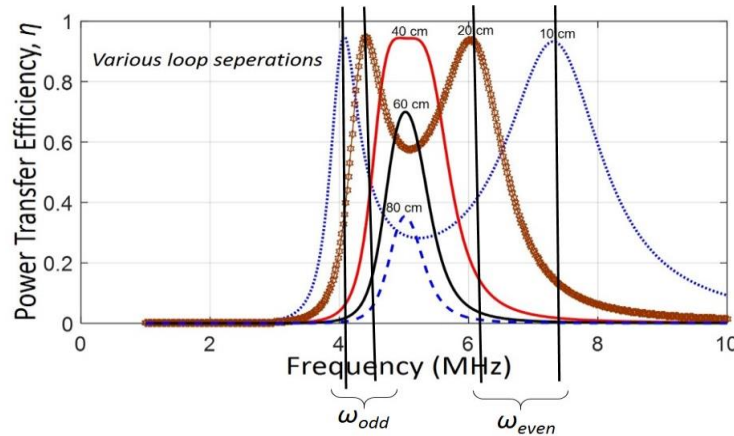


**Şekil 2.** Seri kapasitörlerle tınlamaya sokulmuş kuplajlanmış çevrim çiftinin (a) genel gösterimi, (b) lumped eleman devre modeli.

(Figure 2. (a) A general illustration and (b) lumped component circuit model for resonant loops )

Şekil 3 deki verimlilik cevabı incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Çevrimler arası mesafe yüksek iken verimlilik tepe değeri çevrimlerin tınlama frekansında ( $\omega_0 = 5$  MHz) oluşmaktadır. Çevrimler birbirlerine yaklaştırıldığında, verimlilik artmaktadır. Örneğin, çevrimler arası mesafe 80 cm iken yaklaşık % 35 tepe verimlilik elde edilirken, çevrimler arası mesafe 60 cm ye düşürüldüğünde verimlilik yaklaşık olarak % 70 lere çıkmaktadır (Şekil 3). Her iki mesafede de tepe verimliliği  $\omega_0$  tınlama frekansındadır. Tepe verimliliğinin bu şekilde mesafenin azalmasıyla, diğer bir deyişle, karşılıklı endüktansın artmasıyla arttığı durumda çevrimler **zayıf şekilde kuplajlanmaktadır** ve bu durumun gözlemlendiği çevrimler arası mesafe bölgesine ya da karşılıklı endüktans değeri aralıklarına **zayıfça kuplajlanma rejimi** denmektedir.



**Şekil 3.** Devre modeli kullanılarak elde edilen, 50 cm yarıçapında tek sargılı çembersel çevrimin çeşitli çevrimler arası mesafe için çıkarılan verimlilik cevabı.

(Figure 3. Efficiency response for a 50 cm radius loop for various loop separations is obtained from the lumped element circuit model )

- Çevrimler birbirlerine daha da yaklaştırıldığında, tepe verimlilik değeri mesafenin azalması ile yani karşılıklı endüktans değerinin artmasıyla belli bir noktaya kadar artmakta ve bu noktadan sonra sabitlenmektedir. Şekil 3 den görüldüğü üzere, çevrimler arası mesafe 40 cm ve altında ise, tepe

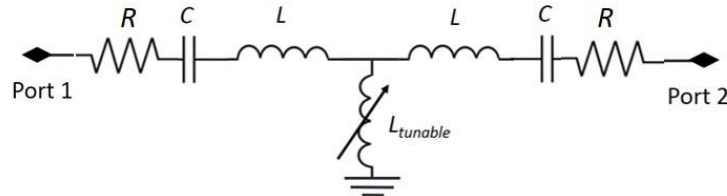
verimlilik değeri mesafeden bağımsız ve en yüksek değerdedir. Tepe verimliliğinin bu şekilde çevrimler arası mesafeden, diğer bir deyişle karşılıklı endüktans değerinden bağımsız olduğu durumda çevrimler **güçlü şekilde kuplajlanmaktadır**. Bu durumun gözlemlendiği çevrimler arası mesafe bölgesine ya da karşılıklı endüktans değer aralıklarına **güçlü kuplajlanma rejimi denmektedir**.

- Güçlü kuplajlanma rejiminde, kuplajlanmış çevrimlerin mesafeden bağımsız çalışması birçok uygulama için oldukça avantajlı bir durum ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, şarj esnasında, mobil cihazlara verimlilikten feda etmeden belli aralıkta hareket özgürlüğü sağlanabilecektir. Lâkin çevrimlerin, bu mesafeden bağımsız tepe verimliliğinin olduğu tınlama frekansları zayıfça kuplajlanma rejimindeki gibi 5MHz de değil, 5 MHz in çok az altı ve çok az üzerindeki, sırasıyla  $\omega_{odd}$  ve  $\omega_{even}$  olarak adlandırılan sırasıyla odd ve even mode tınlama frekanslarıdır (bkz. Şekil 3). Üstelik  $\omega_{odd}$  ve  $\omega_{even}$  frekansları, çevrimler arası mesafeye bağlıdır. Şekil 3 de  $\omega_{odd}$  ve  $\omega_{even}$  frekanslarının mesafe azaldıkça birbirinden ayrıştığı açıkça görülmektedir ve bu “frekans-ayrılması (frequency splitting)” terimi ile ifade edilmektedir.

Yukarıdaki çıkarımlardan görüldüğü üzere, güçlü kuplajlanma rejimindeki bu mesafeden bağımsız verimlilik durumunun sağladığı avantajı kullanabilmek için, sistemin çevrimler arası mesafeye bağlı değişen  $\omega_{odd}$  ya da  $\omega_{even}$  frekanslarında çalışması gerekmektedir. Bu durumda, sistem frekansının adaptif şekilde mesafe değişimine göre değişmesi gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen frekans takip sistemi bu tür güç transfer sistemleri için uygun bir çözüm oluşturabilecektir.

### 3.2. Kablosuz Güç Transfer Sistemi İçin Frekans Takip Edici (Frequency Tracker for Wireless Power Transfer System)

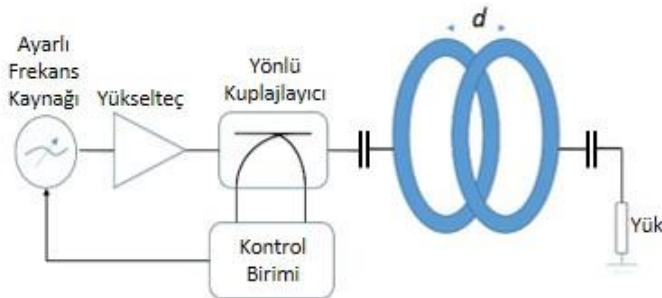
Önerilen frekans takip sisteminin güç transfer sistemine uygulanabilmesi için, öncelikle kuplajlanmış çevrimler ya da bu çevrimlerin elektriksel cevabını verebilecek model devre gerekmektedir. Bu çalışmada model devrenin üretilmesi tercih edilmiştir. Şekil 2 (b) deki devrede, çevrimler arası kuplajı modelleyen ve  $M$  ile gösterilen transformatör elemanı esasında bir endüktif-T devresi ile temsil edilerek Şekil 2 de ki devre modeli Şekil 4 de ki hale gelmektedir [16]-[17]. Çevrimler arası mesafenin değişimi ile değişen kuplaj seviyesi, tasarlanan devrede bir ayarlı endüktans ( $L_{tunable}$ ) tarafından gerçekleştirilmektedir (bkz. Şekil 4).



**Şekil 4.** Bu çalışmada kullanılan tınlamada çalışan kuplajlanmış çevrim çiftlerini temsil eden lumped devre modeli.

(**Figure 4.** The circuit model utilized in this work for representing the resonant loops)

Şekil 5 de frekans takip sistemini içeren kablosuz güç transfer sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir. Burada ayarlı frekans üretici olarak AD9833 VCO entegresinin kullanıldığı, 0-12.5 MHz arası, 0.004 Hz çözünürlüğe sahip ve programlanabilir bir deneme kartı olan EVAL-9833-SDZ kullanılmaktadır.



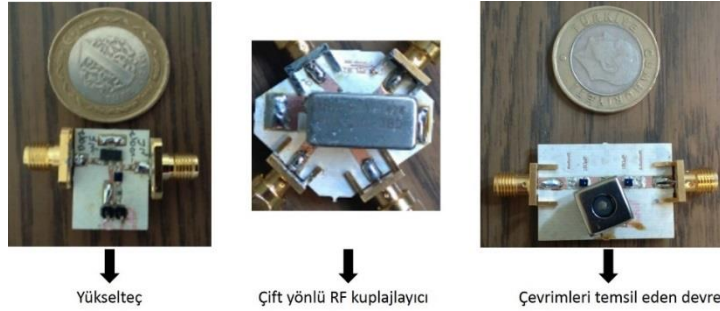
**Şekil 5.** Önerilen frekans takip sisteminin kullanıldığı kablosuz güç transfer sistemi

(**Figure 5.** The wireless power transfer system that utilize the proposed frequency tracker)

Sinyal seviyesinin düşük olmasından dolayı ayarlı frekans kaynağının çıkışındaki sinyali güçlendirmek için yükselteç kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yükselteç, yönlü kuplajlayıcı ve kuplajlanmış çevrimleri temsil eden devre elemanları Tablo 1 de verilmektedir. Şekil 5 de genel gösterimi ve Tablo 1 de detayları verilen frekans takip sistemindeki devrelerin bir kısmı baskı devre kartı (printed circuit board) üzerinde Şekil 6 da gösterildiği gibi üretilmiştir. Bu devreler, Şekil 5 de verilen blok diyagramda olduğu gibi kaskad olarak bağlanmış ve S-parametreleri ölçülerek, giriş yansıma katsayısı çeşitli  $L_{tunable}$  değerleri için ölçülmüştür. Şekil 7 de bu ölçüm sonuçları verilmektedir.

**Tablo 1.** Üretimde kullanılan devre ve elemanlar  
(**Table 1.** Components in fabricated circuits)

Yükselteç	Mini-Circuits RAM-8A DC-40 GHz, ~ 12 dBm Pout ~ 35 dB Kazanç
Kuplajlayıcı	Mini-Circuits PDC-20-3BD+ 0.2-250 MHz
Kapasitör (C)	200 pF, Murata RF SMD tip
Endüktör (L)	3800 nH, Coilcraft RF SMD tip
Ayarlı Endüktör	Coilcraft Slot Ten 5 series 1.5 $\mu$ H to 3 $\mu$ H

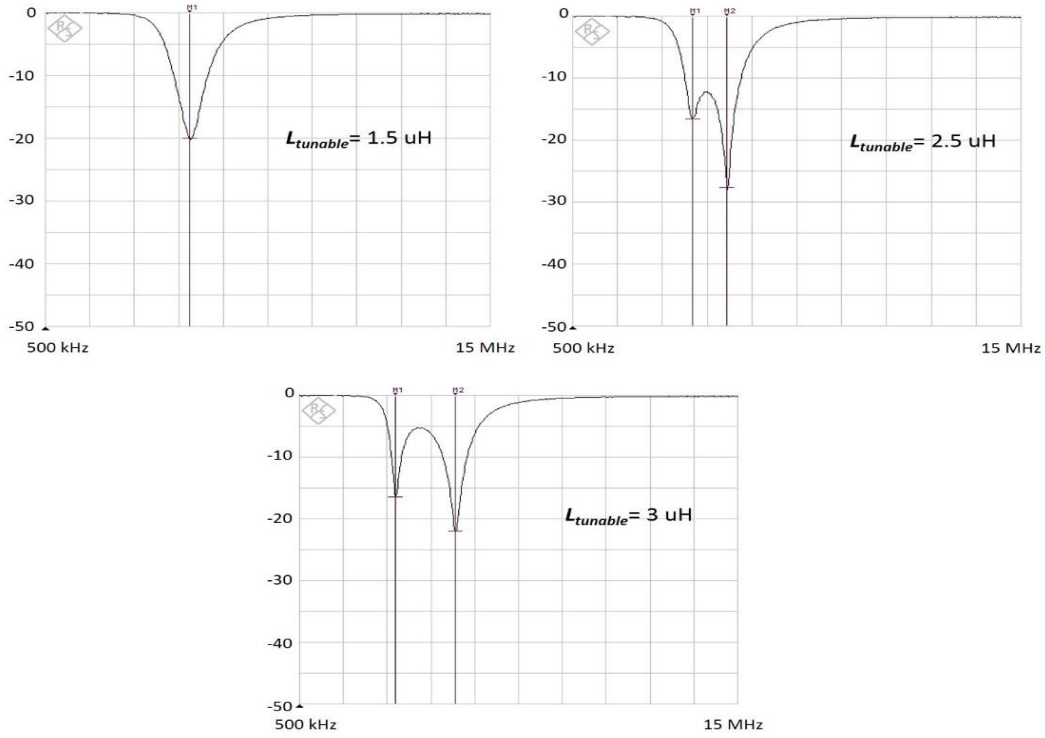


**Şekil 6.** PCB kartlar üzerine üretilmiş yükselteç, yönlü kuplajlayıcı ve kuplajlanmış çevrim çiftlerini temsil eden model devrelerin fotoğrafları.

(**Figure 6.** Photographs for the manufactured amplifier, directional copuler and the circuit that model the resonant coupled loops)

Şekil 7 den görüldüğü üzere, model devre, tınlamada çalışan manyetik olarak kuplajlanmış çevrimlerde olduğu gibi  $L_{tunable}$  değerine bağlı olarak zayıfça ve güçlü kuplajlanmış rejimdeki sırasıyla tek ( $\omega_0$ ) ve çift ( $\omega_{odd}$  ve  $\omega_{even}$ ) tınlama frekanslarının oluşmasını sağlamıştır. Üstelik güçlü kuplajlanma rejimindeki gibi kuplaj seviyesinin artmasıyla frekanslar arası ayrışma da artmaktadır. Örneğin,  $L_{tunable}$  değeri yaklaşık 1.5 uH iken zayıfça kuplajlanma rejimindeki gibi tek bir tınlama frekansı gözlemlenirken ( $\omega_0 \sim 5.05$  MHz).  $L_{tunable}$  bir alyan anahtarı ile mekanik olarak ayarlanarak yaklaşık sırasıyla 2.5 uH ve 3 uH değerlerine ayarlandığında, güçlü kuplajlanma rejimindeki gibi çift tınlama frekansları oluşmakta ve üstelik bu tınlama frekansları  $L_{tunable}$  değerinin artmasıyla ayrışmaktadır. Kısacası, kuplajlanmış çevrim çiftlerinin cevabını temsil eden üretilmiş devrenin giriş yansıma katsayısının  $L_{tunable}$  a göre değişimi, çevrimlerin gerçekte aralarındaki mesafe değişimi sonucu oluşacak giriş yansıma katsayısının değişimine benzemekte ve model devrenin bu çalışmada rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

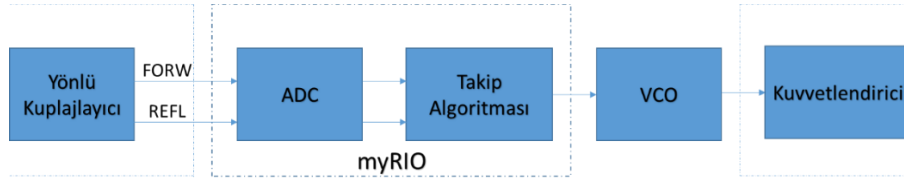




**Şekil 7.** Üretilen çevrimleri temsil eden devrenin sergilediği çeşitli  $L_{tunable}$  değerleri için ölçülen giriş yansıma katsayısı.

(Figure 7. Measured input reflection coefficient for the model circuit for various  $L_{tunable}$  values.)

Yukarıdaki RF devrelere eş zamanlı olarak, kontrol ünitesinin tasarımı da yapılmıştır. Tınlama frekans takip işlemini gerçekleştiren kontrol birimi olarak çift ARM Cortex A9 işlemciye ve Xilinx Zynq 7 Series FPGA tümleşik devre elemanına sahip olan myRIO platformu kullanılmıştır. Şekil 8 de geliştirilen frekans takibi için gerçekleştirilen kontrol biriminin blok şeması görülmektedir.



**Şekil 8.** Kontrol biriminin blok şeması

(Figure 8. Block diagram for the control unit)

Kablosuz güç transfer sisteminin yönlü kuplajlayıcısının FORW ve REFL portlarından gelen, gönderilen ve geri yansıyan gücü temsil eden DC sinyaller kontrol biriminde bulunan analog dijital dönüştürücü (ADC) tarafından örneklenecek ve (1) de verilen denklem kullanılarak yansıma katsayısı ( $\Gamma_{in}$ ) hesaplanmaktadır. Tınlama frekansının takip edilebilmesi için  $\Gamma_{in}$  değerini mümkün olan en düşük değerde tutan VCO frekansının bulunması gerekmektedir. Bunun başarılabilmesi için, bir fonksiyonun yerel minimum değerinin bulunması için kullanılan Gradient Descent Methode (GDM) [18] diye bilinen optimizasyon tekniği kullanılarak bir tınlama frekans takip algoritması geliştirilmiştir. En genel haliyle GDM algoritması (2) deki gibi ifade edilebilir;

$$f_{n+1} = f_n - a_{adım} \cdot \nabla \Gamma_n \quad (2)$$

$$\nabla \Gamma_n = \Gamma_n - \Gamma_{n-1}$$

Burada  $f_n$  VCO nun mevcut frekansını,  $f_{n+1}$  VCO nun bir sonraki frekansını,  $a_{adım}$  arama adım katsayısını,  $\Gamma_n$  mevcut yansıma katsayısını,  $\Gamma_{n-1}$  bir önceki yansıma katsayısını ve  $\nabla\Gamma_n$  ise yansıma katsayısındaki değişimi ifade etmektedir. Genel optimizasyon algoritmalarında olduğu gibi GDM yönteminde de elde edilmek istenen hedef değere ulaşıldığında optimizasyon işlemi sonlandırılır. GDM de sonlandırma ölçütü olarak  $\nabla\Gamma_n \leq \varepsilon$  veya  $f_{n+1} - f_n \leq \varepsilon$  seçilebilir. Fakat kablosuz güç transfer sistemlerinde kuplajlanmış çevrimler arası mesafe gibi çevresel faktörler değişken olduğundan ulaşılması istenen hedef değer olan tınlama frekansı da sabit değildir dolayısıyla optimizasyon algoritmasının gerçek zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Bu nedenle bu değişken hedefi yakalayabilmek için bir GDM sonlandırma ölçütü tanımlanması uygun değildir. Geliştirilen algoritmada frekans takip işlemi gerçek zamanlı olarak sonsuza kadar devam etmektedir. Ayrıca GDM de optimizasyon süresini ve performansını etkileyen en önemli etmen arama adımındır. Genel GDM algoritmasında arama adımı arama adım katsayısı,  $a_{adım}$  ve yansıma katsayısındaki değişim,  $\nabla\Gamma_n$  değerlerine bağlı olarak hedef değere yaklaştıkça oldukça küçülmektedir. Bu hali ile hedef değerde meydana gelen değişimlere optimizasyon algoritmasının tepki verme hızı ve performansı düşmektedir. Çünkü küçük adımlarla yapılan arama işleminin hedef değere ulaşma hızı da düşmektedir. Bu nedenle kablosuz güç transfer sistemi için sabit bir arama adım değerinin seçilmesi uygun olacaktır. Kablosuz güç transfer sistemi için önerilen GDM algoritması (3) de olduğu şekliyle kullanılmaktadır.

$$f_{n+1} = f_n - a_{adım} \cdot \text{sgn}(\nabla\Gamma_n) \quad (3)$$

Burada arama adımının sabit olabilmesi için gradyan değeri yerine gradyanın işareti kullanılmıştır. Böylece aramanın yönü gradyanın işaretine göre değişmektedir. Geliştirilen optimizasyon algoritmasının adımsal işlemleri Tablo 2 de görülmektedir.

**Tablo 2.** Geliştirilen optimizasyon algoritması  
(**Table 2.** Developed optimization algorithm)

Adım	İşlem
1	Başlangıç frekans değerini belirle, $f_{başlangıç}$
2	Başlangıç arama adım katsayısını belirle, $a_{adım}$
3	VCO frekansını ( $f_{VCO}$ ) başlangıç frekans değerine ayarla $f_{başlangıç}$
4	Yansıyan sinyalleri örnekle, $FORW$ , $REFL$
5	Yansıma katsayısını hesapla, $\Gamma(n)$ $\Gamma(n) = REFL / FORW$
6	Yansıma katsayısındaki ( $\Gamma(n)$ ) değişimi hesapla, $\nabla\Gamma$ $\nabla\Gamma = \Gamma(n) - \Gamma(n-1)$
7	$\text{sgn}(\nabla\Gamma_n)$ değerine göre arama adım katsayısının yeni değerini belirle, $a_{adım}$ if $\nabla\Gamma > 0$ then $a_{adım} = -a_{adım}$ else $a_{adım} = a_{adım}$
8	VCO nun yeni frekans değerini belirle, $f_{VCO}$ $f_{VCO} = f_{VCO} + a_{adım}$
9	Yeni $f_{VCO}$ değerini VCO ya yükle
10	4. Adıma git

Algoritma VCO ya yüklenecek başlangıç frekansını,  $f_{başlangıç}$  ve arama adım,  $a_{adım}$  değerini ayarlayarak başlar. Ardından güç transferini başlatmak için VCO ya,  $f_{VCO}$  başlangıç değerini yükler. Daha sonra yansıyan sinyaller,  $FORW$  ve  $REFL$  örneklenir ve buna bağlı olarak da ardışık olarak yansıma katsayısı,  $\Gamma$  ve yansıma katsayısındaki değişim,  $\nabla\Gamma$  hesaplanır. Tınlama frekansının arama adım değeri  $a_{adım}$  sabit olduğundan yansıma katsayısındaki değişimin yönüne bağlı olarak aramanın yönü ayarlanır. Eğer yansıma katsayısındaki değişim pozitifse yani yansıma katsayısı büyüyor ise yanlış yönde frekans araması yapılıyor demektir ve bu nedenle arama adım değerinin işareti ters çevrilerek arama yönü değiştirilir. Eğer yansıma katsayısındaki değişim negatifse yani yansıma katsayısı küçülüyor ise frekans araması doğru yönde

yapılıyor demektir dolayısıyla arama adım değerinin işareti aynen bırakılır. Sign ve bölme gibi karmaşık işlemler kullanılmadan grandyanın tersi yön bulunmuş olur. Bu da hesaplama süresinin kısa olmasını sağlar. Daha sonra ardışık olarak yeni VCO frekans değeri hesaplanır ve bu bulunan frekans değeri VCO ya yüklenir. Son olarak algoritma dinamik tınlama frekansını sürekli olarak takip edebilmek için 4. adıma geri dönerek sosuz döngüye girer.

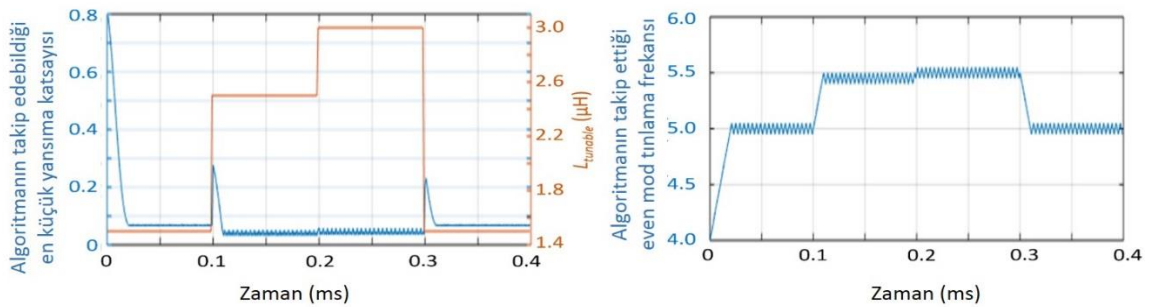
#### 4. BULGULAR (FINDINGS)

Geliştirilen tınlama frekansını takip algoritmasının testi, üretimi yapılan ve ölçüm sonuçları yukarıda verilen temsili devre modeli üzerinden benzetim ortamında yapılmıştır. Bu benzetimde  $\Gamma_{in}$  ve giriş empedansı ( $Z_{in}$ ) Şekil 4 deki model devre parametreleri cinsinden ve frekansa bağlı olarak denklem (4) ve (5) deki gibi bulunabilmektedir.

$$Z_{in} = \frac{(R_L + R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L) \cdot j\omega L_{tunable}}{R_L + R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L + j\omega L_{tunable}} + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R \quad (4)$$

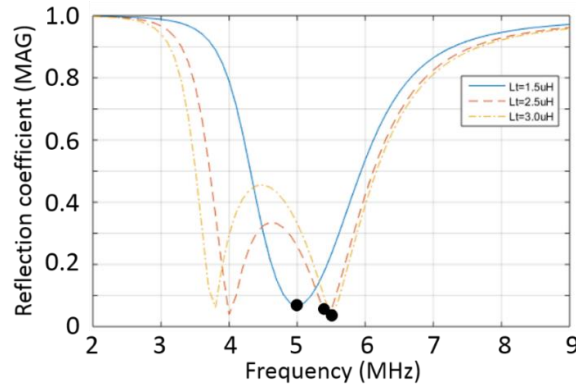
$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - R_s}{Z_{in} + R_s} \quad (5)$$

(4) ve (5) deki denklemde,  $R_L$  devrenin çıkışına bağlanan ve yükü temsil eden yük direnci,  $R_s$  ise kaynak direncidir. Yapılan benzetimde başlangıç frekansı,  $f_{başlangıç}$  ve arama adım değeri,  $a_{adım}$  sırasıyla 4 MHz ve 50 kHz olarak seçilmiştir. Kuplajlanmış çevrimler arası mesafeyi temsil eden  $L_{tunable}$  değeri gerçek uygulamalarda oluşabilecek mesafe değişimlerinin etkisini oluşturabilmek için benzetim süresince değiştirilmiştir. Benzetim 400 milisaniye için yapılmış ve  $L_{tunable}$  değeri 100 milisaniye aralıklarla sırasıyla 1.5 uH, 2.5 uH, 3.0 uH ve tekrar 1.5 uH olarak değiştirilmiştir. Benzetim sonucunda algoritma tarafından takip edilen minimum yansıma katsayısı ve buna bağlı olarak oluşan tınlama frekansı değerleri Şekil 9 da verilmektedir. Buradan görüldüğü gibi tınlama frekansını takip algoritması oldukça hızlı bir şekilde mümkün olan en küçük yansıma katsayısını ve bunu sağlayan tınlama frekansını takip edebilmektedir. Algoritma sürekli ve dinamik olarak minimum yansıma katsayısını takip etmeye çalıştığı için mümkün olan en küçük yansıma katsayısını sağlayan frekans değeri civarında küçük salınımlar yapmaktadır. Bu özelliği sebebi ile  $L_{tunable}$  değeri değiştiği anda tekrar yeni tınlama frekansını hızlı bir şekilde yakalanabilmektedir. Benzetimde kullanılan  $L_{tunable}$  değerleri için temsili devre üzerinden yapılan ölçümler, takip edilen tınlama frekans değerlerinin doğruluğunun görülmesi için Şekil 10 de verilmektedir. Görüldüğü üzere takip edilen tınlama frekans değerleri gerçek değerlere oldukça yakındır.



**Şekil 9.** Algoritmanın takip ettiği (a) çeşitli  $L_{tunable}$  değerlerinde minimum  $\Gamma_{in}$  değerleri, ve bu  $\Gamma_{in}$  değerlerindeki (b) tınlama frekansları

(Figure 9. (a) Tracked minimum  $\Gamma_{in}$  values for various  $L_{tunable}$  values and (b) corresponding resonance frequencies )



**Şekil 10.** Model devrenin benzetimlerinden elde edilen  $L_{tunable} = 1.5 \mu H$ ,  $2.5 \mu H$  ve  $3 \mu H$  değerleri için  $\Gamma_{in}$  değerleri.

(Figure 10. The obtained  $\Gamma_{in}$  values for  $L_{tunable} = 1.5 \mu H$ ,  $2.5 \mu H$  and  $3 \mu H$  from simulation of circuit model)

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, çevresel etkenlerden ya da çalışma esnasındaki parametre değişimlerinden dolayı istemsiz olarak değişim gösteren tınlama frekansının takip edebilecek genel amaçlı bir RF tınlama takip edicisi önerilmiştir. Önerilen bu takip edici örnek bir kablosuz güç transferi için kısmi olarak geliştirilmiştir. Gerçeklenen kısımlar RF devreler ve kontrol birimidir. Lakin, RF devreler ve kontrol birimi uygun RF detektörler ile henüz entegre edilmediği için kontrol birimine girdi olarak alınan  $\Gamma_{in}$  değerleri model devreden elde edilen değerlerdir. Gelecekte planlanan ilk çalışma uygun RF detektör ya da RF düzelticilerin tasarlanıp üretilmesi ya da satın alma yolu ilde temin edilmesi ile tüm sistemin entegre edilip deneysel ortamda test edilmesidir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. C. Ruby, P. Bradley, Y. Oshmyansky, A. Chien and J. D. Larson, "Thin film bulk wave acoustic resonators (FBAR) for wireless applications", **IEEE Ultrasonics Symposium, 2001**, Atlanta, GA, pp. 813-821 vol.1, 2001.
- [2] S. A. Sis, S. Lee, V. Lee and A. Mortazawi, "An Intrinsically Switchable, Monolithic BAW Filter Using Ferroelectric BST", **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**, vol. 26, no. 1, pp. 25-27, Jan. 2016
- [3] F. Vanhelmont, P. Philippe, A. B. M. Jansman, R. F. Milsom, J. J. M. Ruigrok and A. Oruk, "4D-3 A 2 GHz Reference Oscillator incorporating a Temperature Compensated BAW Resonator", **2006 IEEE Ultrasonics Symposium**, Vancouver, BC, pp. 333-336, 2006.
- [4] Erdil, E., Topallı, K., Ünlü, M., Çivi, Ö. A., Akın, T., & Kurulu, S. P., "Rf Mems Kapasitörler İle Rezonans Frekansı Ayarlanabilen Antenler", *URSI*, ss. 404-406, 2006.
- [5] Erdil, Emre, and Özlem Aydın Çivi. "Rf Mems Teknolojisi İle Rezonans Frekansı Ayarlanabilir Mikroşerit Yama Anten", *URSI*, ss. 351-353, 2006.
- [6] Brank, J., Yao, J., Eberly, M., Malczewski, A., Varian, K., & Goldsmith, C. "RF MEMS-based tunable filters", *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 11(5), 276-284, 2001.
- [7] Dec, Aleksander, and Ken Suyama. "Microwave MEMS-based voltage-controlled oscillators" *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48.11: 1943-1949, 2000.

- [8] V. Lee, S. Lee, S. A. Sis and A. Mortazawi, "Switchable dual-frequency barium strontium titanate film bulk acoustic resonators", **2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)**, Tampa, FL, pp. 1-4, 2014.
- [9] Wang, M. and Sun, Y., "A Practical, Precise Method for Frequency Tracking and Phasor Estimation", *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 19, No. 4, 1547-1552, 2004
- [10] Furuya, S., Maruhashi, T., Izuno Y. and Nakaoka, M., "Load-Adaptive Frequency Tracking Control Implementation of Two-Phase Resonant Inverter for Ultrasonic Motor", *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 7, No. 3, 542-550, 1992
- [11] Yang, X., "Booster High-level RF Frequency Tracking Improvement Via the Bias-Curve Optimization", FERMLAB-TM-2270-AD
- [12] Thomas, D.W. and Woolfson, M.S., "Evaluation of Frequency Tracking Methods", *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 16, No. 3, 367-371, 2001
- [13] Li, Y.M., Cha, S.S., Kim, H.S., Seol, K.T. and Cho, Y.S., "Design and Test of a Resonance Control System for Suppressing the Pump Vibration Effects for the PEFP 13-MHz RF Cavity", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 63, No. 10, 1901-1906, 2013
- [14] Rosa, Edward Bennett, "The self and mutual inductances of linear conductors", US Department of Commerce and Labor, Bureau of Standards, 1908.
- [15] E. M. Thomas, J. D. Heebl, C. Pfeiffer and A. Grbic, "A Power Link Study of Wireless Non-Radiative Power Transfer Systems Using Resonant Shielded Loops", **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers**, vol. 59, no. 9, pp. 2125-2136, Sept. 2012.
- [16] SIS, Seyit Ahmet, "Ferroelectric-on-Silicon Switchable Bulk Acoustic Wave Resonators and Filters for RF Applications", *PhD Thesis*, The University of Michigan, 2014.
- [17] W. D. Beaver, "Theory and design principles of the monolithic crystal filter: UMI Dissertation Service", 1988.
- [18] Snyman, J.A., "Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms", Springer Publishing, 2005



## Akımsız Ni-B Kaplanmış Demir Esaslı Toz Metal Kompaktların Sertlik ve Yapısal Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi

Ulaş MATİK<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050, Merkez/KARABÜK

### Öz

Demir esaslı toz metal (TM) kompaktlar üzerine akımsız kaplama yöntemi ile kaplanan Ni-B alaşımının morfolojisi, yapısı ve mikro sertliği incelendi. Kaplanmış numunelerin bir kısmına farklı sıcaklıklarda (300, 400 ve 500 °C) 1 saat süre ile izotermal ısıl işlem uygulandı. Kaplamaların fazları ve morfolojisi x-ışını kırınım analizi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Faz dönüşüm davranışı ve sıcaklıkları diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile belirlendi. Ni-B kaplamalar ve TM kompaktların mikrosertlikleri Qness Q10 micro vickers test cihazı kullanılarak ölçüldü. Sonuçlar, Ni-B kaplamanın kaplanmış halde amorf bir yapıya sahip olduğunu, fakat ısıl işlem sonucu kristal yapıya dönüştüğünü gösterdi. Nikel matriste nikel borürlerin (Ni<sub>2</sub>B, Ni<sub>3</sub>B) çökelmesi ve bu çökeltilerin sertlik artışına neden olduğu tespit edildi. Maksimum sertlik 400 °C'de ısıl işlem uygulanmış Ni-B kaplamada elde edildi.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 23/10/2016

Düzeltilme: 07/03/2017

Kabul: 13/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Akımsız kaplama

Ni-B kaplama

Isıl işlem

Sertlik

Toz Metalürjisi

### Keywords

Electroless coating

Ni-B coating

Heat treatment

Hardness

Powder Metallurgy

### Abstract

The Ni-B alloy deposited on ferrous powder metal compacts by electroless coating method and its morphology, structure and microhardness were investigated. Some of the coated specimens were heat treated at different temperatures (300, 400 and 500 °C) as isothermal for 1 h. The phases and morphology of coatings were examined by x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Phase transformation behavior was studied by differential scanning calorimetry (DSC). Microhardness of Ni-B coatings and PM compacts were evaluated using a Qness Q10 micro Vickers tester. The results showed that, Ni-B coating had an amorphous structure in the coated state but after heat treatment, it turned into a crystalline structure. It was found that nickel borides (Ni<sub>2</sub>B, Ni<sub>3</sub>B) precipitated in the nickel matrix. It was determined that precipitation has caused the increase of hardness. The maximum hardness was provided in the heat treated Ni-B coating at 400 °C.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz metalürjisi bazı küçük yapısal parçaların üretimi için tercih edilen ve hızla büyüyen bir teknolojidir [1]. TM parçalar çalışma şartlarında yaygın olarak aşınma, yuvarlanma ve kayma gibi etkilere maruz kalmaktadırlar [2]. Bu sebeple, sertlik ve aşınma direnci bu parçalar için önemli mekanik özelliklerdendir [3]. Demir esaslı TM parçaların aşınma direncini arttırmak amacıyla matris yapının sert partiküllerle takviye edilmesi, alaşımlama, ısıl işlem ve çeşitli yüzey uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. TM parçaların yüzey sertliği ve aşınma direncini arttırmak için uygulanan diğer bir yöntem ise akımsız kaplama tekniğidir [1,4,5].

Akımsız kaplama; sulu bir çözeltide indirgeyici madde ile metal tuzu arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu metal iyonlarının altlık bir malzeme üzerine metal atomu halinde biriktirilmesi tekniğidir [6]. Akımsız Ni-B kaplamalar yüksek sertlik ve süper aşınma direncine sahiptir [7]. Akımsız Ni-B kaplamaların yapısı kaplanmış halde genellikle amorf ve nanokristal fazların karışımından oluşur ve kaplamanın bor

\*İletişim yazarı, e-mail: matik@karabuk.edu.tr

içeriğinin artması ile amorf faz miktarı da artar [8]. Ayrıca, kaplamanın sertliği bor içeriğine bağlıdır ve kaplamadaki bor miktarı arttıkça sertlikte artar [9–11]. Isıl işlem ise kaplamanın sertlik ve yapısında dolayısıyla mekanik özellikleri üzerinde güçlü etkiye sahiptir [12]. Optimum ısıl işlem (genellikle 400 °C’de 1 saat) kaplamanın sertliğinde önemli bir artış meydana getirmektedir ve 1200 HV<sub>100</sub> sertlik değerine ulaşıldığı rapor edilmektedir [10].

Yapılan çalışmada, akımsız Ni-B kaplama ve kaplamanın kristalizasyon özelliklerinden faydalanılarak demir esaslı TM parçaların yüzey sertliğinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, akımsız Ni-B kaplanmış ve farklı sıcaklıklarda 1 saat süreyle izotermal ısıl işlem uygulanmış toz metal kompaktlara çeşitli test ve analizler uygulanarak ısıl işlemlerin kaplamanın yapısı ve sertlik özellikleri üzerindeki etkileri incelendi.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

TM kompaktların hazırlanması amacıyla yüksek saflıktaki (< %0.01 C, kalan Fe) atomize demir tozuna (ASC 100.29, Höganäs, Sweden) ağırlıkça % 0,5 oranında grafit ( $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$ , Alfa Aesar) ilave edildi. Tozlar homojen bir karışım elde etmek amacıyla üç eksenli karıştırıcıda (Turbula T2F) 60 dakika süreyle karıştırıldı. Bu karışım tozlar, tek eksenli presleme ile 800 MPa basınç altında, Ø12x12 mm boyutlarında preslenerek ham kompaktlar elde edildi. Ham kompaktlar atmosfer kontrollü fırın kullanılarak yüksek saflıkta argon atmosferi altında 1120 °C’de 45 dakika süreyle sinterlendi. Sinterlenmiş kompaktların yoğunluk değerleri yüksek hassasiyetli ( $\pm 0,0001 \text{ g}$ ) terazi (Precisa XB220 A) ve yoğunluk kiti kullanılarak belirlendi. TM kompaktların ölçülen ( $\rho_{Deneyisel}$ ) ve teorik ( $\rho_{Teorik}$ ) yoğunluk değerlerine bağlı, ortalama gözenek miktarları Eş. 1’e göre hesaplandı.

$$\% \text{ Gözenek} = \left( 1 - \frac{\rho_{Deneyisel}}{\rho_{Teorik}} \right) \times 100 \quad 2.1$$

Kaplama işlemlerinden önce, TM kompaktlar sırasıyla 800, 1000 ve 1200 mesh zımpara kâğıtları ile polisaj yapıldıktan sonra 2 dakika süreyle alkol içerisinde ultrasonik yağ alma işlemine tabi tutuldu. Alkol içerisinde yağlardan arındırılan kompaktlar 60 °C sıcaklıktaki alkali çözeltiyle (50 g/l NaOH ve 10 g/l Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 1 dakika süreyle yıkandı. Alkali temizleme işleminden sonra saf su ile yıkanan kompaktlar oda sıcaklığındaki asit çözeltisine daldırıldı. TM kompaktların pürüzlü yüzeylerini daha düzgün hale getirmek ve Ni-B kaplama ile kompakt arasındaki bağ kuvvetini arttırmak amacıyla, Ni-B kaplama işleminden önce 10 dakika süreyle düşük fosforlu Ni-P kaplama işlemi uygulandı. Ni-P çözeltisinden çıkartılan numuneler saf su ile yıkandıktan sonra doğrudan Ni-B kaplama çözeltisine daldırılarak 90 dakika süreyle kaplama işlemine tabi tutuldu. Ni-P ve Ni-B kaplama banyolarının kimyasal kompozisyonları ve çalışma parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ni-P kaplama banyosu ve çalışma parametreleri

NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	35 g/l
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	10 g/l
Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ·2H <sub>2</sub> O	65 g/l
NH <sub>4</sub> Cl	50 g/l
NH <sub>4</sub> OH	pH için
pH	9
Sıcaklık	82 °C
Zaman	10 min.

**Tablo 2.** Ni-B kaplama banyosu ve çalışma parametreleri

NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	30 g/l
C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	90 g/l
NaOH	90 g/l
NaBH <sub>4</sub>	1.2 g/l
Tl <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14 mg/l
pH	14
Sıcaklık	95 °C
Zaman	90 min.

Kaplama işlemlerinden sonra, ısıl işlemin kaplamanın yapısı ve sertliği üzerindeki etkilerini tespit etmek amacıyla kaplanmış numunelerin bir kısmına 300, 400 ve 500 °C'de 1 saat süreyle izotermal ısıl işlem uygulandı.

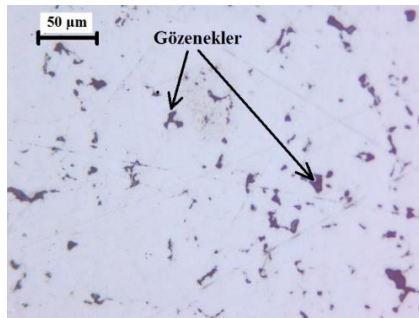
Kaplamaların yapısı, morfolojisi ve kimyasal kompozisyonları taramalı elektron mikroskobu (SEM), (Carl Zeiss ULTRA FESEM) ile analiz edildi. Kaplamanın kristalleşme sıcaklığı diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), (TA Instruments TG/DTA Q600) analizi ile belirlendi. DSC analizi Ar atmosferi altında, 40-520 °C sıcaklık aralığında ve 10 °C/min ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış ve ısıl işlem uygunmuş kaplamaların faz ve bu fazlara ait kristal kafes yapıları X-ışını kırınım analizi (XRD), (Rigaku Ultra IV XRD) Cu K $\alpha$  radyasyonu uygulanarak tespit edildi. Kaplamaların sertlikleri Qness Q10 Micro Vickers Tester mikrosertlik cihazı ile kaplama kesitlerine 10 s süreyle 100 gf yük uygulanarak ölçüldü.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Ağırlıkça %0,5 grafit ilave edilerek üretilen TM kompaktların kimyasal kompozisyonu Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen kompaktların kimyasal bileşimi başlangıç tozlarına oldukça yakın değerlerde elde edilmiştir. Bu sonuç, üretim süreçlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinin ve bu süreçlerden kompaktların kimyasal yapısının olumsuz yönde etkilenmediğinin bir kanıtı olarak değerlendirilebilir. Şekil 1'de TM kompaktların optik mikroskopla elde edilmiş mikro yapısı görülmektedir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi TM kompaktlar oldukça küçük boyutlu ve homojen şekilde dağılmış gözenekli bir yapıya sahiptir. Kompaktların hesaplanan teorik yoğunluğu yaklaşık 7,77 g/cm<sup>3</sup> iken, yoğunluk ölçümleri gerçek yoğunluğun yaklaşık 7,34 g/cm<sup>3</sup> olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, kompaktların ortalama %5,5 oranında gözenek ihtiva ettiğini göstermektedir.

**Tablo 3.** TM kompaktların kimyasal kompozisyonu

Elementler (wt.%)									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	P	S	Fe
0,63	0,21	0,10	0,05	0,03	0,08	0,16	<0,001	0,03	Bal.

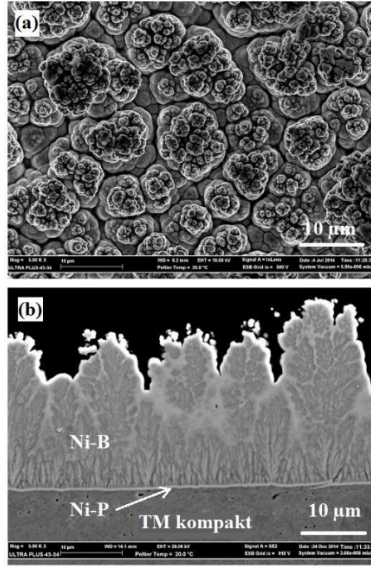


**Şekil 1.** TM kompaktın optik görüntüsü

Ni-B kaplanmış numunelerin yüzey ve kesit SEM görüntüleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2-b'de verilen kaplama kesitinden de anlaşılacağı üzere Ni-B kaplama sütun şeklinde büyüme özelliği göstermektedir. Sütun şeklindeki bölgeler, kimyasal indirgenme esnasında atomsal birikmenin daha hızlı olduğu bölgeler olarak değerlendirilebilir. Atomsal birikmenin homojen şekilde meydana gelmemesinden dolayı da oldukça pürüzlü ve birçok araştırmacı tarafından ifade edilen karnabahar benzeri [13–17] bir yüzey görünümü sergilemektedir (Şekil 2-a). Ni-B kaplamaların bu sütun şeklindeki yapısı aşınma koşullarında temas yüzey alanını küçültmekle birlikte pürüzlü yüzeydeki boşluklara yerleşecek yağlayıcılar sürtünme katsayısını da düşürmektedir [10]. Ni-B kaplama ile TM kompakt arasında yer alan Ni-P kaplama ise oldukça uyumlu ve üniform kaplama kalınlığına sahip bir ara yüzey meydana getirmiştir. Kaplama kalınlıkları değerlendirildiğinde 10 dakikalık kaplama işlemi sonucunda Ni-P kaplamada yaklaşık 0,43 µm, Ni-B kaplamada ise 90 dakikalık kaplama işlemi sonucunda üniform olmamakla beraber yaklaşık 20 µm kaplama



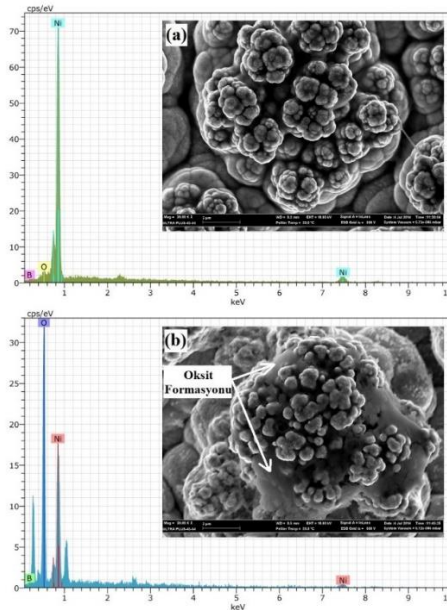
kalınlığı elde edilmiştir. Ancak Ni-B kaplamada sütun şeklindeki bölgelerde 27  $\mu\text{m}$  kaplama kalınlığına sahip bölgelerin mevcudiyeti de tespit edilmiştir.



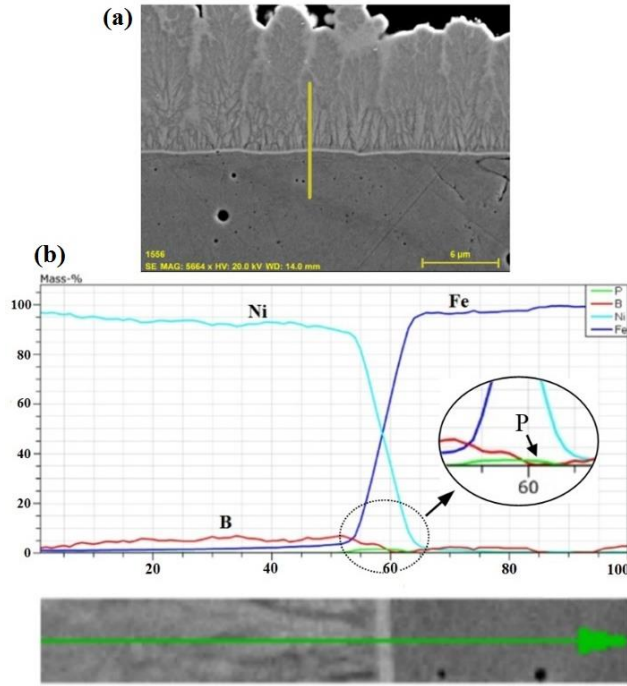
**Şekil 2.** Ni-B kaplanmış TM kompaktların yüzey ve kesit morfolojisi

Isıl işlem uygulanmış (500 °C) ve uygulanmamış numune yüzey morfolojilerine ait SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Uygulanan ısıl işlemler kaplama morolojinde önemli bir değişikliğe neden olmazken özellikle 500 °C'de ısıl işlem uygulanmış numune yüzeylerinde (Şekil 3-b) oksit film oluşumları tespit edilmiştir.

Ni-B/Ni-P/TM kesitinin çizgisel EDX analizi Şekil 4'te verilmiştir. EDX sonuçlarına göre Ni-P kaplama ağırlıkça % 4,8 P ve % 95,2 Ni içerirken, Ni-B kaplama ağırlıkça % 5,7 B ve % 94,3 Ni içermektedir. EDX sonuçları ayrıca Ni-B kaplamanın kimyasal kompozisyonunun kaplama kesiti boyunca homojen bir dağılım göstermediğini de ortaya koymaktadır. Kimyasal kompozisyondaki bu farklılıklar, kaplama çözeltisinin tazeliğini zamanla kaybetmesi ve çalışma parametrelerinde ki (sıcaklık, pH vb.) değişikliklerden ileri gelmektedir [18].

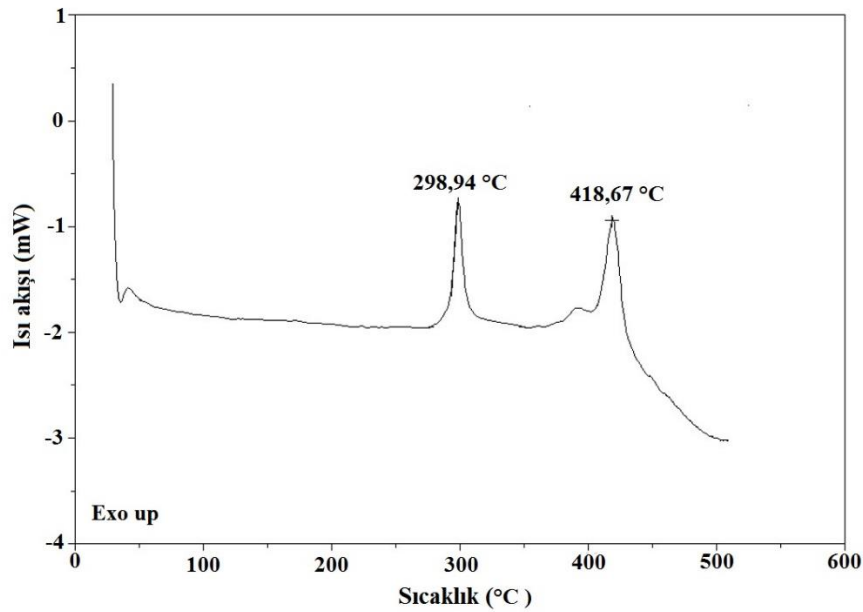


**Şekil 3.** Ni-B kaplamanın (a) kaplanmış ve (b) 500 °C'de ısıl işlem uygulanmış haldeki yüzey morfolojisi ve EDX analizi

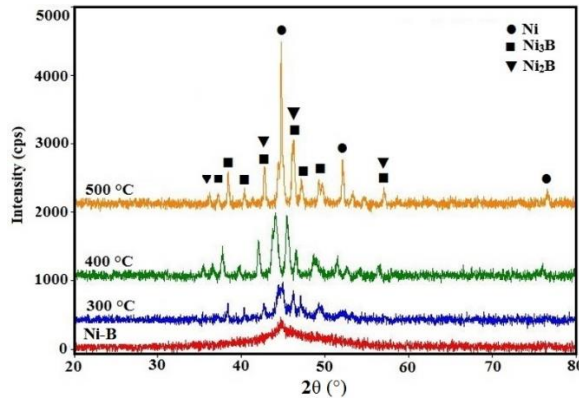


**Şekil 4.** Ni-B/Ni-P/TM kompakt ara yüzeyinin (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX analizi

Şekil 5'te Ni-B kaplamanın 10 °C/min ısıtma hızında ki DSC termal analiz eğrisi görülmektedir. Ni-B kaplamanın DSC eğrisi, biri 298 °C'de diğeri 418 °C'de olmak üzere iki ekzotermik pike sahiptir. Birinci ekzotermik pik Ni ve Ni<sub>3</sub>B fazlarının [11,16], ikinci ekzotermik pik ise Ni<sub>2</sub>B fazının oluşumunu göstermektedir [12,16,19–22]. Literatür çalışmaları ekzotermik pik sayısının kaplamanın bor içeriğine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ağırlıkça %5'ten daha fazla bor içeren kaplamalarda, yaklaşık 300 °C'de Ni ve Ni<sub>3</sub>B oluşumlarının yanı sıra, 400 °C'nin üzerinde Ni<sub>2</sub>B faz oluşumu meydana gelmektedir [15, 18]. Bu nedenle, DSC analiz sonucu kaplamanın % 5'ten daha fazla bor içerdiğinin bir kanıtı olarak değerlendirilebilir. Sıcaklığa bağlı faz oluşumları XRD analiz sonuçlarında da görülebilir (Şekil 6).



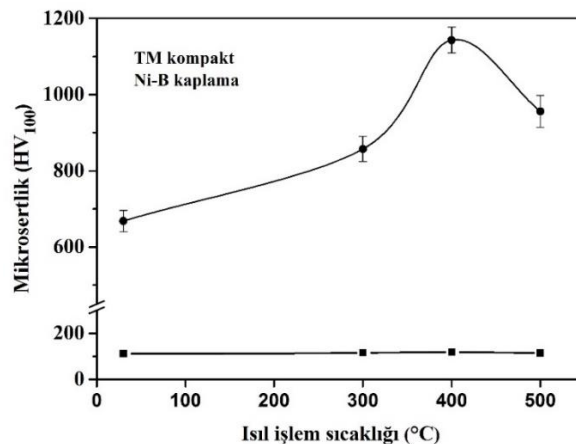
**Şekil 5.** Ni-B kaplamanın DSC eğrisi



Şekil 6. Ni-B kaplamaların XRD kırınım desenleri

Şekil 6'da kaplanmış ve ısıl işlem uygulanmış koşullardaki Ni-B kaplamanın XRD kırınım desenleri karşılaştırılmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, kaplanmış haldeki Ni-B kaplamanın XRD kırınım analizinde amorf maddelerde elde edilen  $35^\circ$  ile  $55^\circ$  geniş ve basık bir pik elde edilmiştir. Ayrıca geniş pik üzerinde yaklaşık  $45^\circ$ 'de kristalin nikel için küçük bir pikin varlığı da dikkat çekmektedir. Bu da Ni-B kaplamanın kaplanmış halde amorf ve kristal fazların karışımından oluştuğunu göstermektedir. Amorf Ni-B kaplama  $300^\circ\text{C}$ 'de ısıl işlem uygulandıktan sonra yüzey-merkezli-kübik Ni ve ortorombik kristal kafes yapısına sahip  $\text{Ni}_3\text{B}$  fazları halinde kristalize olmaktadır.  $400^\circ\text{C}$ 'de uygulanan ısıl işlem Ni ve  $\text{Ni}_3\text{B}$  yansımalarının daha keskin hale gelmesine ve tetragonal  $\text{Ni}_2\text{B}$  fazının oluşumuna neden olmaktadır.  $500^\circ\text{C}$ 'de ki ısıl işlem sonrası, Ni,  $\text{Ni}_3\text{B}$  ve  $\text{Ni}_2\text{B}$  yansımaları daha keskin hale gelmekte ve çok iyi bilinen kırınım piklerine dönüşmektedir. Şekil 6 ayrıca, kaplamadaki amorf fazın ısıl işlem sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığını ve  $500^\circ\text{C}$ 'de tamamen kristalize olduğunu da göstermektedir.

Vickers sertlik testleri, TM kompaktların ve Ni-B kaplamanın ortalama sertlik değerlerinin sırasıyla 112 ve 668  $\text{HV}_{100}$ , olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 7). Bütün ısıl işlem sıcaklık değerlerinde TM kompaktların sertliğinde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Ni-B film kaplanmış halde yumuşak yüzey-merkezli-kübik Ni fazında borun bir nano yapıya aşırı doymuş katı çözeltisi iken  $300^\circ\text{C}$ 'de intermetalik  $\text{Ni}_3\text{B}$  fazının oluşumu nedeniyle sertlik artmaktadır. Ni-B kaplamanın sertliği  $400^\circ\text{C}$  uygulanan ısıl işlem sonucu en yüksek değere ( $1143 \text{HV}_{100}$ ) ulaşmaktadır.  $400^\circ\text{C}$ 'de sertlikte meydana gelen bu artışa intermetalik  $\text{Ni}_3\text{B}$  ve  $\text{Ni}_2\text{B}$  fazlarının oluşumu sonucu meydana gelen çökeltme sertleşmesi neden olmaktadır.  $500^\circ\text{C}$ 'de uygulanan ısıl işlem kaplamadaki mikro gerilmelerin azalmasına ve tane büyümesine neden olduğundan kaplamanın sertliği azalmaktadır [4]. Fakat meydana gelen tane büyümesi sınırlı bir şekilde meydana gelmekte ve tane boyutu nanokristal seviyesinde kalmaktadır [10]. Bu da sertliğin aşırı düşmesini engellemektedir. Literatür çalışmalarında kaplanmış halde Ni-B kaplamaların sertliğinin  $500\text{-}1170 \text{HV}_{100}$  arasında değiştiği rapor edilmektedir. Kaplamaların sertlikleri kompozisyon, ısıl işlem koşulları, sertlik ölçüm metodu ve altlık malzeme gibi değişkenlere bağlı olarak geniş bir aralıkta değiştiğinden, bu değerleri karşılaştırmak oldukça zor görünmektedir [10].



Şekil 7. Mikrosertliğin ısıl işlem sıcaklığına bağlı değişimi

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, demir esaslı TM kompaktlar üzerine kaplanmış Ni-B kaplamanın sertlik ve yapısal özelliklerine sıcaklığın etkisi incelendi. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Ni-P ve Ni-B alaşım kaplamalar akımsız kaplama tekniği ile başarılı bir şekilde demir esaslı TM kompaktlar üzerine kaplanmaktadır.
- Ni-B kaplama sütun şeklinde bir büyüme gösterirken, karnabara benzer bir yüzey morfolojisine sahiptir.
- Ni-B kaplamalar kaplanmış halde amorf ve kristalin fazların karışımında bir yapıya sahiptir.
- Amorf Ni-B kaplama ısıtılma işlem sonrası yüzey-merkezli-kübik Ni, ortorombik Ni<sub>3</sub>B ve tetragonal Ni<sub>2</sub>B şeklinde kristalize olmaktadır.
- Ni-B kaplamaların sertliği 400 °C'de uygulanan 1 saatlik izotermal ısıtılma işlem sonrası maksimum değerine ulaşmaktadır (1143 HV<sub>100</sub>).
- Isıl işlemler sonrası nikel matris yapıda nikel borür fazların çökmesi sertlikte artışa neden olmaktadır.
- 500 °C'de uygulanan ısıtılma işlem kaplamada tane büyümesine ve mikro gerilmelerin azalmasına neden olduğundan sertliğin düşmesine neden olmaktadır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmadaki test ve analizler Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin finansal desteği ile gerçekleştirilmiştir (Proje No: KBÜ-BAP-14/1-DS-058)

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Etaat, M. Emamy, M. Ghambari, and E. Fadaei, Surface treatment and nickel plating of iron powder metallurgy parts for corrosion protection. *Materials and Design*, 30:9 (2009) 3560–3565.
- [2] S. Senthur Prabu, S. Prathiba, M. A. Asokan, A. Jain, N. K. Jain, and P. K. Chourasiya, Investigations on dry sliding wear behaviour of Sintered/Extruded P/M Alloy Steels (Fe-C-W-Ti). *Procedia Engineering*, 97 (2014) 2119–2126.
- [3] K. V. Sudhakar, P. Sampathkumaran, and E. S. Dwarakadasa, Dry sliding wear in high density Fe–2%Ni based P/M alloys. *Wear*, 242:1–2207–212, 2000.
- [4] U. Matik, Structural and wear properties of heat-treated electroless Ni-P alloy and Ni-P-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite coatings on iron based PM compacts. *Surface and Coatings Technology*, 30:2 (2016) 528–534.
- [5] D. Singh and R. K. Dube, Electroless nickel coating of sintered iron compacts. *Powder Metallurgy*, 38:1 (1995) 52–54.
- [6] W. Sha, X. Wu, and K. G. Keong, Electroless copper and nickel–phosphorus plating Processing, characterisation and modelling. Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [7] B. Oraon, G. Majumdar, and B. Ghosh, Improving hardness of electroless Ni–B coatings using optimized deposition conditions and annealing. *Materials & Design*, 29:7 (2008) 1412–1418.
- [8] V. Vitry, A.-F. Kanta, and F. Delaunois, Mechanical and wear characterization of electroless nickel–boron coatings. *Surface and Coatings Technology*, 206:7 (2011) 1879–1885.
- [9] P. Sahoo and S. K. Das, Tribology of electroless nickel coatings - A review. *Materials and Design*, 32:4 (2011) 1760–1775.

- [10] V. Vitry and F. Delaunois, Nanostructured electroless nickel-boron coatings for wear resistance. in *Anti-Abrasive Nanocoatings*, Elsevier, 2015.
- [11] U. Matik and R. Çıtak, Influence of the heat treatment on hardness and adhesive wear performance of Ni-P deposit with low phosphorus content. *Materials Testing*, 57:5 (2015) 431–436.
- [12] M. Anik, E. Körpe, and E. Şen, Effect of coating bath composition on the properties of electroless nickel-boron films. *Surface and Coatings Technology*, 202:9 (2008) 1718–1727.
- [13] F. Delaunois, J. P. Petitjean, P. Lienard, and M. Jacob-Duliere, Autocatalytic electroless nickel-boron plating on light alloys. *Surface and Coatings Technology*, 124:2–3 (2000) 201–209.
- [14] K. Brunelli, M. Dabalà, F. Dughiero, M. Magrini, M. Dabala, F. Dughiero, and M. Magrini, Diffusion treatment of Ni-B coatings by induction heating to harden the surface of Ti-6Al-4V alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 115:1 (2009) 467–472.
- [15] K. Krishnaveni, T. S. N. Sankara Narayanan, and S. K. Seshadri, Electrodeposited Ni–B coatings: Formation and evaluation of hardness and wear resistance. *Materials Chemistry and Physics*, 99:2–3 (2006) 300–308.
- [16] I. Baskaran, R. Sakthi Kumar, T. S. N. Sankara Narayanan, and A. Stephen, Formation of electroless Ni–B coatings using low temperature bath and evaluation of their characteristic properties. *Surface and Coatings Technology*, 200:24 (2006) 6888–6894.
- [17] F. Bülbül and L. E. Bülbül, Fabrication of antibacterial and hydrophilic electroless Ni–B coating on 316L stainless steel. *Applied Physics A*, 122:1, (2016) 1-15.
- [18] V. Vitry, A.-F. Kanta, and F. Delaunois, Initiation and formation of electroless nickel–boron coatings on mild steel: Effect of substrate roughness. *Materials Science and Engineering: B*, 175:3( 2010) 266–273.
- [19] T. S. N. Sankara Narayanan and S. K. Seshadri, Formation and characterization of borohydride reduced electroless nickel deposits. *Journal of Alloys and Compounds*, 365:1–2 (2004) 197–205.
- [20] S. Pal, N. Verma, V. Jayaram, S. K. Biswas, and Y. Riddle, Characterization of phase transformation behaviour and microstructural development of electroless Ni-B coating. *Materials Science and Engineering A*, 528:28 (2011) 8269–8276.
- [21] H. H. Li, H. H. Li, W. Dai, and M. Qiao, Preparation of the Ni-B amorphous alloys with variable boron content and its correlation to the hydrogenation activity. *Applied Catalysis A: General*, 238:1 (2003) 119–130.
- [22] X. Cheng, Q. Rao, and H. Yang, A Controllable Method of the Preparation of Electroless Nickel-Boron Films on Ag Substrate. *Metal Finishing*, 110:1 (2012) 22–26.
- [23] T. S. N. Sankara Narayanan and S. K. Seshadri, Formation and characterization of borohydride reduced electroless nickel deposits. *Journal of Alloys and Compounds*, 365:1–2 (2004) 197–205.



# Hastelloy X Süper Alaşımının Tornalanmasında Kriyojenik İşlem Uygulanan PVD Ve CVD Kaplamalı Takımların Performansının İncelenmesi

Gültekin UZUN<sup>1,\*</sup>, Selçuk YAGMUR<sup>1</sup>, İhsan KORKUT<sup>1</sup>, Ulvi ŞEKER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

## Öz

Süper alaşımlar yüksek sıcaklığa karşı direnci olan alaşımlardır. Ayrıca süper alaşımlar, yüksek sürünme dayanımları ile korozyona karşı direncinin yüksek olması sebebiyle uzay ve havacılık sektörünün yanı sıra gaz türbinlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Hastelloy X süper alaşımının tornalanması sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Farklı kesici takımlara uygulanan (PVD, CVD) kriyojenik işlemin ve farklı kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerinde etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90 ve 120 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,10 - 0,15 - 0,20 mm/dev) seçilmiştir. Çalışma neticesinde artan kesme hızlarının ve ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca CVD takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin PVD takımlara nazaran daha düşük olduğu görülmüştür. En iyi takım ömrü kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı takımla elde edilmiştir.

## Makale Bilgisi

Başvuru: 26/10/2016

Kabul: 22/02/2017

## Anahtar Kelimeler

Hastelloy X  
Tornalama  
Kesme kuvveti  
Takım aşınması

## Keywords

Hastelloy X  
Turning  
Cutting Force  
Tool Wear

## The Investigation of The Effect of Cryogenic Processed PVD and CVD Coated Cutting Tools on Machinability in Turning on Hastelloy X Super Alloy

## Abstract

Super alloys are alloys which has the resistance of high temperatures. In addition to that, super alloys are widely used in aerospace, aviation industries, also in gas turbines because of their high creep strength and high corrosion resistance. In this study, cutting forces obtained as a result of turning of the Hastelloy X super alloy were evaluated. The effects of different cutting parameters and the cryogenic treatment applied to different cutting tools (PVD, CVD coated) on cutting forces were investigated. During the experiments, four different cutting speeds (60, 75, 90 and 120 m/min) and three different feed rates (0.10 - 0.15 - 0.20 mm/rev) were used. As a result of the experiments, it is observed that increasing cutting speeds and feed rates increase cutting forces. Moreover, the cutting forces obtained with CVD coated cutting tools were less than PVD coated cutting tools. The best tool life result was obtained with cryogenic treated CVD coated cutting tools.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nikel esaslı süper alaşımlar, ısıya dayanıklılığı ile yüksek sıcaklıklarda çalışma özelliğinden ötürü uçak, uzay ve nükleer endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Süper alaşımların bir çeşidi olan Hastelloy X yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bununla birlikte dayanım özelliklerinin iyi olması Hastelloy X gibi süper alaşımların işlenmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşılmasına yol açmıştır. Bu malzemelerde bulunan bazı elementler (Ni, Co, Cr, Ti) işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle Nikel elementi bu malzemelerin işlenebilirliğini daha da güçleştirmektedir. Literatür incelemesi yapıldığında bu tip bir malzemenin işlenmesi ile ilgili çalışmaların son dönemde araştırmacıların ilgisini çektiği görülmektedir. Süper alaşımların işlenmesinde farklı tipte kesiciler kullanılması, farklı kesici geometrileri ve bu kesicilere PVD ve CVD kaplama uygulamalarının süper alaşımların işlenmesinde nasıl etkili olduğu araştırmacılar tarafından sıklıkla denenen bir yöntem olmuştur [2-7]. Ayrıca süper alaşımların işlenmesi esnasında takım aşınma davranışını ve aşınmayı inceleyen

\*İletişim yazarı, e-mail: [uzun.gultekin@gazi.edu.tr](mailto:uzun.gultekin@gazi.edu.tr)

çalışmalar da araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Deneysel çalışmalarla birlikte bazı matematiksel modelleme yöntemleri de kullanılmıştır [8-12]. Özellikle zor malzemelerin tornalanması işleminde PVD ve CVD yöntemi ile kaplanmış takımlar sıklıkla kullanılmaktadır [13-14]. Bu kaplama tipleri arasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınma değerleri gibi farklılıklar daima araştırma konusu olmuştur [15-17].

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

Bu çalışmada Hastelloy X süper alaşımı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan Hastelloy X süper alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Hastelloy X süper alaşımının kimyasal bileşimi.

Alaşım	Ni	Cr	Mo	Fe	Co	W	Mn	Al	Si	C	B
%	50	21	17	2	1	1	0.80	0.50	0.08	0.01	0.01

Deneylerde Sandvik firması tarafından üretilen ticari kalite SNMG120408MM olan PVD (GC1125) ve CVD (GC2025) kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Bu çalışma, PVD, CVD kaplamalı takımlarla ve bu takımların kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış (KRPVD ve KRCVD) olanları ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.). Kesici takımlar oda sıcaklığından  $-145^{\circ}\text{C}$ 'ye yaklaşık  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  soğutma hızı ile kademeli olarak soğutulmuş, bu sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra yine  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  ısıtma hızı ile kademeli olarak oda sıcaklığına getirilerek kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem ile ısıtma işlemi sonrası kalıntı östenitin martenzite dönüşümü ile kesici takımların aşınma dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır.

**Tablo 2.** Kesici takım.

Kesici Takım	Kısaltma	Isıl İşlem	
PVD GC1125	PVD	-	
PVD GC1125	KRPVD	Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış	
CVD GC2025	CVD	-	
CVD GC2025	KRCVD	Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış	
Kaplama Özellikleri			
Kalite	Sementit Karbür Tipi	Kaplama Türü	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )
GC1125	Mikron altı (çok ince) tane boyutu	PVD TiAlN+AlCrO	4
GC2025	Orta / kaba WC tane boyutu	CVD MT-Ti(C,N) +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	4,5

İşleme Deneyleri, FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford TC-35” sanayi tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhın gücü 10 KW olup, tezgâh iş mili değişken kademesiz hıza sahiptir ve 3500 dev/dak’ya kadar çıkabilmektedir. İşleme esnasında oluşan esas kesme kuvveti  $F_z$  ( $F_c$ ), KISTLER 9257A tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür. Kesici takımlar üzerindeki aşınma ve malzeme yapışmaları AM413ZT Polarize Dijital Mikroskop ile 50X büyütme yapılarak görüntülenmiştir. Deneyler, kesici takım üretici firması tarafından tavsiye edilen değerler ışığında Tablo 3’de verilen kesme kesme parametre değerleri ile kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme için dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı seçilmiş, kesme derinliği sabit tutulmuştur. Tablo 4’de deney tablosu verilmiştir.

**Tablo 3.** Kesme şartları.

Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)
60–75–95–120	0,1-0,15-0,2	0,75

**Tablo 4.** Deney tablosu.

Deney No	Kesici Takım	Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)
1	PVD	60	0,1	0,75
2		75		
3		95		
4		120		
5		60	0,15	
6		75		
7		95		
8		120		
9		60	0,2	
10		75		
11		95		
12		120		
13	CVD	60	0,1	0,75
14		75		
15		95		
16		120		
17		60	0,15	
18		75		
19		95		
20		120		
21		60	0,2	
22		75		
23		95		
24		120		
25	KRPVD	60	0,1	0,75
26		75		
27		95		
28		120		
29		60	0,15	
30		75		
31		95		
32		120		
33		60	0,2	
34		75		
35		95		
36		120		
37	KRCVD	60	0,1	0,75
38		75		
39		95		
40		120		
41		60	0,15	
42		75		
43		95		
44		120		
45		60	0,2	
46		75		
47		95		
48		120		

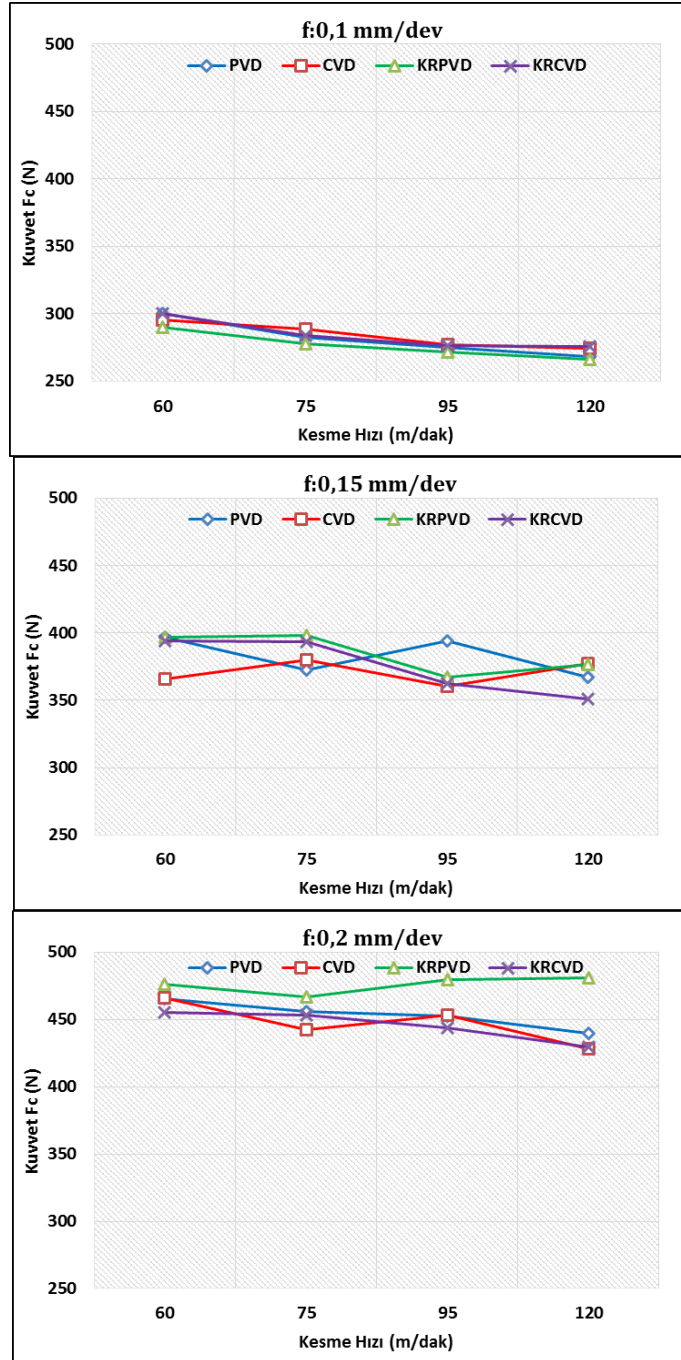


### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL AND DISCUSSION)

Deneysel sonuçlarında deney girdilerine bağlı olarak CVD ve PVD takımlar ile elde edilen kesme kuvvetleri ve takım ömrü değerleri grafik olarak değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Forces)

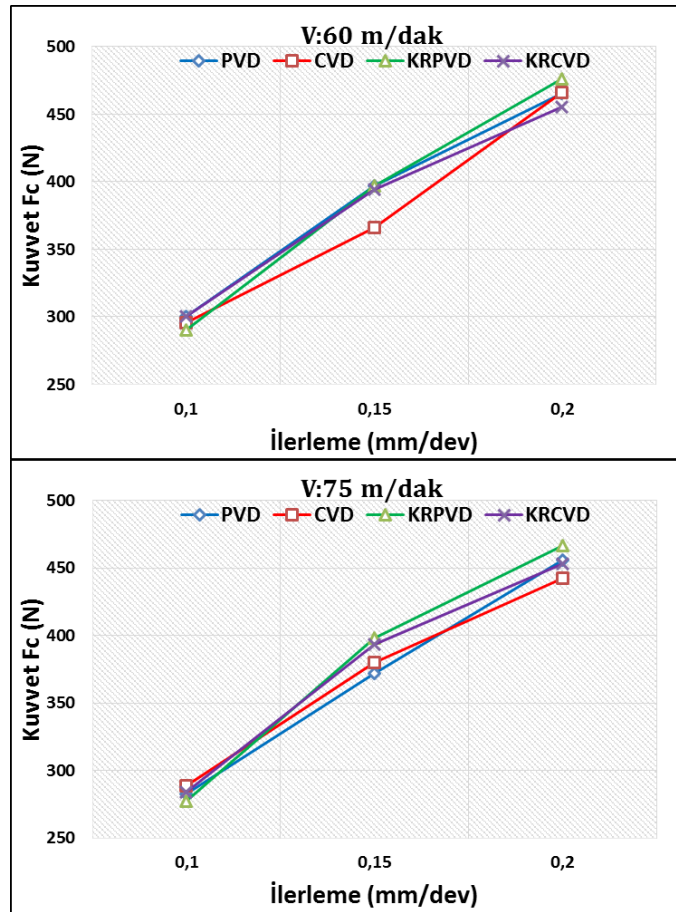
Hastelloy X süper alaşımının PVD ve CVD takımlar ile tornalamasında her bir ilerleme miktarı için kesme hızlarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişiklik Şekil 1’de verilmiştir.

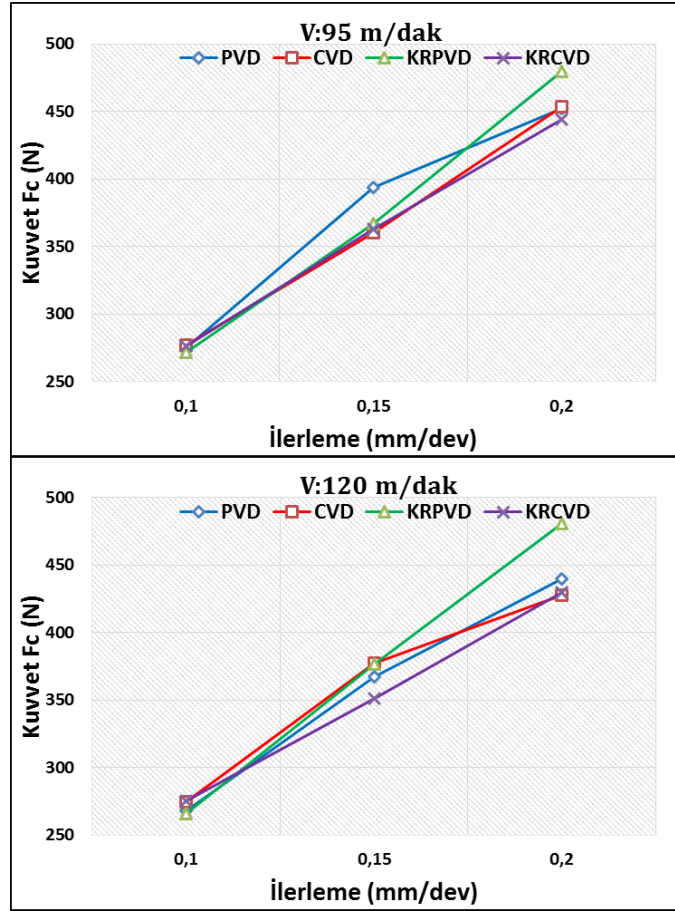


Şekil 1. Her bir ilerleme miktarı için kesme hızlarına bağlı olarak kuvvetlerin değişimi

Şekil 1’deki grafikler incelendiğinde kesme hızlarının değişimi ile birlikte kesme kuvvetlerinde genel olarak düşüş eğilimi görülmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan güç çoğunlukla kayma düzleminde ve kesici uç çevresinde ısıya dönüşür. Kayma düzleminde oluşan ısının büyük bir bölümü

talaşla atılır ancak belli bir miktar ısı iş parçasına iletilir. İletilen bu ısı iş parçasının sertliğini azaltır. Sertlik azaldığında süneklik artacağından iş parçasından talaş kaldırmak kolaylaşır [12,18-23]. Kesme hızlarının artışı kriyojenik işlem görmüş takımların daha iyi performans göstermesini sağlamıştır. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerinin düşmesinin sebebi kesici takımlarda ki aşınma direnci ve sertliğinde meydana gelen artışların olduğu düşünülmektedir [12, 18]. Ayrıca kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin düşük ilerleme oranında kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmektedir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 60 m/dak kesme hızında PVD takımında meydana gelen kesme kuvveti 300 N iken, kriyojenik işlem görmüş PVD takımında kesme kuvveti %3,3 azalarak 290 N olmuştur. Yine 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 120 m/dak kesme hızında PVD takımında yapılan deneylerde meydana gelen kesme kuvveti 268 N iken, kriyojenik işlem görmüş PVD takımında ise %1 azalarak 266 N olmuştur. Artan ilerleme miktarları ile beklendiği şekilde kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Her bir kesme hızı için ilerleme miktarlarına göre kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 2'deki grafiklerde verilmiştir.





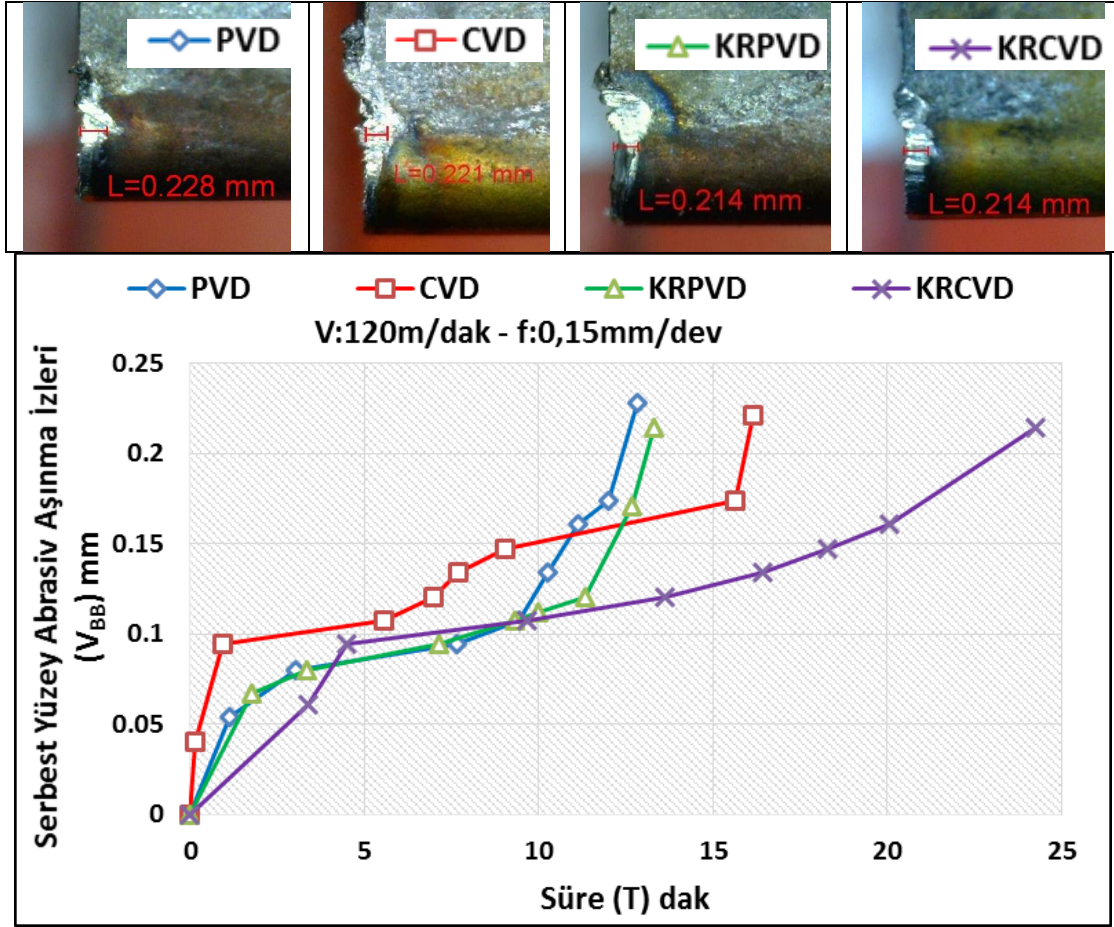
Şekil 2. Her bir kesme hızı için ilerleme miktarına bağlı olarak kuvvetlerin değişimi

Şekil 2'deki grafikler incelendiğinde artan ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmektedir. İlerleme miktarı tarafından oluşturulan talaş kesit alanı esas kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür. Dolayısıyla ilerlemedeki artışla beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir eğilimdir [12, 18-20]. En yüksek kesme kuvveti 483 N ile 0,2 mm/dev ilerleme miktarında ve 95 m/dak kesme hızında kriyojenik işlem görmüş PVD takım ile yapılan deneyde elde edilmiştir. Ayrıca 95 m/dak kesme hızı dışındaki kesme hızlarında en yüksek kesme kuvvetleri yine 0,2 mm/dev ilerleme miktarında kriyojenik işlem görmüş PVD takımlarla yapılan deneylerde meydana geldiği görülmektedir.

Genel olarak en düşük kesme kuvvetleri CVD takımlar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvvetleri ise kriyojenik işlem görmüş PVD takımlarda meydana gelmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, PVD kaplamanın dış yüzeylerinde başlayan çatlakların alt tabakaya ulaşması, ayrıca CVD kaplamaların yüksek aşınma direncine, kaplama sertliğine ve kaplama kalınlığına bağlanabilir [12, 18, 24-26].

### 3.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi (Evaluation of Tool Wear)

Takım aşınması değerleri deneylerde kullanılan Hastelloy X süper alaşımın maliyeti sebebi ile yüksek kesme hızı ve orta ilerleme miktarı esas alınarak belirlenmiştir. Şekil 3'te 120 m/dak kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesici takımında meydana gelen aşınmalar verilmiştir. Aşınma miktarı kriteri olarak 0,2 mm alınmış ve kesiciler bu değeri aşana kadar kesme işlemine devam edilmiştir.



Şekil 3. Kesici takımlarda meydana gelen aşınma miktarları

Şekil 3'teki grafik incelendiğinde en uzun kesme işleminin kriyojenik işlem görmüş CVD takımında meydana geldiği görülmüştür. Düşük kesme kuvvetlerinin genel olarak kriyojenik işlem görmüş CVD takımlarda meydana gelmiş olması bu durumu destekler niteliktedir. Kriyojenik işlem görmüş CVD kaplı takım CVD kaplamalı takım izlerken en çabuk aşınan takımın ise PVD kaplamalı takım olduğu görülmüştür. Takımlara uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrünü artırdığı ve bununla birlikte CVD kaplamanın PVD kaplamaya göre takım ömrü performansının daha iyi olduğu görülmektedir. Kriyojenik ısı işlem PVD kaplamalı takımında takım ömrünü %3 artırırken, CVD kaplamalı takımında takım ömrünü %50 arttırmıştır. CVD kaplanmış takım PVD kaplanmış takıma göre %26 daha iyi bir takım ömrü sergilemiştir. Bu durum en üst katmanda bulunan Ti(C,N) kaplamanın yüksek sertlik, oksidasyon ve korozyon direnci ile açıklanabilir. Ayrıca kesici uç kaplamasının kriyojenik işleme direncinin arttığı da bilinmektedir. Bu da yanak aşınma direncini iyileştirir [12, 27]. Şekil 3'te kriyojenik işlemin etkisi de açık bir şekilde görülmektedir. Kriyojenik işleme tabi tutulmuş kesici takımlar işlemsiz takımlara göre aşınma yönünden daha iyi sonuçlar vermiştir. Kriyojenik işlem bu iyileşmeyi kesici ucun morfolojik yapısını değiştirmek kaydıyla yapmaktadır [12, 18, 27, 28].

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Hastelloy X süper alaşımının dört farklı kesici takımla tornalamasında meydana gelen kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Takımlara uygulanan kriyojenik ısı işleminin esas kesme kuvveti açısından çok farklılık oluşturmadığı, fakat CVD takımlar için kesme kuvvetlerini düşürürken PVD takımlarda yükselttiği söylenebilir

- CVD ve PVD takımlara uygulanan kriyojenik işlem, takım ömrü yönünden olumlu etkiye bulunmuş ve en uzun ömüre sahip takım, kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı takım ile elde edilmiştir. Kriyojenik işlemin bu iyileşmeyi kesici ucun morfolojik yapısını değiştirerek gerçekleştirmektedir.
- Genel olarak CVD kaplamalı takımların PVD kaplamalı takımlara oranla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bu durumun CVD kaplamalı takımların yüksek aşınma direncine, kaplama sertliğine ve kaplama kalınlığına sahip olması ile açıklanabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] I.A. Choudhury, M.A. El-Baradie, “Machinability of nickel-base super alloys: a general review”, *Journal of Materials Processing Technology* 77 (1998) 278–284.
- [2] N. Richards, D.D. Aspinwall, Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 29 (4) (1989) 575–588.
- [3] N. Narutaki, et al. (Eds.), “Performance of PVD and CVD coated tools when machining nickel-based, Inconel 718 alloy”, *International Journal of Material Forming*, 3, (2010), pp. 475–478.
- [4] L. Li, N. He, M. Wang, and Z. G. Wang, “High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 129, no. 1—3, pp. 127–130, 2002.
- [5] R.S. Pawadea, Suhas S. Joshia, P.K. Brahmankarb, M. Rahmanc, “An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718” *Journal of Materials Processing Technology* 192–193 (2007) 139–146
- [6] Lalbondre , R., Krishna, P. , Mohankumar G.C. ,” Machinability Studies of Low Alloy Steels by Face Turning Method: An Experimental Investigation” *Procedia Engineering* 64, 632 – 641, 2013.
- [7] M. Nalbant, A. Altın and H. Gokkaya, “ The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys ,” *Materials and Design*, vol. 28, no. 4, pp. 1334–1338, 2007.
- [8] J.L. Cantero, J. Diaz-Alvarez, M.H. Miguelez, N.C. Marin, “Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718”, *Wear*, 297 885–894, 2013.
- [9] K. Kadirgama, K.A. Abou-El-Hossein, M.M. Noor, K.V. Sharma, B. Mohammad, “Tool life and wear mechanism when machining Hastelloy C-22HS” , *Wear*, 270, 258–268, 2011.
- [10] Dahu Zhu, Xiaoming Zhang, Han Ding, “Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 64, 60–77, 2013.
- [11] A., Altın, “Optimization Of The Turning Parameters For The Cutting Forces In The Hastelloy X Superalloy Based On The Taguchi Method”, *Original scientific article / Izvirni znanstveni ~lanek*, 48(2), 249, 2014.
- [12] A., Mavi, I., Korkut, “Machinability of a Ti-6Al-4V Alloy with Cryogenically Treated Cemented Carbide Tools” *Materiali in tehnologije / Materials and technology*, 48 (4), 577–580, 2014.
- [13] M. E., Korkmaz, M., Günay, “Finite Element Modeling of Tool Stresses in Hard Turning of AISI L2 Steel: Prediction by ANN” *International Journal of Modern Engineering Research*, 6(11), , 30-40, 2016.
- [14] H., Yurtkuran, M. E., Korkmaz, M., Günay, “Modelling and Optimization of the Surface Roughness in High Speed Hard Turning with Coated and Uncoated CBN Insert” *Gazi University Journal of Science*, 29(4), 987-995, 2016.

- [15] H., Gökkaya, G., Sur, H., Dilipak “Experimental Investigating of the Effect of Cemented Carbide Cutting Tools Coated by PVD and CVD on Surface Roughness According to Machining Parameters” Journal of Zonguldak Karaelmas University, Technical Education, 7 (3), 473-478, 2004.
- [16] M., Nalbant, H., Gökkaya, İ., Toktaş, G., Sur, “The Experimental Investigation of the Effects of Uuncoated, PVD- and CVD- Coated Cemented Carbide Inserts and Cutting Parameters on Surface Roughness in CNC Turning and its Prediction Using Artificial Neural Networks” Robotics and Comp., 25, 211-223, 2009.
- [17] T., Kıvak, G., Uzun, E., Ekici, “An Experimental and Statistical Evaluation of The Cutting Parameters on The Machinability of Hadfield Steel” Gazi University Journal of Science, 29 (1), 9-17, 2016.
- [18] A., Mavi, “Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Performansının Etkisi” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013.
- [19] I., Korkut, K., Yavuz, Y., Turgut, “An Experimental Investigation into the Machinability of GGG70 Grade Spheroidal Graphite Cast Iron” Indian Journal of Engineering Materials Sciences, 16, 123-127, 2009.
- [20] G., Uzun, İ., Çiftçi, “Ç 5140 Çeliğinin Mekanik Özelliklerinin Takım Aşınması ve Kesme Kuvvetlerine Etkisinin İncelenmesi” Politeknik Dergisi, 15 (1), 29-34, 2012.
- [21] İ., Çiftçi, “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20 (2), 205-209, 2005.
- [22] İ., Çiftçi, “Machining Of Austenitic Stainless Steels Using CVD Multi-Layer Coated Cemented Carbide Tools”, Tribology International, 39, 565-569, 2006.
- [23] Trent, E.M., “Metal Cutting”, Butterworths Press Single Layer And Multilayer Wear Resistance Coating, London, 1-171, 1989.
- [24] S. PalDey, S.C. Deevi, “s of (Ti,Al)N”, Materials Science and Engineering, 342, 58-79, 2003.
- [25] V. Braic, et al., “TiAlN/TiAlZrN Multilayered Hard Coatings for Enhanced Performance of HSS Drilling Tools”, Surface & Coatings Technology, 204, 1925–1928, 2010.
- [26] Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., “Titanium Alloys and Their Machinability – a Review”, Journal of Materials Processing Technology, 68, 262 – 274, 1997.
- [27] S.S., Gill, R., Singh, H., Singh, J., Singh, “Wear Behaviour of Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts Under Dry and Wet Turning Conditions”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49, 256-260, 2009.
- [28] A., Çiçek, T., Kıvak, I., Uygur, E., Ekici, Y., Turgut, “Performance of Cryogenically Treated M35 HSS Drills İn Drilling of Austenitic Stainless Steels” Int J Adv Manuf Technol, 60, 65-73, 2012.



## AIISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

Selçuk YAĞMUR<sup>1,\*</sup>, Ramazan ÇAKIROĞLU<sup>2</sup>, Adem ACIR<sup>3</sup>, Ulvi ŞEKER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara

### Makale Bilgisi

Başvuru: 26/10/2016

Kabul: 17/02/2017

### Anahtar Kelimeler

Delme  
Kesme Kuvvetleri  
Yekpare Sementit Karbür  
Matkap  
Kesme Parametreleri

### Keywords

Drilling  
Cutting Forces  
Solid Cemented Carbide  
Drill  
Cutting Parameters

### Öz

Bu çalışmada AISI 1050 delinebilirlik performansı araştırılmıştır. Giriş parametreleri olarak, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak Taguchi L18 ortogonal dizini esas alınarak deney tasarımı yapılmıştır. İkinci olarak kaplamasız ve kaplamalı (TiN/TiAl/TiCN) kesici takımlar ile üç farklı ilerleme hızı (0,15-0,20-0,25 mm/dev) ve kesme hızı (75-90-108 m/dak) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Delik delme işlemleri CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kesme esnasında meydana gelen kuvvetler Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen deney verileri kullanılarak Taguchi Metodu yardımıyla en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Uygulanan Taguchi yöntemi neticesinde, en uygun parametrenin kaplamalı takım için, kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme hızı ise 0,15 mm/dev olarak bulunmuştur.

### The Optimization of Thrust Force in Drilling Operation on AISI 1050 Steel with Taguchi Method

#### Abstract

In this study, drillability performance was investigated on AISI 1050. Cutting speed, feed rate and cutting tool were determined as input parameters. Firstly, experimental design was made based on Taguchi L18 orthogonal array. Secondly, the experiments were carried out with three different feed rate (0,15-0,20-0,25 mm/rev) and three different cutting speeds (75-90-108 m/min) by using uncoated and coated (TiN/TiAl/TiCN) cutting tools. Drilling operations were performed at the CNC vertical machining center. The forces which occurred during cutting were measured with the help of Kistler 9257 B dynamometer. Optimum cutting parameters were determined by using the obtained datas from experiments under favour of Taguchi Method. As a result of the applied Taguchi method, the most suitable parameter was found to be 90 m/min cutting speed and 0,15 mm/rev feed rate for coated drill.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Delik delme, kesici takımlarla bir iş parçasına silindirik delik açma yöntemlerini içerir. İmalat endüstrisinde modern talaşlı imalat yöntemleri geliştirilmesine rağmen, geleneksel delik delme yöntemi ekonomikliği ve basit uygulanabilirliği gibi sebeplerden dolayı hala en yaygın kullanılan işleme yöntemidir [1]. Delme işlemi; fatura açma (kademeli delik işleme), raybalama, havşa açma ve delik büyütme gibi talaş kaldırma işlemlerini kapsamaktadır. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır [2]. Delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar [3]. Kapalı bir ortamda gerçekleşen delme işlemlerinde yaşanan en büyük sıkıntı talaş tahliyesidir. Tahliye edilemeyen talaşlar sebebiyle delme esnasında kesme kuvvetlerinin artması matkabın kırılmasına yol açabilir.

Delme işleminin imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılması, araştırmacıların delik delme konusunda yoğun olarak çalışmalarını sağlamıştır. Çalışmacıların önemli bir kısmı farklı malzemelerin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [4-10]. Deneysel çalışmalar ile birlikte farklı modelleme, analiz ve optimizasyon yöntemleri ile kesme kuvvetleri üzerindeki etkili parametre belirlenmeye çalışılmıştır [11-18].

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

AISI 1050 çeliğinin delinmesinde üç farklı kesme hızı (75, 90, 108 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) seçilmiştir.

Deneylerde 14 mm çapında kaplamasız ve TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı kaplamalı yekpare sementit karbür olmak üzere iki farklı matkap kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Her deney için yeni bir takım kullanmak suretiyle (9 kaplamasız ve 9 kaplamalı) toplam 18 adet deney yapılmıştır.

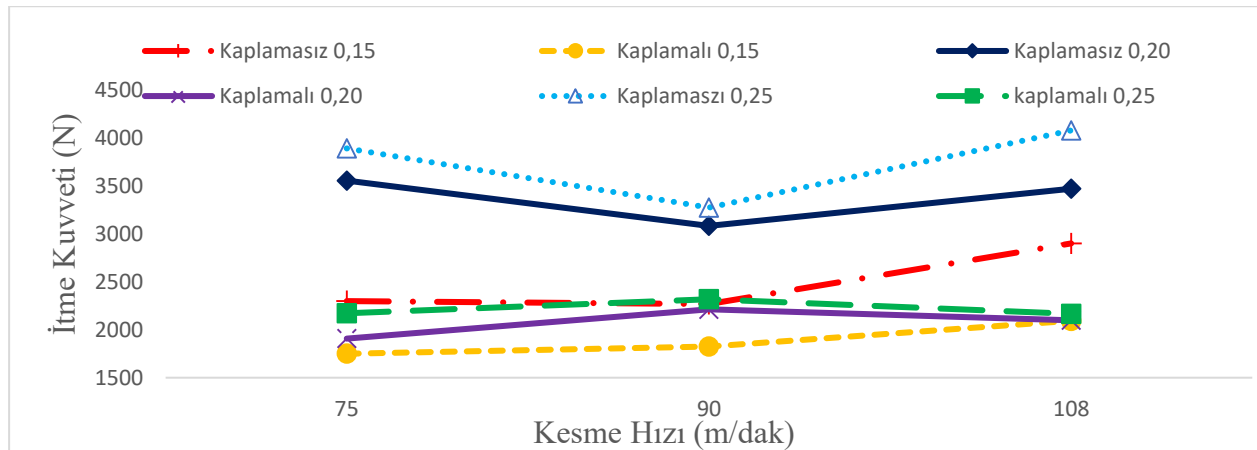
**Tablo 2.1.** Deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri

	Kaplamasız	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	14,6	12,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000	4600
Young Modülü (GPa)	590	550
Poisson Oranı	0,22	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70	45
Termal genleşme katsayısı (106/K)	5,6	6,7

Kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde var olan CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgahın en yüksek devir sayısı 8000 dev/dak'dır. Sırasıyla x, y, ve z eksenindeki kurs boyları ise 600, 500, 600 mm'dir. Deneylerde kullanılan takım tezgahının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için KISTLER 9257-B tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifier kullanılmıştır.

## 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION of TEST RESULTS)

Metot bölümünde verilen kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneyler sonrasında kesme esnasında meydana gelen itme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme hızları, ilerleme hızları ve kesici tipine göre itme kuvvetinin değişimi Şekil 1'deki grafiklerde verilmiştir.



**Şekil 3.1.** İlerleme kuvvetlerinin kesme hızı, kesici tipi ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 1'deki grafikten görüleceği gibi kesme hızında artış beklenenin, aksine itme kuvvetlerinde genel olarak bir artışa neden olmuştur. Delik delme işlemleri, tormalama ve frezeleme işlemlerinden farklılık arz etmektedir. Kesme hızlarının artması sonucu genel olarak itme kuvvetlerinin artması, kesme hızının artması ile artan enerji miktarının itme kuvvetleri üzerinde doğrudan etkisi olduğuna atfedilebilir. Ayrıca artan ilerleme hızı da itme kuvvetlerinin artmasına yol açmıştır. İlerleme miktarlarının artmasıyla itme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durum; ilerleme miktarındaki artış sonucu artan talaş kesitine atfedilebilir. Talaş kesitinin artması sonucu talaş kaldırmak için ihtiyaç duyulan enerji artacak ve artan enerji de itme kuvvetlerin artmasına sebep olacaktır [9]. Kesici takımlara kaplama yapılmış olması sonucunda elde edilen itme kuvvetleri kaplamasız takımla elde edilen itme kuvvetlerinde daha düşük meydana gelmiştir. Kaplamalı takımların sürtünme katsayısının kaplamasız takımlara oranla düşük olması talaş tahliyesini kolaylaştırmış ve bu durum itme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmuştur. Kaplamasız ve kaplamalı takımlar arasında meydana gelen en büyük itme kuvveti farkı 108 m/min kesme hızında ve 0,25 mm/rev ilerleme miktarında meydana gelmiştir. Bunu; kesme şartlarının nispeten daha zorlaşması halinde kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans sergilemesine atfetmek mümkündür.

### 3.1. Sonuçların Taguchi Metodu ile Analizi (Analysis of the results by Taguchi Method)

Taguchi L18 ortogonal düzeni çerçevesinde her bir deneyden elde edilen kesme kuvvetleri baz alınarak o deney için söz konusu analiz değerleri belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri için deney sonuçları ve S/N oranı ( $\eta$ ), Tablo 2'de verilmiştir.

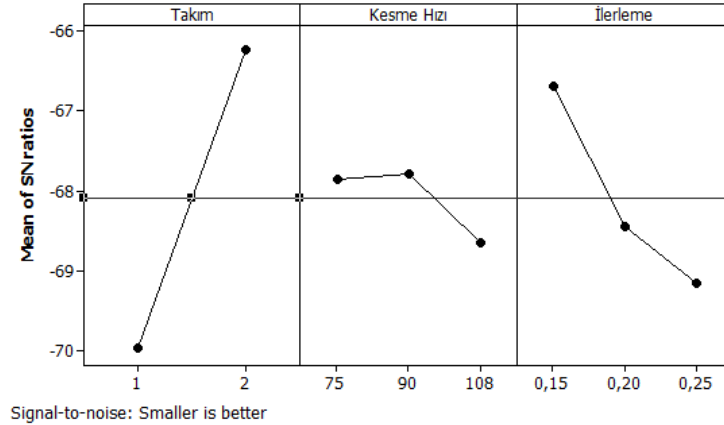
**Tablo 3.1.** Kesme kuvveti için deney sonuçları ve S/N oranı, ( $\eta$ )

Deney numarası	A (Takım)	B (Kesme hızı m/dak)	C (İlerleme hızı mm/dev)	Kesme kuvveti	
				Deney Sonucu (N)	S/N (dB)
1	Kaplamasız	75	0,15	2300	-67,2346
2	Kaplamasız	75	0,20	3558	-71,0241
3	Kaplamasız	75	0,25	3895	-71,8101
4	Kaplamasız	90	0,15	2269	-67,1167
5	Kaplamasız	90	0,20	3085	-69,7851
6	Kaplamasız	90	0,25	3276	-70,3069
7	Kaplamasız	108	0,15	2902	-69,2539
8	Kaplamasız	108	0,20	3474	-70,8166
9	Kaplamasız	108	0,25	4082	-72,2175
10	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,15	1750	-64,8608
11	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,20	1908	-65,6116
12	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	75	0,25	2125	-66,5472
13	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,15	1824	-65,2205
14	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,20	2214	-66,9036
15	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	90	0,25	2319	-67,3060
16	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,15	2094	-66,4195
17	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,20	2100	-66,4444
18	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı	108	0,25	2167	-66,7172

Elde edilen deney sonuçlarının Taguchi metodu yardımıyla optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyon işleminde, Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N-Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre kullanılan eşitliklerden “en küçük en iyi” (Eşitlik 1) kullanılarak S/N oranları hesaplanmıştır.

$$\eta = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Eşitliklerde,  $y_i$  : Performans yanıtının  $i$ . gözlem değeri,  $n$ : bir denemede test sayısı, Deneysel sonuçlar neticesinde S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Şekil 2’ de kesme kuvveti değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Kesme kuvveti için ortalama S/N oranı

Kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda Şekil 2’den yararlanarak uygun kesme parametreleri “A2B2C1” olarak bulunur. Burada, kaplamalı matkap “A1”, kesme hızı “B2” (90 m/dak) ve ilerleme hızı “B1” (0,15 mm/dev)dir.

### 3.2. Kesme Kuvvetleri için ANOVA Sonuçları(ANOVA Results for Cutting Forces)

İstatistiksel bir yöntem olan varyans analizinde amaç, kesme kuvveti üzerinde hangi faktör ve seviyelerinin ne derece etkili olduğunu ortaya koymaktır. Deneylerde farklı faktör ve farklı seviye kullanılarak 18 deney yapılmış ve her bir deneyden farklı Fz değerleri ölçülmüştür.. Tablo 3 incelendiğinde kesme kuvvetine en çok etkileyen parametrenin %65’ lik oranla kesici takım olduğu görülmektedir. Ayrıca P etki değerlerine bakıldığında kesme hızının kesme kuvveti üzerinde bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Tablo 3. Kesme kuvveti için ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	% PCR
Kesici Takım	1	62.477	62.476	76.9	0	65.37
İlerleme	2	19.305	9.6523	11.88	0.001	18.74
Miktarı						
Kesme Hızı	2	2.801	1.4004	1.72	0.22	1.25
Hata	12	9.749	0.8124			14.64
Toplam	17	94.331				

SD: Serbestlik Derecesi; KT: Kareler Toplamı; KO: Karelerin Ortalaması PCR:Yüzde Katkı Oranları

### 3.3. Doğrulama Deneyleri Sonuçları (Verification Testing Results)

Taguchi metoduna göre, en uygun sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Önceden tespit edilen itme kuvveti için “A2B2C1” parametreleri kullanılarak, üç adet kontrol deneyleri sonucunda elde edilen deney sonuçlarının ortalaması alınarak sonuçların güvenilirliği irdelenmiştir. Buna göre en iyi kesme kuvveti değerlerinin elde edilmesinde, optimize edilmiş kesme parametreleri Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Kesme kuvveti için doğrulama test sonuçları

	Başlangıç kesme parametresi	Optimum kesme parametreleri	
		Tahmin	Deney
Seviye	A2B2C2	A2B2C1	A2B2C1
Kesme kuvveti (N)	1908	1483.11	1392
S/N oranı (dB)	-65.6115	-64.5057	-62.8727
İyileştirme oranı S/N	2.7388 dB		
Tahmini hata (dB)	1.633		

Doğrulama deneyleri sonunda elde edilen üç kesme kuvveti değerlerinin ortalaması 1392 N olarak bulunmuş ve ilk yapılan 18 deneyin kesme kuvveti ortalamasına (1908 N) göre %37 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bütün bu değerler incelendiğinde Taguchi optimizasyon tekniği ile itme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmektedir.

### 3. SONUÇ (RESULT)

AISI 1050 imalat çeliği malzemesi üzerinde yapılan delme deneyleri ile kesici takım kaplaması, kesme hızı ve ilerleme hızının itme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kaplamasız ve kaplamalı takımlarla yapılan deneylerin tamamında sabit kesme hızında ilerleme hızı arttıkça itme kuvvetlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte İlerleme hızının, itme kuvvetleri üzerindeki etkisinin kesme hızına göre daha yüksek olması sebebiyle, düşük ilerleme hızlarında düşük itme kuvveti değerleri elde edilmiştir.
- En uygun deney parametrelerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Taguchi yöntemi neticesinde, kaplamalı takım için, kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme hızı ise 0,15 mm/dev olarak bulunmuştur.
- Deney sonuçlarına uygulanan Varyans analizine göre değişkenlerin itme kuvveti üzerindeki etki oranları, %65.38 ile kesici takım, %18.74 ilerleme miktarı şeklinde bulunmuştur.
- Bütün kesme parametreleri kombinasyonlarında kaplamalı takımlardan elde edilen itme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlerden daha düşük olmuştur. Kaplamalı takımlarla elde edilen itme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlere göre ortalama %20-%88 daha düşük çıkmıştır.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tönshoff, H. K., et al. "Machining of holes developments in drilling technology." CIRP Annals-Manufacturing Technology 43.2 (1994): 551-561.
- [2] Kıvak, Turgay, Gürcan Samtaş, and Adem Çiçek. "Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills." Measurement 45.6 (2012): 1547-1557.
- [3] Çakır, M.C., Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", Vipaş A.Ş, Bursa, 2000.
- [4] Kim, Kug Weon, and Tae-Kil Ahn. "Force Prediction and Stress Analysis of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Conditions." International Journal of Precision Engineering and Manufacturing

- 6.1 (2005): 65-72. [3] D. K. Hetrick, Dynamics of Nuclear Reactors, University of Chicago, Chicago, 1971.
- [5] Strenkowski, J. S., C. C. Hsieh, and A. J. Shih. "An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 44.12 (2004): 1413-1421.
- [6] Ertunc, H. M., and K. A. Loparo. A decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in drilling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41.9 (2001): 1347-1362.
- [7] Çakır, A., Nalbant, M., Duran, A., Ulaş, H. B., AA 7075 VE AA 6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi", 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, (2012) 9-18
- [8] Rey, P. A., et al. "Modelling of cutting forces in orbital drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 106 (2016): 75-88.
- [9] Çiftçi, İ. "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 20.2 (2005): 205-209.
- [10] Karnik, S. R., V. Gaitonde, and J. Paulo Davim. Integrating Taguchi principle with genetic algorithm to minimize burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using an artificial neural network model." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 221.12 (2007): 1695-1704.
- [11] Günay, M., "AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Takım Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu." *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University* 28.3 (2013).
- [12] Balaji, M., B. S. N. Murthy, and N. Mohan Rao. Optimization of Cutting Parameters in Drilling of AISI 304 Stainless Steel Using Taguchi and ANOVA. *Procedia Technology* 25 (2016): 1106-1113.
- [14] Sarıkaya, M., H. Dilipak, and G. Meral. AISI 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon analiziyle modellenmesi. *Tubav Bilim Dergisi* 4.1 (2011): 31-41.
- [15] Singh, Gurmeet, et al. "Optimization of process parameters for drilled hole quality characteristics during cortical bone drilling using Taguchi method." *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 62 (2016): 355-365.
- [16] Meral, G., Sarıkaya, M., and Dilipak, H., Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27.4 (2016).
- [17] Şeker, U., Takım tasarımı ders notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara. (1997)
- [18] Çakıroğlu, R., and A C I R, A., Al2014 Malzemesinin Delinmesinde Takım Talaş Ara Yüzey Sıcaklıkları ve Kesme Kuvvetinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 10.2 (2013): 73-86.
- [19] Korucu, S. Mathematical modelling of stress on the cutting tool in drilling. Diss. PhD Thesis, Institute of Science and Technology, Gazi University, Turkey, 2007.



## Slotsuz IEEE 802.15.4 Ağlarda CSMA/CA Parametre Değerlerinin Hesabına Yönelik Monte Carlo Makinesinin Tasarımı

Selçuk ÖKDEM<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.

### Öz

IEEE 802.15.4 protokolü kişisel alan ağlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Az enerji tüketimine ve düşük işlem karmaşıklığına sahip olan bu protokol birçok uygulamada tercih edilmektedir. Bu protokolün kanal erişiminde kullandığı CSMA/CA parametrelerinin en uygun değerlere atanması, haberleşme performansını etkileyen önemli bir süreçtir. Bu değerler, ağ yapısına ve ağ trafiğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu makalede, Monte Carlo simülasyonları aracılığı ile farklı ağ yapılarına yönelik testler yapılmış ve en uygun değerler bulunmuştur. Bu değerlerin bulunmasında ele alınan ağ yapısı çeşitli veri trafiğinde incelenerek parametrelerin etkisi gözlenmiştir. Bu sürece ilişkin olarak tasarlanan Monte Carlo makinesi ile hesaplanan değerlerinin performans artışındaki etkisi analiz edilmiştir. Farklı ağ yapıları ve çeşitli ağ trafikleri için ağ tasarımcılarına en uygun parametre değerleri önerilmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 28/10/2016  
Kabul: 11/05/2017

### Anahtar Kelimeler

IEEE 802.15.4  
Kişisel Alan Ağları  
CSMA/CA Parametreleri

### Keywords

IEEE 802.15.4  
Personal Area Networks  
CSMA/CA Parameters

### A Monte Carlo Machine Design to Obtain CSMA/CA Parameter Values for Unslotted IEEE 802.15.4 Based Networks

### Abstract

IEEE 802.15.4 protocol is often used in wireless personal area networks. The protocol, which consumes low energy and has low computational complexity, is preferred in many applications. Assigning the best suitable values to CSMA/CA parameters, which are used for accessing the channel, is an important task that affects the communication performance. These values are variables depending on network type and network traffic. In this paper, tests were made according to network types using Monte Carlo simulations and the best values were found. The impact of parameters is observed while obtaining these values for the corresponding network type under various data traffic. The impact of calculated values using Monte Carlo machine, which is designed for this process, is analyzed. The best parameter values for various network types and network traffics are proposed to network designers.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz ağlarda, kanalın verimli kullanılması, paket çarpışmalarının azaltılması ve paket iletim gecikmesinin düşürülmesi ağ verimliliğini artırmada önemli etmenlerdendir. Kanalın verimli kullanılabilmesi, ağ üzerindeki diğer elemanların kanaldaki diğer haberleşmelerden olumsuz yönde etkilenmemesiyle sağlanabilir. Olumsuz etkilerin başlıca nedenleri, kanaldaki çakışmalar ve iletilen bilgilerin birbiri üstüne gelerek bozulmalarıyla (çarpışma) meydana gelir. Bu anlamda ağ elemanlarının kanaldan faydalanma kontrolleri kanal boşluğunu değerlendirme (Clear Channel Assessment, CCA) işlemi ile gerçekleşir. IEEE 802.15.4 protokolü de diğer protokollerde olduğu gibi ağdaki eleman sayısı ve ağ trafiği arttıkça kanal erişimde bazı sıkıntılar barındırır. Bu sıkıntılar, ağ tıkanmalarının yol açtığı çarpışmalarda (collision) artışa ve veri aktarımında (data throughput) yavaşlamalara neden olur. Bu sıkıntıların önlenmesi için CCA işleminde uygun parametre değerlerinin kullanılması önemlidir. Birçok uygulamada IEEE 802.15.4 protokolü tanımlanmış önerilen varsayılan değerler kullanılmıştır [1], [2], [3]. Ancak, ağın büyüklüğü ve veri trafiğinin yoğunluğuna bağlı olarak bu değerler veri aktarım performansını farklı ölçülerde etkilemektedir. Bu değerlerin hesabında çevrimdışı hesaplama [4], model tabanlı adaptasyon [5], ölçüm tabanlı adaptasyon [6] ve benzetim tabanlı analiz [7] yöntemleri kullanılabilir. Bunlardan çevrimdışı hesaplama ve analitik yöntemin birlikte kullanılması sonuçların önceden alınmasını

\*İletişim yazarı, e-mail: okdem@erciyes.edu.tr

sağlar. Bu sayede, ağ çevrimiçi durumda sonuçları doğrudan kullanır ve ortalama olarak daha hızlı adaptasyon sağlar. Dolayısıyla, ağ çevrimiçi durumda iken haberleşen elemanlar analitik iş yükü ile boğulmamış olurlar. Bu iş yükü ağın değişen her durumu için fazladan enerji harcanmasına ve gecikme zamanının uzamasına neden olur. Ayrıca, analitik modellerde yapılan kabuller ve yaklaşım esaslı basitleştirme yöntemleri sonuçların olması gereken değerlerden sapmalarına neden olur. Örneğin kanalı boş bulma ihtimalinin parametre değerlerinden bağımsız kabul edilmesi uygulamada gerçekçi değildir. Çünkü CSMA/CA parametre değerlerini değiştirerek elemanların kanala daha sıklıkla bakmaları sağlanabilir. Bu sayede, boş kalan kanalın sıklıkla daha erken kullanılması mümkündür. Bu durum, kanalı boş bulma ihtimalinin doğrudan parametrelere bağlı olduğunu gösterir. Ölçüm tabanlı bir yaklaşım olan ADaptive Access Parameters Tuning (ADAPT) [6], dinamik olarak parametre değerlerin o anki ağ durumuna göre ayarlamaktadır. Bu ayarlama sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilir. Parametre değerleri artırılarak veya azaltılarak sonuç gözlenir. En uygun sonuca geçici osilasyon sürecinden sonra ulaşılır. Bu süreç, uygun değerlere ulaşmaya kadar işlem zamanına ihtiyaç duyar. Ağ bu süre zarfında yanlış parametre değerleri ile işletilir. Bu durum ağın farklı çalışma şartlarının değiştiği her anda tekrarlanır. Hafızasız bir sisteme sahip olan ADAPT ile hızlı bir parametre değişim süreci sağlanamayacağı belirgindir. Benzetim tabanlı bir çalışma ile hafızalı bir sistem geliştirilmiş ve öğrenme tabanlı bir yapı ile “Learning-based Adaptive Parameter tuning, LEAP” algoritması önerilmiştir [8]. Bu algoritma ADAPT algoritmasında olduğu gibi ağ şartlarını algılayan ölçümler yapar ve ağın çalışma anındaki durumuna göre uygun parametre değerlerini üretir. Ancak, ADAPT algoritmasından farklı olarak geçmiş durumlar kaydedilir ve mevcut duruma ilişkin değerler daha önceden kayıtlı ise daha hızlı geçiş süreci gerçekleşir. Bu LEAP algoritmasına hız kazandıran en önemli özelliktir. ADAPT ve LEAP algoritmalarında ağın mevcut şartlarına göre sonuç üretmeleri, “kanalı boş bulma ihtimali” ve “ağın enerji tüketimi” değerlerinin hesabını gerektirir. Bu değerlerin ilki belirli sayıda CCA işlemini gerektirir. Bu sayı, istatistiki açıdan anlamlı sonuçların üretilmesi için düşük değerlerde olmamalıdır. Bu örnekler içerisinde kanalın boş bulunma ihtimali, boş bulunma sayısının toplam örnek sayısına oranlanmasıyla hesaplanır. CCA zamanının örnek sayısına çarpımıyla ifade edilen “örnek alınma zamanı” uygun parametrelerin işletilmesini geciktiren bir süreçtir. Bu ise yanıt zamanını uzatmakta ve işlem karmaşıklığının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu algoritmalar kişisel alan ağlarından ziyade kablosuz sensör ağları gibi kümelenmiş ağlar için önerilmiştir.

Bu makalede, deneysel ölçümler benzetim tabanlı olarak geliştirilen ortamda alınmıştır. Kanalı boş bulma ihtimali, çarpışma ihtimali gibi değerler çalışma şartlarına göre deneysel olarak alınmıştır. Bu değerlere ilişkin kabul ve genellemeler yapılmadığı için gerçekçi çalışma şartlarına uygun yapı oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmanın katkısı aşağıda özetle maddeler halinde verilmiştir.

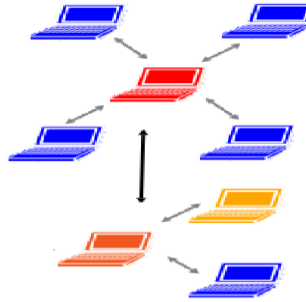
- IEEE 802.15.4 protokolü için kişisel alan ağlarına (Wireless Personal Area Networks, WPANs) özgü test işlemlerinin yapılacağı olay tabanlı benzetim ortamı geliştirilmiştir. Benzetim ortamıyla protokole özelleştirilmiş Monte Carlo makinesi tasarlanmıştır.
- WPAN yapılarında farklı CSMA/CA değerlerinin ağ performansına etkisi incelenmiştir.
- Çeşitli büyüklüklerde farklı ağ trafiği içeren senaryolar için uygun parametre değerlerinin hesabı yapılmıştır.
- WPAN yapılarına uygun olarak hesaplanan CSMA/CA parametre değerlerinin, ağ büyüklükleri ve ağ trafiğine göre kullanılmaları önerilmiştir.

Makalenin devamında ikinci bölümde IEEE 802.15.4 protokolü kısaca açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Monte Carlo benzetim metotları hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde IEEE 802.15.4 protokolünü kullanan WPAN ağlarına yönelik Monte Carlo benzetim makinesi tasarlanmıştır ve sonuçlar alınmıştır. Son bölümde makalemizin çalışma bulguları genel olarak verilmiş ve gelecek çalışma hedeflerinden bahsedilmiştir.

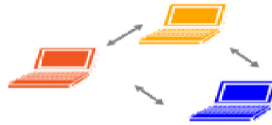
## 2. IEEE 802.15.4 KİŞİSEL ALAN AĞLARI

IEEE 802.15.4, düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları (Wireless Personal Network – WPAN) için geliştirilmiş bir protokoldür. Protokol tanımı fiziksel katman ve ortam erişim kontrol (Media Access Control – MAC) özelliklerini içerir. Bu protokol 2003 yılında başlayan IEEE 802.15 çalışma grubunun 4 nolu iş paketi ile önerilmiştir [9]. Zigbee [10], WirelessHART [11] ve 6LoWPAN [12] protokolleri de alt katmanlarında IEEE 802.15.4 protokolünü kullanırlar. Bu protokolün en önemli özelliği Wi-Fi haberleşmeye kıyasla çok daha az enerji tüketmesi ve küçük boyutlarda düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmesidir.

IEEE 802.15.4 protokolünün yaygın olarak kullanılan 2.4 GHz frekans bantlı versiyonu ideal şartlarda 250 kbit/s hızla veri transferi yapar. Kullanılan diğer frekans bantları ise 868MHz ve 915MHz’ dir. Protokolün MAC katmanı, çerçeveleri (frame) temiz kanal erişim (Clear Channel Access – CCA) sürecinin ardından iletir. MAC katmanının diğer işlevleri; radyo kanalına erişimin, slot zamanlarının senkronizasyonunun, kişisel alan ağ yönlendiricisine (PAN) bağlanma ve ayrılmanın sağlanmasının, güvenlik işlemlerinin, garanti edilmiş zaman slotlarının (guaranteed time slot – GTS) gerçekleştirilmesidir. MAC katman işlevleri slotlu veya slotsuz olarak gerçekleştirilebilir. Slotlu versiyonda her bir elemana kanal, belirli periyotlar dahilinde paylaşılır. Slotsuz versiyonda ise kanalı kullanmak isteyen eleman herhangi bir zaman diliminde iletim isteğinde bulunabilir. İletilen çerçevelerin maksimum uzunluğu toplam 128 byte’ dır. 6LowPAN’ da olduğu gibi genelde bu uzunlukta haberleşme tercih edilir. WPAN ağlar birbirlerine sınıflandırılarak hiyerarşik düzende (Şekil 1) veya noktadan noktaya (Şekil 2) haberleşecek şekilde bağlanabilirler. Hiyerarşik sınıflandırılmış yapıda birbirini gören her bir grup için bir WPAN ağından söz edilir. Noktadan noktaya haberleşen yapılarda ise karşılıklı haberleşebilen her yapı için WPAN ağından söz etmek mümkündür.



Şekil 1. Hiyerarşik sınıflandırılmış WPAN yapısı.



Şekil 2. Noktadan noktaya haberleşen WPAN yapısı.

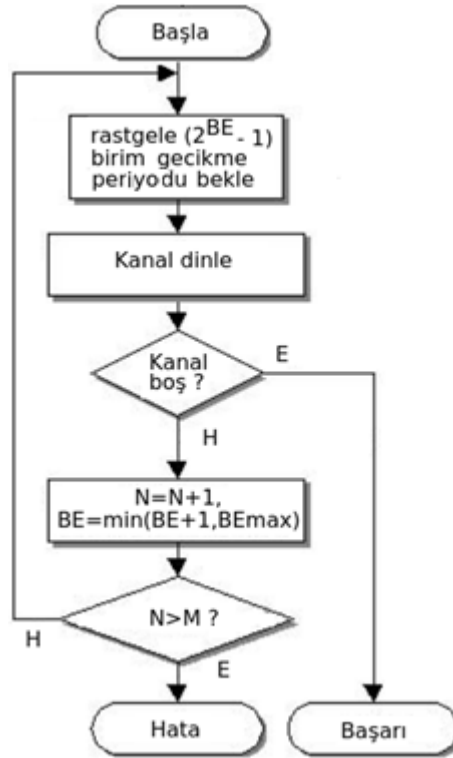
Şekil 3’ te slotsuz iletim modunda CSMA/CA algoritma şeması verilmiştir. Algoritma,  $aUnitBackoffPeriod$  sembol süresine eşit olması gereken “gecikme periyotları” ismi ile anılan zaman birimleri kullanır.

Slotsuz CSMA/CA sürecinde ağdaki her eleman için  $BE_{min}$ ,  $BE_{max}$  ve  $M$  ile gösterilen üç parametre bulunur.  $M$ , kanal isteğinde maksimum düzeyde gerçekleştirilecek iterasyon sayısıdır.  $BE_{min}$ , bekletilecek minimum gecikme periyodun üstel değerini (ikinin kuvveti) ifade eder. Bu değer 0 olarak alınırsa ilk adımda bekletilme olmadan kanal dinleme başlanacaktır. Bu değer, cihazın kanal değerlendirmesi yapmadan önce ne kadar gecikme periyodu bekleyeceği ile ilişkilidir.  $BE_{max}$  ise bekletilecek maksimum gecikme periyodun üstel değerini (ikinin kuvveti) ifade eder. Bekleme sonrası yapılan dinleme takibinde kanal boş olarak değerlendirilirse MAC alt katmanı çerçevenin iletimine hemen başlayacaktır. IEEE 802.15.4 protokol tanımında bu parametreler sırasıyla 3, 5, 4 olarak varsayılan değerlerde verilmiştir. Bu parametreleri kullanan CSMA/CA sürecinin akış şeması Şekil 3’ te görülmektedir. Süreç iletilmek istenilen her çerçeve için gerçekleştirilir. Bu süreç başarılı bir şekilde tamamlanamazsa çerçeve iletiminden vazgeçilir.

Şekil 3' te verilen akışta  $BE$  değişkeni başlangıçta  $BE_{min}$  değerine eşitlenir. Daha sonra bu değer maksimum  $BE_{max}$  olana kadar artırılır. Bu akışta, kanal dinleme iterasyonu  $M$  değerini aşınca kanal erişim hatası olarak üst katmanlara bilgi verilir.

### 3. MONTE CARLO MAKİNESİNİN TASARIMI

Monte Carlo metotları, sonuçların hesaplanması için rastgele örneklemeleri kullanırlar. Bu metotlar, genelde fiziksel ve matematiksel sistemlerin benzetimlerinde tercih edilir. Özellikle çok boyutlu değişkenlerin bulunduğu ve karmaşıklık düzeyi yüksek olan sistemlerin analizinde oldukça kullanışlıdır. Bu metotların başarısı örnekleme sayısının fazlalığıyla orantılıdır. İstatistiki açıdan anlamlı sonuçların gözlenebilmesi amacıyla örnekleme sayısının artırılması birçok uygulamada gerekli olmaktadır.



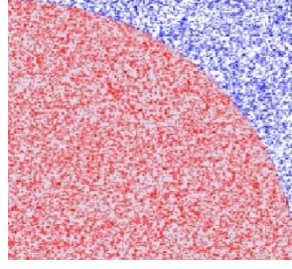
Şekil 3. CSMA/CA süreci.

Monte Carlo makinesinin tasarımı aşağıda verilen durumlarda kullanışlı olmaktadır:

- karmaşıklık düzeyi üstel olan (örneğin  $2^n$ ),
- çözümü matematiksel olarak klasik yöntemlerle bulunamayan,
- modellenmesi zor olan sistemler.

Bu durumlarda Monte Carlo makinesinin tasarımı çözüme ulaşmada kolaylık sağlamaktadır. Bu tür makineler aracılığıyla sistem girişine rastlantısal (genelde düzgün dağılımlı) örneklerin verilmesiyle çıkışların gözlenmesi sağlanır. Bu çıkış değerlerine bağlı olarak sistem modelleri yapılır veya sistem cevabının tahmini değerleri elde edilir. Bu olaya güzel bir örnek  $\pi$  sayısının hesabıdır. Monte Carlo benzetimi Şekil 4 üzerinde açıklanabilir. Şekil üzerinde, çeyrek daire ve bunu çerçeveleyen çeyrek kare dilimi bulunmaktadır. Belirli bir iterasyon sayısı ile döngüde işletilerek rastgele noktalar üretilir ve şekil üzerine konumlandırılır. Burada noktaların sayısı alanları ifade edecektir. Daha sonra noktaların sayısı (daire dilimindekiler ve kare dilimindekiler) oranlanır. Bu oran 4 ile çarpılırsa  $\pi$  değeri hesaplanmış olur. Bu örnek, basit yapıda bir Monte Carlo makinesinin işleyişini özetler [13].





**Şekil 4.** Basit yapıda bir Monte Carlo makinesinin işleyişi [13].

CSMA/CA süreci, bu süreçte çakışmalar ve meydana gelen çarpışmalar (collision), birim zamanda veri aktarım (data throughput) miktarı Monte Carlo benzetimiyle hesaplanabilir. CSMA/CA parametrelerinin etkisi bireysel olarak analiz edilebilir ve veri aktarım oranına etkisi bu sayede incelenebilir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde aşağıda adımları verilen Monte Carlo makinesinden faydalanılmıştır. Burada test edilen CSMA/CA parametreleri ikinci bölümde açıklanan  $BE_{min}$ ,  $BE_{max}$  ve  $M$  değerleridir. Bu değerler  $BE_{min}$  için IEEE 802.15.4 standart tanımında verilen  $[0,1,2,3]$  aralığında;  $BE_{max}$  ve  $M$  için yine bu tanımda verilen varsayılan değerlerin bir birimlik komşuluğunda (sırasıyla  $[4,5,6]$  ve  $[3,4,5]$  aralığındaki değerlerde) test edilmiştir.

**Adım 1.** Makineyi başlat:

**1a)** CSMA/CA parametre değerlerine dizideki ilk değerleri ata:  $BE_{min}$  için 0,  $BE_{max}$  için 4,  $M$  için 3.

**Adım 2.** Her bir popülasyon bireyi için aşağıdaki adımları tekrarla:

**2a)** Her bir parametrenin dizideki değerleri için aşağıdaki adımları tekrarla:

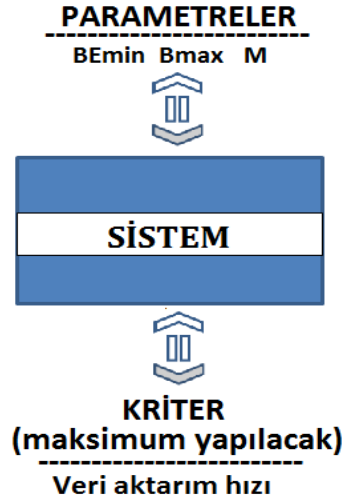
- Düzgün dağılımlı olarak rastgele zamanlar için çerçeveler üret,
- Çerçeve üretilen elemanlarca CSMA/CA sürecini olay tabanlı olarak gerçekleştir,
- CSMA/CA süreçlerinde çakışmaları ve çerçeve çarpışmalarını kaydet,
- İletilen çerçeveleri kaydet,
- Çarpışma olasılıklarını hesapla,
- Veri aktarım oranını (sağlıklı iletilen veri miktarının iletim süresine oranı) hesapla.

**Adım 3.** Çarpışma olasılığı ve veri aktarım oranları için standart sapma ve ortalama değerlerini hesapla.

**Adım 4.** Durdurma kriterini değerlendir:

- (standart sapmadaki değişim  $\leq 0.01 \cdot$  Ortalama değer) şartı sağlanıyor mu?
- bu şart sağlanmıyorsa popülasyon büyüklüğünü bir artır ve Adım 2'ye git.

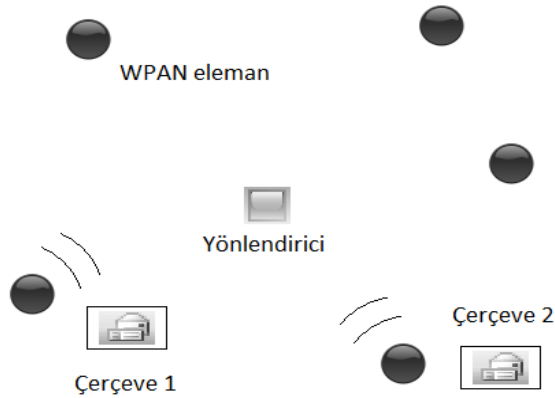
Şekil 4' de farklı WPAN ağ yapılarına yönelik Monte Carlo benzetimlerini gerçekleyecek sistemin blok şeması verilmiştir. Bu şemada maksimum veri aktarımını sağlayacak parametre değerlerinin elde edilmesine yönelik ilişki mevcuttur. Sistem, Monte Carlo makinesi ile işleyen IEEE 802.15.4 CSMA/CA işlevini içermektedir. Yukarıda dört adımda verilen döngüsel işleyiş gerçekleştirilmektedir. Sistem, çift yönlü işlemektedir. Sonucun gözlenmesinde “parametre değerleri” giriş, “veri aktarım oranı” ise çıkış durumundadır. Ancak, yeni değerlerin set edilmesi ve “veri aktarım oranı” bilgisinin kaydedilmesi sürecinde; “veri aktarım oranı” giriş, parametre değerleri ise çıkış olmaktadır.



*Şekil 4. Monte Carlo Makinesi.*

Bir WPAN üzerinde farklı elemanlarca aynı zaman dilimlerinde gerçekleşen CSMA/CA işlemleri gözlenebilir. Bu durumda farklı WPAN elemanlar aynı anda farklı çerçeveleri (frame) iletmek isteyebilir. Geliştirilen Monte Carlo benzetim yazılımı, Şekil 5’ te yer alan örnekten görüldüğü üzere farklı çerçeveler için aynı zamanlarda CSMA/CA süreçlerini gerçekleştirir. Bu süreçte, WPAN’ da eş zamanlı olarak paralel çalıştırma desteklenmelidir. Paralel çalıştırmanın gerçekleştirilmesi için Octave platformunun zamanlayıcı (timer) nesnesinden faydalanılmıştır. Zamanlayıcı nesnesi olayları (event) çoklu programlama tekniği ile paralel olarak çalıştırır. Bu anlamda, uygun parametre değerlerinin bulunmasında paralel yapıda ayırık olay çalıştırma yöntemi tercih edilmiştir.

Olaylara ait işlemlere eşit zaman dilimleri atanarak döner çekirdek (round robin) [14] tekniğinden faydalanılmıştır. Her CCA süreci paralel gerçekleşecek diye bir öngörü olamaz. Ancak, boş olan bir kanalda paralel gerçekleşen CCA’ lar çarpışmalara (collision) neden olacaktır. Çünkü, farklı WPAN elemanları kanalı aynı zamanda dinlediklerinden dolayı boş görüp iletme geçecekler ve çarpışma gözlenecektir. Bu durum kablosuz ağlarda sıklıkla rastlanan bir olaydır.



*Şekil 5. Paralel yapıda CSMA/CA süreçleri.*

#### 4. EN UYGUN CSMA/CA PARAMETRELERİNİN BULUNMASI

Monte Carlo benzetimleri Tablo 1’ de verildiği üzere üç farklı ağ yapısı için gerçekleştirilmiştir. Bu ağlar, bir yönlendirici ve farklı sayıdaki kablosuz düğümlerden oluşmaktadır. Bu düğümler, mobil aygıtlar veya internet nesnelere olabilir (internet of things). WPAN ağ yapıları, büyüklüklerine göre farklı özellikler sergiledikleri için ürettikleri performans sonuçları da farklılık arz etmektedir. Bu anlamda, gerek analiz gerekse de benzetim çalışmalarında 5 ile 50 eleman sayısı arasındaki büyüklükler dikkate alınmıştır [15], [16].

**Tablo 1. Ağ ölçeği**

Tanım	Düğüm sayısı
Küçük	5
Orta	10
Büyük	50

Düzenli dağılımlı rastgele çerçevelerin (frame) oluşturulduğu WPAN yapısı Tablo 2’ de verildiği üzere dört aşamada ele alınmıştır. İdeal bir yapıda çarpışma ve diğer çevresel etmenlerin olumsuz olarak etkilemediği düşünülür. Böyle bir yapıda, IEEE 802.15.4 WPAN hızı 250 kbit/s alınmaktadır [9]. Bu hızın çerçeve iletimi karşılığı ise Denklem (1)’ de verildiği üzere yaklaşık 2k çerçeve/s olur. Bu bilgiden hareketle, çarpışma ve diğer olumsuz etmenlerin varlığında maksimum düzeyde hız 2k çerçeve/s’ den bir miktar düşük olacaktır. Simülasyon çalışmasında bu değer en fazla 1500 çerçeve/s olarak alınmıştır. Tablo 2’ de test edilen diğer değerler yer almaktadır. Tablo 2’ de hızlı ve çok hızlı diye tanımlanan 1000 çerçeve/s ve 1500 çerçeve/s değerleri IEEE 802.15.4 WPAN ağlarında yüksek değerlerdir. Halbuki, bu değerler bir Wi-Fi ağ için oldukça küçük haberleşme hızlarını ifade eder.

**Tablo 2. Ağ trafiği**

Tanım	çerçeve/s
Yavaş	100
Normal	500
Hızlı	1000
Çok hızlı	1500

$$y = \frac{250 \text{ kbit/s}}{128 \text{ bit/çerçeve}} \approx 2k \text{ çerçeve/s} \quad (1)$$

Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’ te sırasıyla küçük, orta ve büyük ölçekli ağlardan elde edilen optimum CSMA/CA parametre değerleri verilmiştir. Bu değerler, farklı ağ trafiği yoğunluklarından çıkarılmıştır. Optimum değerler, Monte Carlo benzetimlerinden çıkarılan en yüksek “veri aktarımını” sağlayan değerlerdir. Tablolardan görüleceği üzere herbir durum için bu değerler değişiklik gösterebilmektedir. IEEE 802.15.4 protokolünde yer alan varsayılan CSMA/CA parametre değerleri ( $BE_{min}=3$   $BE_{max}=5$ ,  $M=4$ ), sonuçlar içerisinde sadece büyük ölçekli ağlarda yavaş hızlı aktarımda uyumluluk göstermektedir. Bu durum Tablo 5’ te görülmektedir. Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8’ de ise sırasıyla küçük, orta ve büyük ölçekli ağlarda birim zamanda (1s) elde edilen veri aktarım miktarları verilmiştir. Bu değerler, IEEE 802.15.4 varsayılan değerleri ile Monte Carlo benzetimlerinin ürettiği optimum değerlerin çıktılarıdır. Tablolardan görüleceği üzere optimum değerler veri aktarımında ciddi artışlar sağlamıştır. Şekil 6’ da bu durum oransal olarak bar grafiklerle gösterilmiştir. Özellikle küçük ve orta ölçekli WPAN ağ yapıları için hızlı ve çok hızlı veri trafiğinde dikkat çekici ölçüde artış olduğunu görülmektedir. Tablolar ve şekil, ağ trafiği ideal hıza (2k çerçeve/s) doğru arttıkça veri aktarım hızlarında düşümlere geçtiğini de göstermektedir. Bu durum çarpışmaların artmasıyla açıklanabilir.

**Tablo 3. Küçük ölçekli ağlar için en uygun CSMA/CA parametre değerleri**

Veri (çerçeve/s)	100	500	1000	1500
$BE_{min}$	3	1	0	0
$BE_{max}$	5	6	4	4
$M$	5	3	3	3

**Tablo 4.** Orta ölçekli ağlar için en uygun CSMA/CA parametre değerleri

Veri (çerçeve/s)	100	500	1000	1500
$BE_{min}$	3	1	0	0
$BE_{max}$	6	4	6	6
$M$	5	4	3	3

**Tablo 5.** Büyük ölçekli ağlar için en uygun CSMA/CA parametre değerleri

Veri (çerçeve/s)	100	500	1000	1500
$BE_{min}$	3	3	0	0
$BE_{max}$	5	6	4	4
$M$	4	3	3	3

**Tablo 6.** Küçük ölçekli ağlarda veri aktarım hızı (bit/s)

Veri (çerçeve/s)	Varsayılan parametre değerleri	En uygun parametre değerleri
100	$8.81 \cdot 10^4$	$9.93 \cdot 10^4$
500	$1.33 \cdot 10^5$	$1.96 \cdot 10^5$
1000	$5.53 \cdot 10^4$	$1.99 \cdot 10^5$
1500	$1.87 \cdot 10^4$	$1.84 \cdot 10^5$

**Tablo 7.** Orta ölçekli ağlarda veri aktarım hızı (bit/s).

Veri (çerçeve/s)	Varsayılan parametre değerleri	En uygun parametre değerleri
100	$9.32 \cdot 10^4$	$1.00 \cdot 10^5$
500	$1.85 \cdot 10^5$	$2.01 \cdot 10^5$
1000	$9.32 \cdot 10^4$	$1.97 \cdot 10^5$
1500	$4.61 \cdot 10^4$	$1.95 \cdot 10^5$

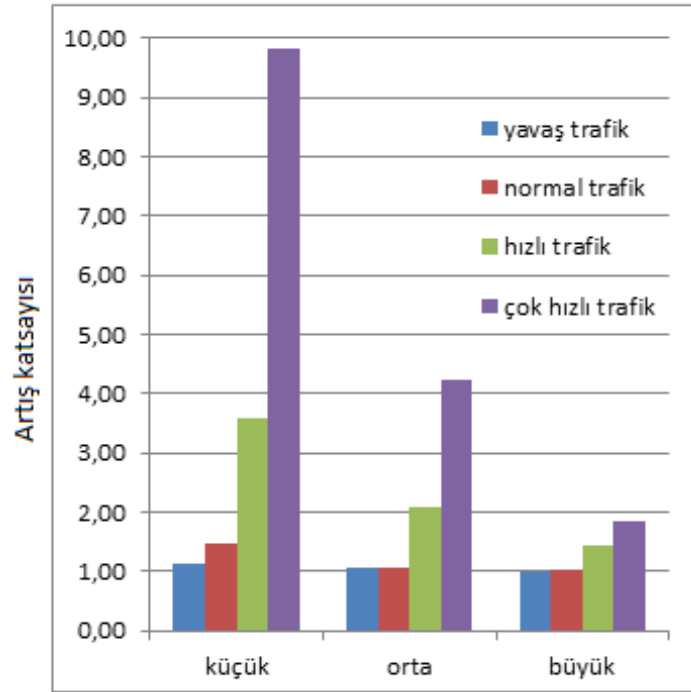
**Tablo 8.** Büyük ölçekli ağlarda veri aktarım hızı (bit/s).

Veri (çerçeve/s)	Varsayılan parametre değerleri	En uygun parametre değerleri
100	$9.63 \cdot 10^4$	$9.63 \cdot 10^4$
500	$2.17 \cdot 10^5$	$2.22 \cdot 10^5$
1000	$1.44 \cdot 10^5$	$2.10 \cdot 10^5$
1500	$1.11 \cdot 10^5$	$2.05 \cdot 10^5$

Şekil 6' dan görüleceği üzere CSMA/CA parametre değerlerinin etkisinin en fazla olduğu ağ türü küçük ölçekli WPAN yapılarıdır. Bu tür ağlarda özellikle yoğun trafikte performans artışı oldukça belirgindir.

## 5. SONUÇLAR

IEEE 802.15.4 protokolünü kullanan kişisel alan ağlarında kanal erişim kontrolü CSMA/CA parametrelerine bağlıdır. Birçok uygulamada varsayılan değerlerde kullanılan bu parametrelerin uygun değerlere ayarlanması haberleşme performansını artıracaktır. Ağ yapısına ve ağ trafiğine bağlı olarak yapılacak bu düzenleme ile veri aktarım oranında artış sağlanabilir. Bu çalışmada, Monte Carlo benzetimleri ile farklı ağ yapılarına yönelik testler sonucunda en uygun parametre değerleri elde edilmiştir. Bu değerler tablolar ile verilmiştir. Performans artışı ise karşılaştırmalı grafikler ile gösterilmiştir. Üretilen sonuçlar gözlemlenerek farklı CSMA/CA değerlerinin ağ performansına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak uygun değerlerin kullanılması ile kişisel alan ağlarında daha verimli haberleşmenin sağlanacağı testler ile doğrulanmıştır. Ağ tasarımcılarına, kullandıkları ağ yapılarına uygun olarak üretilen parametre değerleri önerilmiştir.



*Şekil 6. Küçük, orta ve büyük ölçekli ağlar için veri aktarımında artış katsayısı*

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmalarım sürecinde eşim Sema Ökdem, kızım Zeynep Yaren Ökdem ve oğlum Şahin Ökdem' e bana verdikleri motivasyon ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, bana verdiği maddi ve manevi katkılardan dolayı kardeşim Ayşe Ökdem Karakuş' a teşekkürü bir borç bilirim.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Cuomo F, Anna A, Emanuele C. "Cross-layer network formation for energy-efficient IEEE 802.15.4/ZigBee Wireless Sensor Networks". Ad Hoc Networks, 11(2), 672-686, 2013.
- [2] Toscano E, Lucia LB. "Multichannel superframe scheduling for IEEE 802.15. 4 industrial wireless sensor networks". IEEE Transactions on Industrial Informatics, 8(2), 337-350, 2012.
- [3] Yean Fu W, Anderson T, Powers D. "On energy efficient aggregation routing and scheduling in IEEE 802.15.4 based wireless sensor networks". Wireless communications and mobile computing. 14(2), 232-253, 2014.

- [4] Park P, Marco PD, Soldati P, Fischione C, Johansson K. “A generalized Markov chain model for effective analysis of slotted IEEE 802.15.4”. 6th IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS '09), Macau, China, 12-15 October 2009.
- [5] Park P, Marco PD, Fischione C, Johansson K, “Modeling and Optimization of the IEEE 802.15.4 Protocol for Reliable and Timely Communications”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 24(3), 550-564, 2012.
- [6] Francesco MD, Anastasi G, Conti M, Das S, Neri V, “Reliability and Energy Efficiency in IEEE 802.15.4/ZigBee Sensor Networks: A Cross-layer Approach”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 29(8), 1508-1524, 2011.
- [7] Brienza S, Guglielmo D, Anastasi G, Conti M, Neri V, “Strategies for Optimal MAC Parameter Setting in IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks: a Performance Comparison”, IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2013), Split, Croatia, 07-10 July 2013.
- [8] Brienza S, Guglielmo D, Alippi C, Anastasi G, Roveri M. “A learning-based algorithm for optimal mac parameters setting in IEEE 802.15. 4 wireless sensor networks”. 10th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks. Barcelona, Spain, 3-8 November 2013.
- [9] IEEE P80215 Working Group. IEEE std. 802.15.4, part. 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) 2006.
- [10] ZigBee Alliance. "ZigBee Specification". <http://www.zigbee.org> (09.02.2015).
- [11] Song J., et al. “WirelessHART: Applying wireless technology in real-time industrial process control”. Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, ST. Louis, Missouri. 22-24 April 2008.
- [12] Shelby Z, Carsten B. 6LoWPAN: The wireless embedded Internet. Vol. 43. United Kingdom, John Wiley & Sons, 2011.
- [13] Malvin H, Kalos PA. Whitlock. Monte Carlo Methods, 2nd ed. Heppenheim, Germany, Wiley, 2008.
- [14] Shreedhar M, Varghese G. “Efficient fair queueing using deficit round robin”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 25(4), 231-242, 1995.
- [15] Montavont J, Roth D, Noel T. “Mobile IPv6 in internet of things: analysis, experimentations and optimizations”. Ad Hoc Netw., 14, 15-25, 2014.
- [16] Misic J, Shafi S, Misic V. “The impact of MAC parameters on the performance of 802.15.4 PAN”. Ad Hoc Netw., 3, 509–528, 2005.



## PV Beslemeli LED Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Panel Gücü ve Akü Ömrü Üzerine Etkisi

Mehmet DEMİRTAŞ<sup>1\*</sup>, Kemal ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada, sokak aydınlatması amacıyla güneş enerjisi kaynaklı bir LED armatür için enerji kontrol yazılımı ve elektronik sistem tasarlanmıştır. LED armatürü sürebilmek için çoklu modlu çalışma olarak adlandırılan ve C# tabanlı bilgisayar arayüzü olan yeni bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin amacı yaz ve kış mevsimleri arasında oluşan farklı güneşlenme süreleri nedeniyle ihtiyaç duyulan PV panel gücündeki değişikliğin ortadan kaldırılması ve akü ömrünü uzatabilmektir. Yazılımda ortamdaki trafik yoğunluğu ve akü doluluk seviyesi parametreleri dikkate alınarak beş farklı çalışma modu oluşturulmuştur. Tasarlanan sistemde hareket sensörleri kullanılması geleneksel aydınlatma sistemine göre bir yenilik olarak görülmektedir. Ayrıca RF haberleşme modülleri ile sistemin kontrol edilmesi ve verilere ulaşılması sağlanmıştır. Sistemin etkinliğini ve verimli çalışmasını doğrulamak için sistem bir test alanında çalıştırılmıştır. Tasarlanan sistemin aküler üzerindeki etkisi ve enerji tasarrufu durumları ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Uygulama sonuçlarına göre çoklu modlu çalışan sistemin geleneksel aydınlatma sistemine göre %42 daha verimli çalıştığı deneysel olarak görülmüştür.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 13/11/2016

Düzeltilme: 19/12/2016

Kabul: 20/12/2016

### Anahtar Kelimeler

LED Aydınlatma,  
Sokak Aydınlatması,  
Akü Ömrü,  
Enerji Yönetimi,  
Enerji Verimliliği.

### Keywords

LED lighting,  
Street lighting,  
Battery life,  
Energy management,  
Energy efficiency

## The Effects on Battery Life and Panel Power of Multi-Mode Operated PV Sourced LED Street Lamp

### Abstract

In this study, solar powered LED luminaire has been designed for street lighting. To drive the led luminaire a new lighting system called "multi-mode operating" and a computer interface based on C# have been introduced. The proposed system aims to decrease the alteration of PV panel power required between summer and winter due to different insolation time; it can also extend the employed battery life. In the software five different operation modes are performed considering traffic density and ambient light conditions. In the designed system, motion sensors are used to bring innovation to classical street lighting system. Moreover, RF communication modules are exploited to control and reach the system data. To verify the effectiveness of the system, an implementation study is carried out in a test area. The effect on the battery life and the energy-saving of the designed system are examined in detail. The implementation results show that the proposed system has been experimentally observed that the system using multi-mode operates as 42% more efficient than the classical lighting system.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji ve optik verimliliği ile ön plana çıkan LED (Light Emitting Diode) teknolojisi, aydınlatma sektöründe sokak aydınlatması, trafik ışıkları, sinyalizasyon ve dekoratif aydınlatma gibi birçok iç ve dış uygulamalarda geniş çaplı kullanım alanına sahiptir. Fiziksel sağlamlık, düşük çalışma gerilimi, düşük enerji tüketimi, yüksek verimlilik ve cıva içermemesi LED aydınlatmanın diğer aydınlatma kaynaklarına göre avantajları arasındadır. Ayrıca uzun çalışma ömürleri, yüksek aydınlatma verimliliği, anlık hızlı anahtarlama olanak tanınması, geleneksel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında enerji tüketiminin %70'e varan oranlarda azaltılabilmesi ve güvenilirlik LED teknolojisinin en önemli özellikleri arasında yer almaktadır [1,2].

Geleneksel sokak aydınlatmasında kullanılan cıvalı lambalar ve sodyum buharlı lambalar yerini saydığımız bu teknik avantajları nedeniyle LED armatürlere bırakmıştır [3]. Aydınlatma uygulamalarında LED teknolojisi ile güneş enerjili sistemler birleştirilerek yapılan sistemler ise, elektrik şebekesinin olmadığı yâda şebekenin ulaştırılması gereken bölge için maliyetli olduğu durumlarda solar LED teknolojisi en uygun çözümdür [4]. Güneş enerjili LED aydınlatma ile gün içinde panellerden elde edilen enerji akülerde depolanmakta, gece ise akülerde depolanan enerji ile aydınlatma sağlanmaktadır.

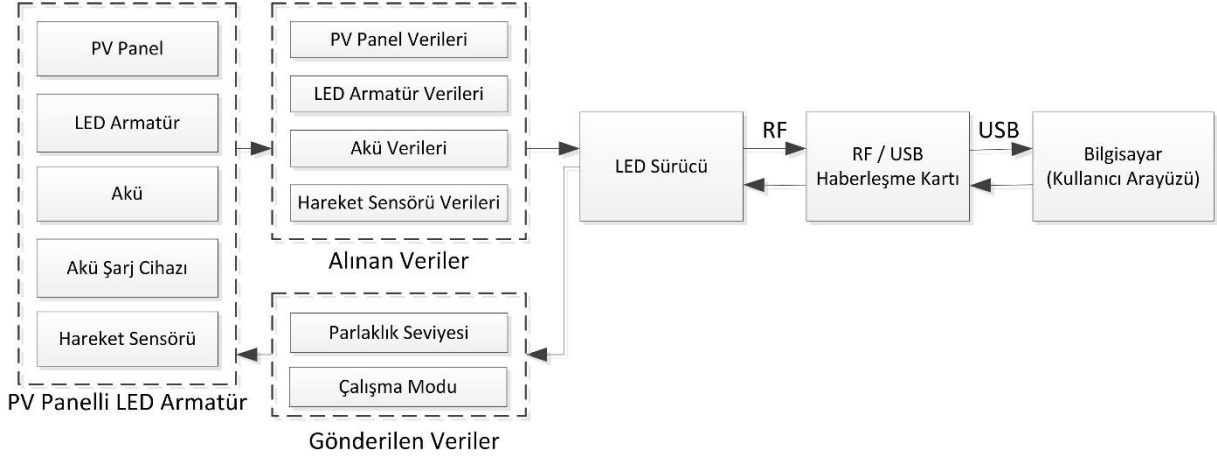
LED aydınlatma armatürleri ve kontrol sistemleri ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sabit güç ve parlaklık kontrollü solar LED sokak aydınlatma sistemleri tasarlanmış ve test edilmiştir [5]. Yapılan çalışmada 18 W ve 100 W gücünde iki farklı LED armatür için doğrudan bataryadan kontrollü sabit güçle çalışan bir sistem oluşturulmuş ve sistemin performansı incelenmiştir. Sonuçta ortamın aydınlık şiddeti değerine göre ayarlanabilen ve düşük güçle sürülen LED lambanın, bataryaların ömrünü normal çalışma sürelerine göre üç kat daha fazla uzattığı görülmüştür. Sokak aydınlatma uygulamaları için çeşitli merkezileşmiş güç dağıtım yapıları verim ve karmaşıklık açısından incelenmiştir [6]. Çalışmada 220 V AC ve 220 V DC beslemeli LED armatürlerin aynı DC veya AC baradan beslenerek ve merkezi bir noktadan kontrol edilerek karşılaştırmalı verim analizleri gerçekleştirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise sokak lambalarının enerji kullanımını minimize ederek verimliliği arttırmak için sensör kontrollü aydınlatma armatürlerini yönetmek için enerji yönetimi ağları önerilmiş ve enerji tasarrufu değerleri incelenmiştir [7]. Çalışmada simülasyon ortamında trafik yoğunluğu ve diğer bazı etkenlere, belirlenen bir bölgedeki aydınlatma armatürlerinin tepkileri ve oluşturulan sistemin maliyet ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ada modu çalışma için LED aydınlatma sistemleri geliştirilmiş, yüksek performanslı şarj/deşarj kontrolörler ve DC sürücüler tasarlanarak verim analizleri değerlendirilmiştir [8-10].

Bu çalışmada PV panel beslemeli LED sokak armatürünün çoklu modlu çalışmasının akülerin kullanımı ve güneş panellerinin mevsimsel güç tercihleri üzerine etkisi incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak harekete duyarlı sensörler ve tasarlanan bir LED sürücü ve bir bilgisayar arayüzü içeren sistemde, LED armatür için arayüz yardımıyla değişik çalışma senaryoları (modlar) tanımlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan sistemin izleme ve kontrolü C# tabanlı olarak gerçekleştirilmiş, armatürler ile merkezi bilgisayar arasındaki haberleşme RF haberleşme kartları ile sağlanmıştır. Oluşturulan sistemde LED armatür her bir çalışma modunda test edilmiştir. Tanımlanan modlara göre gece boyu belirlenen sabit bir PWM değerinde armatürü sürmek yerine, hareket sensörleri kullanılarak aydınlatılan sokaktaki insan yoğunluğu, akü seviyesi gibi değişkenlerle yapılan hesaplamalar sonucunda, değişken lümen değerinde aydınlatma yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan bu arayüz ve elektronik sistemin güneş paneli destekli aydınlatma armatürlerinde panel gücü seçimi yapılırken yaz ve kış mevsimleri arasındaki farklı panel gücü ihtiyacını minimize ederek sistemin maliyetine olumlu yönde katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. TASARIM VE UYGULAMA (DESIGN AND APPLICATION)

PV panel beslemeli LED sokak aydınlatması uygulaması için; kendi tasarladığımız 28 LED'li, 60 W'lık bir armatür ve DC-DC LED sürücü, iki adet 50 Amper-Saat'lik (Ah) akü, akü şarj cihazı, iki adet 100W'lık PV panel, haberleşme modülü ve hareket sensöründen oluşan bir sokak aydınlatması sistemi oluşturulmuştur. Sistem için farklı çalışma modları belirlenmiş ve bu modlara göre LED armatür, akü ve PV panelden alınan verilerin bilgisayar ortamında kaydedilerek sağlanan tasarruf gözlenmiştir. Bu sayede önerilen farklı aydınlatma senaryoları kıyaslanarak, avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Oluşturulan sistemin blok şeması Şekil 1'de verilmiştir.





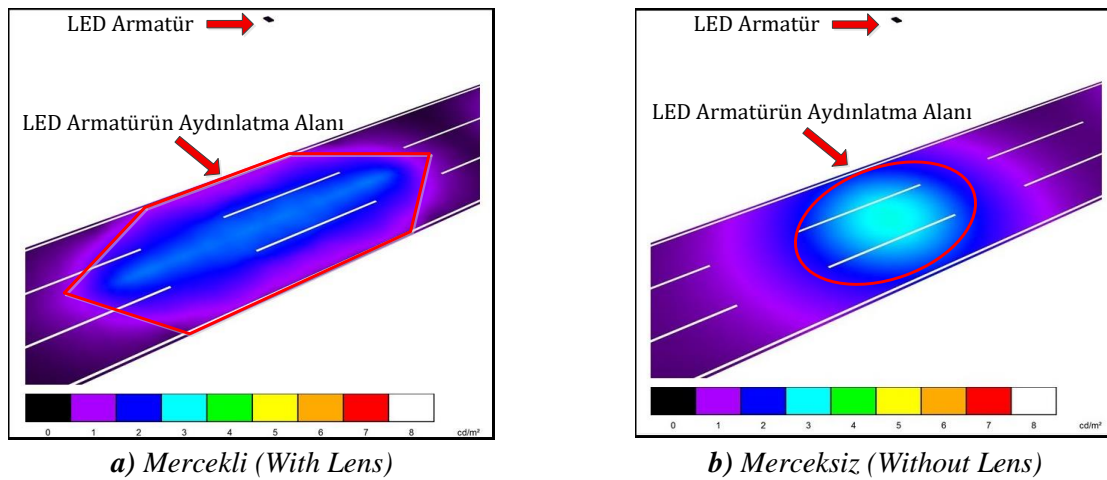
**Şekil 1.** PV panel beslemeli LED sokak armatürünün blok şeması (Block diagram of PV panel sourced LED street luminaire)

Tasarım süreci; LED armatür, DC sürücü ve kablosuz kontrol sisteminin tasarımı ve uygulanması, çalışma modlarının belirlenmesi, uzak noktadan izleme ve kontrol arayüzünün oluşturulması aşamalarını içermektedir.

## 2.1. PV Panel Beslemeli LED Sokak Armatürü Tasarımı (Design of PV Panel Sourced LED Street Luminaire)

Tasarımı ve simülasyonu Dialux programında yapılan LED armatür 60 W gücünde ve ışığın verimli kullanılabilmesi için mercekli olarak tasarlanmıştır. Armatür 167 W/lümen ışık verimliliğine, toplamda ise 10037 lümen aydınlık şiddeti değerine sahiptir [11]. Tasarlanan armatür; iki paralel kol ve her kolda seri bağlı 14 adet LED'den oluşmaktadır. Her bir paralel kol 738 miliamper (mA) akım çekmekte ve her LED üzerine yaklaşık 2.7 Volt (V) gerilim düşmektedir. LED lamba toplamda 1.476 A akım ve 40.6 V gerilim değerlerine sahiptir. Mercek üretici firmadan alınan verilere göre; mercek verimi yaklaşık %93 olduğu durumda aydınlık şiddeti 9334.41 lümen (lm) olarak hesaplanmıştır.

LED armatürün mercekli ve merceksiz ışık kullanımının Dialux programı çıktıları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde mercekli armatürün merceksiz armatüre göre ışık yayılımının daha iyi olduğu ve daha geniş bir alanda verimli aydınlatma yapabileceği görülmektedir.



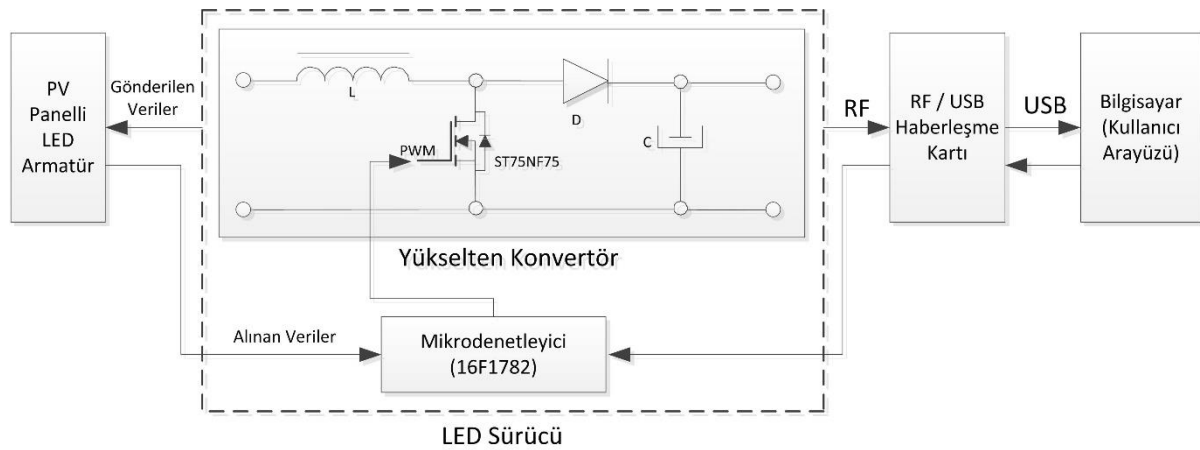
**Şekil 2.** LED armatürün mercekli ve merceksiz ışık yayılımı (Light diffusion of LED luminaire with lens and without lens)

Yapılan simülasyon sonucunda direkler arasındaki mesafenin mercekle kullanılarak artırılabilir ve aydınlatmanın daha verimli yapılabilir görülmektedir. Mercekle kullanılmadığı durumda ise yapılan tasarımın aydınlatma direğinin altında dairesel ve küçük bir bölgeyi çok fazla aydınlattığı diğer bölgelere veya yakınındaki başka bir direğin yaydığı ışığa yardımcı olmadığı görülmüştür. Böyle bir durumda yan yana belirli bir mesafede yerleştirilen direkler için direkler arası mesafenin kısa olması ve direk sayısının artırılması gerekmektedir. Sonuçta maliyeti olumsuz yönde etkileyecek bir durumu ortadan kaldırmak ve ışık şiddeti değerini daha verimli kullanmak için mercek kullanımı gereklidir.

## 2.2. DC Sürücü Tasarımı ve Kablosuz Kontrol (DC Driver Design and Wireless Control)

LED armatürde kullanılan LED'in akım-gerilim ilişkisinden dolayı küçük gerilim değişikliklerinde akım büyük ölçüde değişmekte ve akıma bağlı olarak ışık şiddeti değişmektedir. Işık şiddetinin sabit tutulabilmesi için akımının sabit kalması gerekmektedir. Sabit gerilimde sabit akımlı çalışma, armatürün aşırı ısınmasından dolayı zor bir çalışma durumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşırı ısı LED'lerin iç direncini düşürür ve akım artışı devam eder. Bu sebeple akımın sabit tutulabilmesi için sürücü kullanılması gereklidir.

Gerçekleştirilen uygulamada, iki adet 100 W gücünde PV panel, şarj cihazı aracılığıyla iki adet seri bağlı 50 Ah aküyü beslemektedir. LED besleme gerilimi 24 V seçilmiştir. Tasarımdaki seri LED dizisinin beslenmesi için gerekli olan 41 V gerilimi sağlamak için besleme gerilimi seviyesini arttıran yükselten, ayrıca akım sabitleme güçlüğü engelleyen ve enerji tasarrufu amacıyla yükselten özellikli DC sürücü kullanılmaktadır. Şekil 3'te tasarlanan yükselten tip DC sürücü devresinin genel diyagramı verilmiştir.



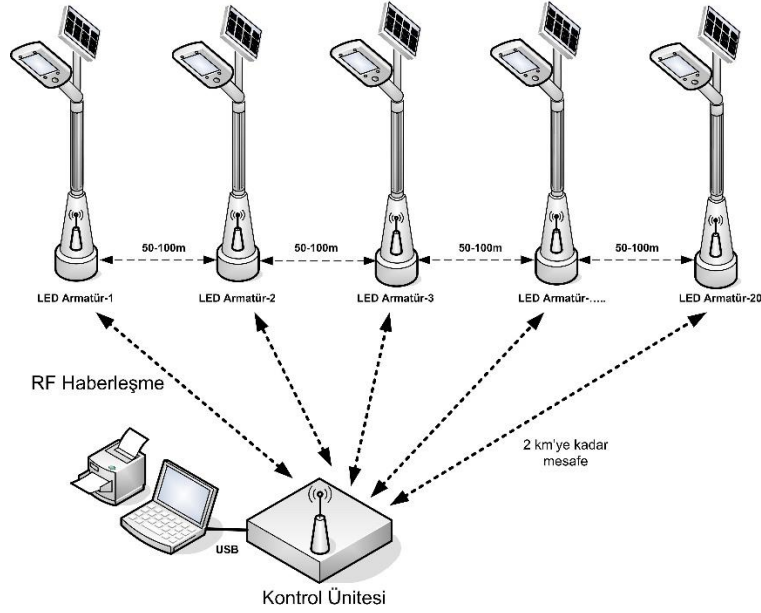
**Şekil 3.** Yükselten tip DC sürücü devresi (Boost type DC driver circuit)

Tasarlanan sürücüde akımın hassas okuması için 16 bit çözünürlükte PWM çıkışına ve 12 bit çözünürlükte analog dijital çevirici (ADC) özelliklerine sahip PIC16F1782 mikroişlemcisi ve anahtarlama elemanı olarak ta ST75NF75 modeli MOSFET kullanılmıştır. Enerji tasarrufu yapılabilmesi için LED'lerin parlaklığının değiştirilebilir olması gerekmektedir. Bunun için DC gerilim seviyesi ayarlanarak ışık akısı ayarlanmış ve armatüre aydınlık seviyesi kontrolü (dimleme) özelliği kazandırılmıştır. Gerilim seviyesinin hassas bir şekilde ayarlanarak, akım kontrolü ve dolayısıyla ışık akısı kontrolü yapılması DC sürücü tasarımının temel amacını oluşturmaktadır.

Oluşturulan sistemde sürücü devresi, radyo frekansı (RF) alıcı devresi ile bir bağlantıya sahiptir. Sürücü tarafından okunan akım gerilim verileri ve hareket sensöründen gönderilen veriler RF alıcı devresi aracılığı ile kontrol ünitesine oradan da USB aracılığı ile kullanıcı arayüzüne gönderilmektedir.

Şekil 4'te RF haberleşme sisteminin genel çalışmasına ilişkin blok şeması verilmiştir. RF alıcı devresi her direktte bir adet bulunmakta ve buldukları armatürün sürücüsünden, panellerden, akülerden ve hareket sensörlerinden aldıkları verileri merkez kontrol ünitesine göndermektedir. Kontrol ünitesi ise kullanıcı arayüzünde istenilen verileri gösterebilmekte ve seçilen aydınlatma armatürünün parlaklık değerini değiştirebilmektedir. USB devresi ise arayüzden aldığı armatür numarası ve armatür parlaklık verilerini

arak RF üzerinden alıcı devresine gönderir. Alıcı devresi aracılığı ile RF üzerinden gelen verileri kullanıcı arayüze aktarır.

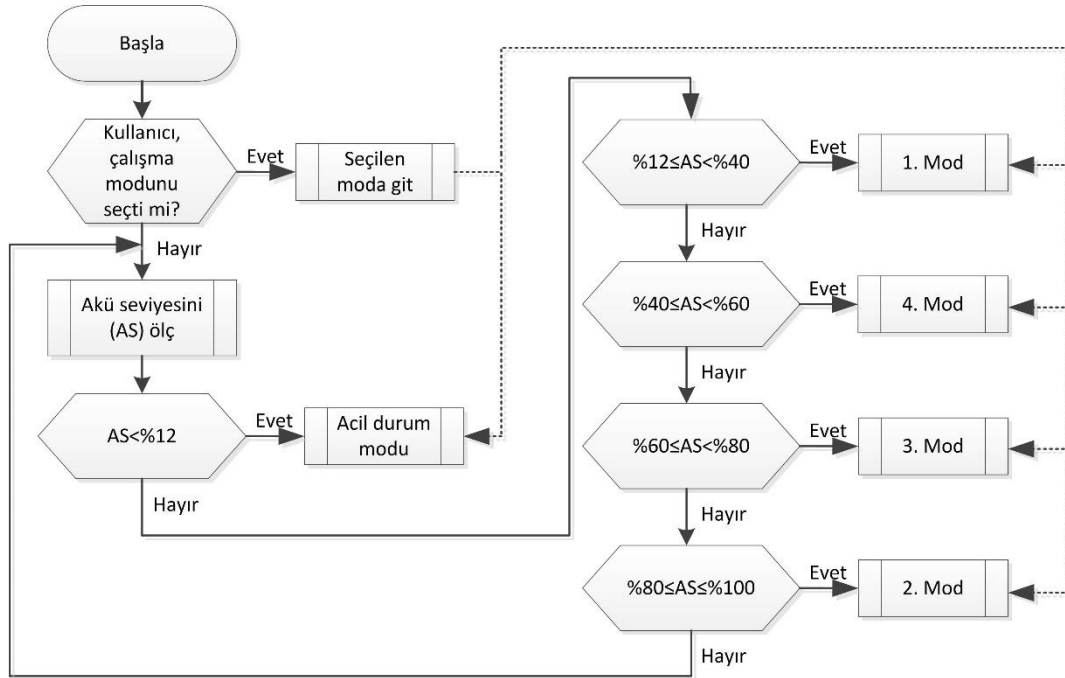


**Şekil 4.** RF haberleşme sisteminin blok şeması (Block diagram of RF communication system)

Verilerin tek merkezde toplanması ile sürekli izlenen PV panelli LED sokak aydınlatması sisteminde oluşabilecek olası arızalar belirlenebilmekte ve bilgisayar arayüzü yardımıyla belirlenen senaryolarda sistemin otonom çalışması sağlanabilmektedir.

### 3. ÇOKLU MODLU ÇALIŞMA SENARYOSU (MULTI-MODE WORKING SCENARIO)

Mevsimlerin değişimi ile güneşlenme oranının değişmesi ve akülerin şarj oranlarının farklılık göstermesi PV panel beslemeli sokak aydınlatması için önem arz etmektedir. Mevsimsel değişimlere göre değişen şarj durumunun üstesinden gelmek için ya gerekli kapasitenin üzerinde PV panel ve akü seçimi yapılmakta ya da bir müddet sonra armatür parlaklığı azaltılmaktadır. Bu çalışmada beş adet senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryonun çıktıları incelenerek verim ve ışık değerleri elde edilmiştir. Kaydedilen akü verilerine göre LED armatürün çalışma modunu kendi belirleyebildiği veya arayüz yardımıyla elle belirlenen bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem ile optimum şartlarda mevcut enerjiyi maksimum verimle kullanmak ve enerji kesintisinden hiçbir armatürün etkilenmemesi amaçlanmıştır. Oluşturulan algoritmanın blok şeması Şekil 5'te verilmiştir.



**Şekil 5.** Çalışma modları algoritmasının akış şeması (Flowchart of operating modes algorithm)

Tasarlanan sistemin çalışması sırasında öncelikli olarak akü seviyesi göz önünde bulundurulmakta ve seviye durumuna göre çalışma modları tercih edilmektedir. Burada amaç LED armatürün güneşin olmadığı saatlerde akülerden besleneceği için akü kullanım oranını minimize etmek ve akünün ömrünü uzatabilme. Eğer akü seviyesi %12'nin altına düşerse armatür belirlenen bir parlaklık oranında akülerle bir tam gece boyunca çalışmayacağı için kendini koruma altına almakta ve "Acil Durum Modu" adı verilen bir modda çalışarak akü seviyesi yeterli seviyeye ulaşıncaya kadar LED lambayı minimum seviye olan %20 parlaklık seviyesinde yakmaktadır. Normal çalışma amacıyla oluşturulan dört farklı çalışma durumu aşağıda açıklanmıştır.

**Mod 1:** LED armatür, hareket sensöründen bilgi gelmediği sürece %20 PWM oranıyla çalışır. Hareket algılandığı zaman ise parlaklık %100'e çıkartılır. Sistem 10 dk. Sonra eski çalışma durumuna dönmektedir.

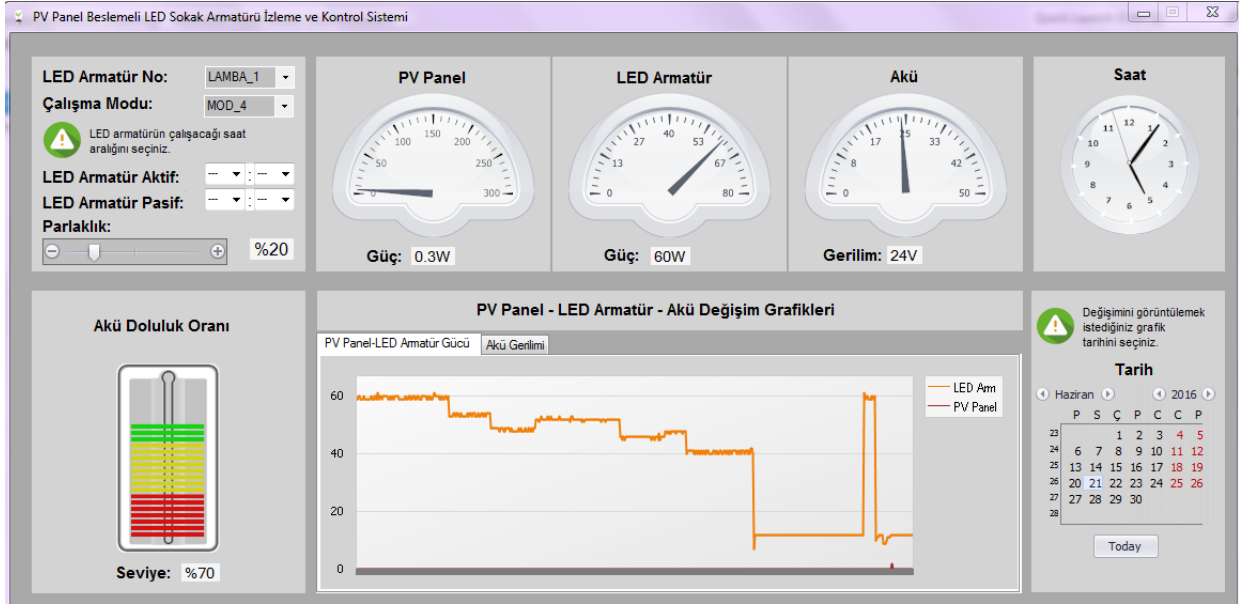
**Mod 2:** LED armatür, 60W güçte 10 saat boyunca %100 parlaklık seviyesinde çalışır. Hareket sensörü aktif değildir. Lamba sürekli olarak aynı parlaklıkta yanar. Bu mod aküde depolanmış fazla enerji olması halinde mevcut enerjinin maksimum fayda ile kullanımı için seçilir.

**Mod 3:** LED armatür %100 parlaklık seviyesinde çalışmaya başlar. Lamba hareket sensöründen bağımsız ancak sürücü ve kontrol ünitesi hareket sensöründen gelen bilgilerle çalışmaktadır. Sensörden bir önceki gün için gelen verilerle çalışılan bu mod için saatler arası trafik yoğunluğunun durumu baz alınarak gece dört farklı dilime ayrılmıştır. Kullanıcı seçimine bağlı olarak armatürün her bir dilim için çalışacağı parlaklık seviyesi tanımlanmıştır. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak parlaklık seviyesi dilimler arası düzenli olarak azaltılır veya artırılır.

**Mod 4:** %100 parlaklık seviyesine karşılık gelen %100 yoğunluk durumuna göre 30 dakika aralıklarla hareket sensöründen gelen yoğunluk verisine karşılık gelen parlaklık seviyesi hesaplanır ve LED armatür o parlaklık durumunda çalışır. Saat 03:<sup>30</sup>'dan itibaren LED armatür tasarruf moduna geçer ve 12 W güç değerinde çalışır. Sensörden hareket algılandığında tam güçte çalışma sağlanır ve 10 dakika bu güçte çalışır. Hareket algılanmaz ise tekrar tasarruf gücüne geri döner. Belirlenen süre boyunca hareket sensörüne bağlı olarak tam güç ve tasarruf gücü arasında çalışır.

### 3.1. Uzaktan İzleme ve Kontrol İçin Kullanıcı Arayüzü (User Interface for Remote Monitoring and Control)

Tasarlanan sistemdeki LED armatürler ile iletişimin sürekli olabilmesi için Şekil 6'da verilen uzak noktadan izleme ve kontrol kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. LED armatürlerin, PV panelin ve akülerin her birinin ayrı ayrı akım ve gerilimleri RF aracılığıyla merkez bilgisayara aktarılmış ve kullanıcı arayüzü ile kaydedilmiştir. Sokak aydınlatma sisteminde kullanılan LED armatürler numaralandırılmıştır. Kullanıcı arayüzünden LED armatür numarası seçilerek istenilen armatüre ilişkin LED armatür gücü, panel gücü ve akü gerilimi izlenebilmektedir. Ayrıca kaydedilen veriler ile oluşturulan veri tabanına, arayüz üzerinden erişilerek istenilen tarihe ait LED armatür ve panel gücü eğrileri çizdirilebilmekte ve grafikler yorumlanabilmektedir.



Şekil 6. Uzaktan izleme ve kontrol için kullanıcı arayüzü (User Interface for Remote Monitoring and Control)

İstenildiğinde armatürlerin programlanacağı farklı çalışma modları, kullanıcı arayüzünden ayarlanabilmekte, modlar arasında geçiş yapılabilmekte, alınan veriler çalışılan moda göre veri tabanına kaydedilmektedir. Kullanıcı girişi yapılmadığı durumda ise sistem otomatik olarak akü seviyesine bağlı kalarak Şekil 5'te verilen algoritmayı uygulamaktadır. Aynı ortamda bulunan armatürler, yaklaşık olarak aynı güneş ışığı ve hareketlilik değerlerine sahip olacağından, elde edilen değerler modun güç ve ışık değerleri olacaktır. Bu sayede modların ortam koşullarına göre kıyaslamaları yapılmıştır. Yapılan bu kıyaslama sonunda her modun enerji harcama değerleri ve akü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arayüze eklenmiş olan otomatik mod seçme özelliği ile akü durumunu inceleyen bilgisayar algoritması; akü değerine ve mod performansına göre en uygun modu kendisi belirlemektedir. Bu sayede mevcut durumda depolanan enerjinin maksimum performansta kullanılması sağlanmıştır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME (EXPERIMENTAL STUDIES AND EVALUATION)

PV panel beslemeli LED sokak aydınlatması uygulaması, beş farklı moda göre belirlenen çalışma senaryolarıyla test edilmiştir. Şekil 7'de verilen test alanında PV panellerden gündüz saatlerinde akülere depolanan enerjinin, LED armatür üzerinde harcanması, sistemin harekete ve yaya trafiği yoğunluğuna göre çalıştırılması durumunda elde edilen veriler yardımıyla aşağıda sırasıyla her bir modun performansı değerlendirilmiştir.



**Şekil 7.** PV beslemeli LED armatür için oluşturulan armatür ve direk gövdesi (Armature and pole body for PV sourced LED luminaire)

**Mod 1'in performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 1):** LED armatür, hareket sensöründen bilgi gelmediği sürece %20 PWM oranıyla çalışır. Belirlenen bu oran 60 W gücünde tasarlanan armatürün 12 W'lık bir enerji tüketmesini sağlamaktadır. Hareket algılandığı zaman ise parlaklık %100'e çıkartılır. 1. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.a'da verilmiştir. 1. mod çalışma senaryosuna göre; hareket sensöründen gelen bilgiye göre parlaklık %100 ile %20 arasında değişmektedir. Hareket algılandığı zaman armatür maksimum güç ve parlaklık seviyesine getirilmekte ve 10 dakika boyunca maksimumda kalmaktadır. Belirlenen süre sonunda hareket algılanmaya devam ettikçe 10 dakikalık bekleme süresi yenilenmektedir. Sensörden 10 dakika boyunca hareket bilgisi gelmez ise sistem kendini tasarruf modu olan 12 W güç ve %20 parlaklık değerine ayarlamaktadır.

1. moda göre sistemde harcanan ortalama güç Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır. Eşitlikte  $P$  gücü,  $P_{ort}$  ise ortalama gücü temsil etmektedir.

$$P_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^t p \times dt \quad (1)$$

1. moda göre harcanan ortalama güç elde edilen verilerin MS excel'de hesaplatılması ile 20.998 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %35'i kadardır. Akü kapasitesinden 8,75Ah'lik enerji tüketilmiştir.

**Mod 2'nin performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 2):** LED armatür, 60 W güçte 10 saat boyunca %100 parlaklık seviyesinde çalışır. Hareket sensörü aktif değildir. 2. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.b'de verilmiştir. 2. modda herhangi bir tasarruf yada parlaklık ayarı yapılmamaktadır. Akülerin tam dolu şarj seviyesinde olması durumunda sistem tarafından bu çalışma modu etkinleştirilir. Bu mod aküde depolanmış fazla enerji olması halinde mevcut enerjinin maksimum fayda ile kullanımı için belirli aralıklarla otomatik olarak seçilir.

Akülerin yaz aylarında tam dolu şarjlı olması ve akülerde harcanacak enerjinin gerekli olan enerjiden iki ya da üç kat fazla enerjinin depo edilmesi durumunda tasarruf yapılması gereksiz olmakta ve 2. modun kullanımı gerekmektedir. Akülerde sürekli olarak depolu bulunan ve kullanılmayan enerji akünün zarar görmesine neden olabilir. Bunun önlenmesi ve eldeki enerjinin maksimum fayda ile kullanılması için tam kapasite çalışma olan 2. moda geçiş yapılır. 2. moda göre harcanan ortalama güç 60 W olarak hesaplanmıştır. Sistem %100 güç tüketimi ile çalıştırılmış ve akü kapasitesinden 25 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.

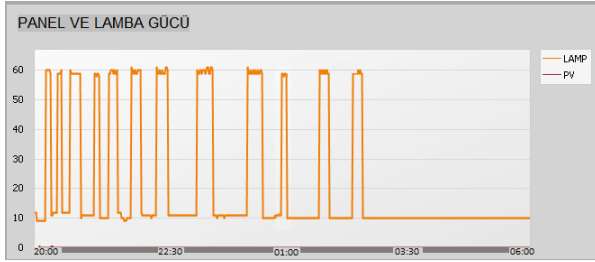
**Mod 3'ün performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 3):** LED armatür %100 parlaklık seviyesinde tam performans çalışmaya başlar. 3. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.c'de verilmiştir. Lambanın hareket sensöründen bağımsız çalıştığı bu uygulama modunda, lambanın

çalıştığı saatler arası trafik yoğunluk durumu baz alınarak gece dört farklı dilime ayrılmıştır. Birinci dilim 20:00-22:30 saatleri arasını kapsayan kalabalığın en yoğun olduğu ilk çalışma aralığıdır ve %100 parlaklık seviyesinde çalışılır. İkinci dilim 22:30-01:00 saatleri arasını kapsayan yoğunluğun düşüğe geçtiği olduğu evredir ve %75 parlaklık seviyesinde çalışılır. İkinci dilimden sonrası için tasarruf moduna geçilmiştir. Üçüncü dilim 01:00-03:30 saatleri arasını kapsayan yoğunluğun iyice azaldığı evredir ve %50 parlaklık seviyesinde çalışılır. Güvenlik amaçlı olarak düşünülen dördüncü dilim 03:30-06:00 saatleri arasını kapsayan yoğunluğun çok çok az olduğu evredir, %30 parlaklık seviyesinde ve 18 W güç değerinde çalışılır. Kullanıcı seçimine bağlı olarak armatürün her bir dilim için çalışacağı parlaklık seviyesi tanımlanmıştır. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak parlaklık seviyesi dilimler arası düzenli olarak azaltılır ve armatür gücü düşürülür. Saat dilimleri arası ve her bir dilimdeki armatür parlaklık seviyesi azalımı miktarı kullanıcı kontrollü olarak değiştirilebilir.

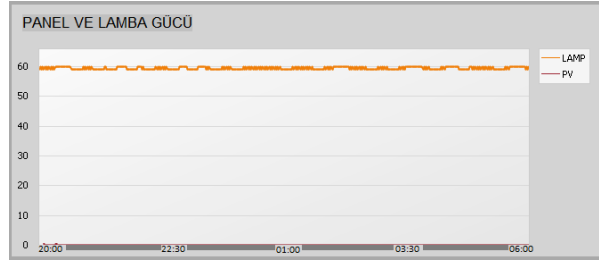
3. moda göre harcanan ortalama güç 40.48 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %67'sidir. Akü kapasitesinden 17 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.

**Mod 4'ün performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 4):** %100 parlaklık seviyesine karşılık gelen %100 yoğunluk durumu belirlenir. 30 dakika aralıklarla hareket sensöründen gelen yoğunluk verisine karşılık gelen parlaklık seviyesi hesaplanır ve LED armatür o parlaklık durumunda çalışır. Saat 01:45'den itibaren LED armatür tasarruf durumuna geçer ve 12 W güç değerinde çalışır. Bu noktadan itibaren sensörden bir hareket algılandığında sistem tam güce geçer ve bu konumda 10 dakika kalır. Bu sürenin sonunda hareket algılanmaz ise tasarruf durumuna geri dönlür. Sistemde manuel şekilde ayarlanmış olarak 30 dakikalık değerler ile sayım yapmaktadır. İlk yarım saatlik süre içerisinde alınan sayım değeri maksimum değer olarak kabul edilir. Minimum değer olarak ise "0" değeri atanır. Bu çalışma modu için armatürün maksimum güç değeri 60 W, minimum güç değeri ise 12 W'tır. Bu senaryo ile yoğunluk sayısına göre armatür parlaklığı değişkenlik göstermektedir. Hareket olmadığı durumda tasarruf durumunda çalışılırken, hareket olduğunda tam güçte çalışılır. Böylelikle akülerin faydalı kullanımı sağlanmış olur. 4. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.d'de verilmiştir.

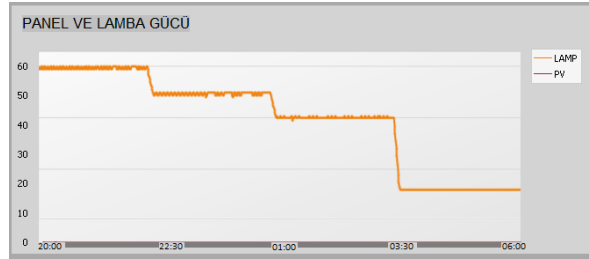
4. moda göre harcanan ortalama güç 35.58 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %59'udur. Akü kapasitesinden 15 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.



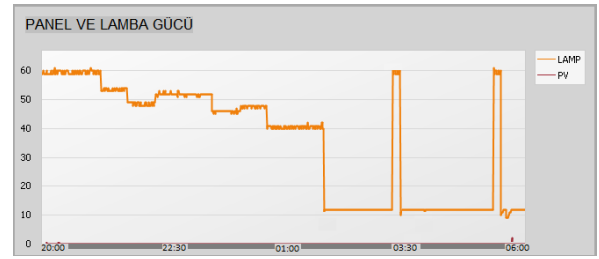
a) 1. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 1)



b) 2. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 2)



c) 3. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 3)



d) 4. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 4)

Şekil 8. Çalışma modlarından elde edilen grafikler (Graphs from operating modes)

#### 4.1 PV Panel ve Akü Kapasitesi Hesabı (PV Panel and Battery Capacity Account)

PV panel ve akü kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Ankara için Avrupa Komisyonu tarafından Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) sitesinde yayınlanan, aylara göre güneşlenme değerleri kullanılmıştır[13]. PVGIS sitesine göre minimum günlük ortalama enerji üretimi ocak ayında 1000 W'lık panel için 2.10 kWh olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm günlük 2.1 saat güneşlenme süresine karşılık gelmektedir. Temmuz ayında maksimum günlük ortalama enerji üretimi 5.25 kWh olarak ölçülmüş ve 5.25 saatlik güneşlenme süresine sahiptir.

**Normal çalışma için PV panel ve akü hesabı (PV panel and battery account for normal operation):** 60W'lık LED armatürün 10 saat boyunca klasik çalışması Eşitlik (2) ile hesaplandığında 600 Wh enerji gerekir.

$$W = P \times h = 60 \times 10 = 600Wh \quad (2)$$

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 2.10 kWh ile ocak ayı değerlendirildiğinde; gereken panel ihtiyacı Eşitlik (3) ile hesaplandığında 285.71 W olacaktır.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{600}{2.10} = 285.71W \quad (3)$$

285.71 W PV panel yerine toleranslı olunarak iki adet 150 W değerinde, toplamda ise 300 W panel kullanılabilir. Hesaplanan panel gücüne göre ocak ayı için akü hesabı Eşitlik (4) ile yapıldığında, minimum 630 Wh akü kapasitesine sahip olunması gerekmektedir.

$$W = P \times h = 300 \times 2.1 = 630Wh \quad (4)$$

İki adet 12 V'luk akünün seri bağlanmasıyla akülerin uç gerilimi 24 V olacağından, Eşitlik (5) ile hesaplandığı gibi iki adet 26.25 Ah'lik akü gereklidir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{630}{24} = 26.25Ah \quad (5)$$

Akü seçiminde en kötü senaryoya açısından; bir sisteme, iki gün enerji sağlayabilen kapasiteler tercih edilmektedir. Daha büyük kapasite maliyeti artırdığı için en uygun değerde kapasite seçimi önemlidir.

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 5.25 kWh ile temmuz ayı değerlendirildiğinde; Ocak ayı için yapılan hesaplamalarda seçilen 300 W'lık panel için sağlanan enerji Eşitlik (6) ile hesaplandığında 1575W olacaktır.

$$W = 300 \times 5.25 = 300 \times 21 = 1575Wh \quad (6)$$

Kış şartları için 630 Wh olarak hesaplanan akü kapasitesi ile yaz şartları için 1575 Wh olarak hesaplanan akü kapasitesi karşılaştırıldığında yaklaşık %60'lık boşa harcama söz konusudur. Akü yaz şartlarına göre seçilirse Eşitlik (7) ile hesaplandığı gibi 65 Ah akü gereklidir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1575}{24} = 65Ah \quad (7)$$

Günlük 1575 Wh enerjinin 10 saat kullanılacağı göz önüne alındığında sistem Eşitlik (8) ile verildiği gibi 157.5 W güç sağlayabilmektedir. Seçilen LED armatür 60 W gücünde olduğundan, akünün gereksiz yere şarj olması ve sürekli ekstra %66 dolu olması güneş enerjisinden elde edilen enerjinin tam verimle kullanılamaması anlamına gelmektedir.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{1575}{10} = 157.5W \quad (8)$$

Yaz ve kış şartlarındaki hesaplamalar değerlendirildiğinde; dört farklı seçenek arasından seçim yapılması gerekmektedir. Birinci seçenekte; panel ve akü kış şartlarına göre seçilebilir, yazın depolanacak enerjiden vazgeçilebilir. Ancak akünün dolu olarak sürekli tekrar şarj edilmesi aküye zarar verebilir. Belirli aralıklarla aküye tam deşarj uygulanması gerekir. İkinci seçenekte; panel ve akü yaz şartlarına göre seçilebilir, kışın yalnızca kapasitenin yaklaşık üçte birini kullanılır. Üçüncü seçenekte; paneli kış şartlarına göre seçip yazın depolanan fazla enerjinin kullanılabilmesi için sistemin gücü üç katına çıkartılabilir. Dördüncü seçenekte ise panel kış şartlarına göre, akü ise yaz şartlarına göre seçilir. Kış şartlarında sistem gücü karşılanırken, yazın fazla enerji elektrikli araçların şarj edilmesi gibi başka yöntemlerle tüketilerek fayda



sağlanabilir. Seçenekler değerlendirildiğinde, pratikte akü ve panel kış şartlarına göre seçilir ve yazın depolanacak fazla enerjiden feragat edilir. Hesaplanan veriler doğrultusunda iki adet 150W'lık solar panel ve iki adet 50 Ah'lik akü seçilmesi gereklidir.

**Çoklu modlu çalışma için PV panel ve akü hesabı (PV panel and battery account for multi mode operation):** 4. Mod çalışmada hesaplanan 35 W'lık ortalama güç değeri baz alınarak 10 saatlik günlük çalışma için gereken enerji Eşitlik (9) ile hesaplandığında 350 Wh elde edilir.

$$W = P \times h = 35 \times 10 = 350Wh \quad (9)$$

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 2.10 saat ile ocak ayı değerlendirildiğinde; gereken panel ihtiyacı Eşitlik (10) ile hesaplandığında 166W olacaktır.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{350}{2.10} = 166W \quad (10)$$

Akü hesabı 60 W'lık LED armatürün 10 saat boyunca çalıştığı ve 600 W enerji harcadığı 2. Mod'a göre Eşitlik (11) ile yapıldığında, minimum 25 Ah'lik akü kapasitesine sahip olunması gerekmektedir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{600}{24} = 25Ah \quad (11)$$

Hesaplanan akü değeri üzerine tolerans değeri eklenebilmektedir. Fakat diğer çalışma modlarında tasarruflu çalışma durumları etkili olduğu için tolerans eklemesi gerekli değildir. Yapılan hesaplar doğrultusunda normal ve çoklu modlu çalışmada gerekli olan PV panel ve akü değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Klasik ve çoklu modlu çalışma için gereken panel ve kapasite değerleri (Required panel and capacity values for classic and multimodal operation)

Çalışma Durumu	PV Panel Gücü (W)	Akü Kapasitesi (Ah)
Klasik Mod	300 W	50 Ah
Çoklu Çalışma Modu	160 W	25 Ah

Çoklu modlu çalışmanın klasik moda göre hem PV panel seçiminde hem de akü kapasitesi seçiminde önemli avantajları bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin yapılan hesaplamalar ve deneyler sonunda iki adet 100 W PV panel ve iki adet 25 Ah akü ile çalışabileceği ortaya çıkmaktadır.

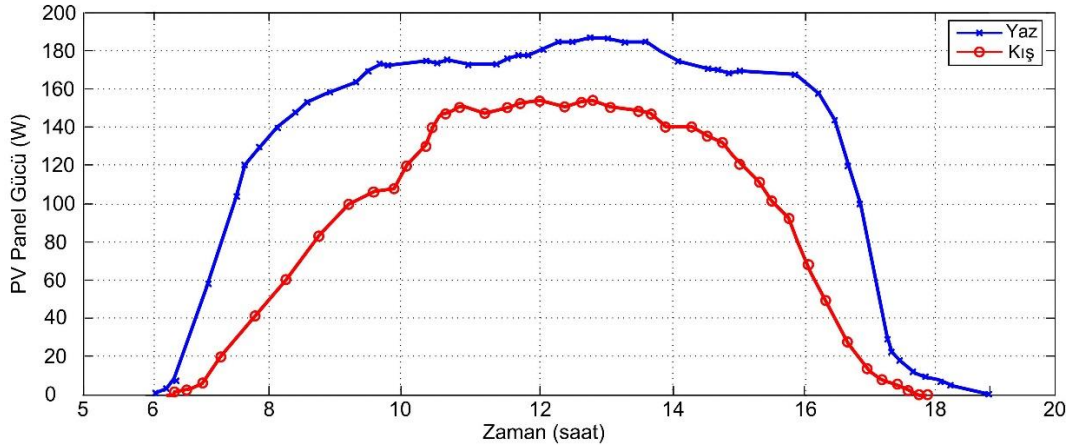
Eşitlik (3) ile elde edilen normal çalışma durumundaki panel gücü değeriyle, Eşitlik (10) ile elde edilen çoklu mod çalışma durumundaki gerekli panel gücü değerleri karşılaştırılacak olursa;

$$\eta = \frac{P_{pv-normal\_mod} - P_{pv-coklu\_mod}}{P_{pv-normal\_mod}} = \frac{285,71 - 166}{285,71} = \%42 \quad (12)$$

Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen sistemin normal bir sisteme göre %42 daha verimli olduğu veya bu oranda daha az bir panel gücüne ihtiyaç duyacağı deneysel olarak ispatlanmıştır.

**PV panelin ve akünün kapasitesinin değerlendirmesi (Evaluation of PV panel and battery capacity):**

Hesaplanan ve seçilen değerlere göre PV panel ve akü kapasitesi değerlendirilmesi için yaz şartlarında güneşli bir gün ve kış şartlarında bir gün için elde edilen güç eğrileri incelenmiştir. Şekil 9'da yaz ve kış mevsimlerindeki karşılaştırmada kullanılan 100 W'lık iki panel ile PV panel gücü grafiği verilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla yapılan hesaplamalarda yaz mevsiminde depolanan enerji ortalama 111 W olarak hesaplanmıştır. 10 saatlik çalışma neticesinde 1110 Wh olarak belirlenmiş ve 46.25 Ah'lik enerji depolanmıştır. Kış mevsimi için elde edilen verilerle yapılan hesaplamada ise depolanan enerji ortalama 87 W olarak hesaplanmıştır. 10 saatlik çalışma neticesinde 870 Wh olarak belirlenmiş ve 36Ah'lik enerji depolanmıştır. Hesaplamalardan görüleceği üzere depo edilen enerji yaz ve kış mevsimleri için tasarlanan armatürün harcayabileceği değerden fazla olduğu için artan enerji kullanılmadan akülerde kalmaktadır.



Şekil 9. Yaz ve kış mevsimlerinde bir gün için panellerden elde edilen güç eğrisi (Power curve obtained from panels for one day during summer and winter seasons)

**Kabul edilebilir minimum güç seviyesi (Acceptable minimum power level) :** PV panelli LED sokak aydınlatma sistemi, beş farklı çalışma senaryosunda ayrı ayrı çalışılabilmektedir. Ya da akü seviyesine göre maksimum güçten başlanarak sistemin günlük karşılayabileceği güç için hangi modda çalışılacağına sistem kendi karar vermektedir. Örneğin 4. modda yoğunluğa göre parlaklık seviyesi sürekli değişmektedir. Bu senaryoda yaya trafiği sürekli olarak kontrol edildiği ve parlaklık oranları belirlendiğinde, akülerin şarj oranı belirli bir noktanın altına düşmesi durumunda sistem geceyi standartlara uygun lümen değerinde tamamlayabilmek için gerekli olan güç seviyesini hesaplayıp belirlenen güç seviyesine kendini ayarlayacaktır. Kabul edilir minimum güç seviyesi karayolları M2 standardı esas alınarak 2000 lümen olarak hesaplanmıştır [12]. Uygulaması gerçekleştirilen bu sistem, 7 metre genişliğinde bir yol için 4 metre lamba yüksekliğinde M2 standardına uygundur.

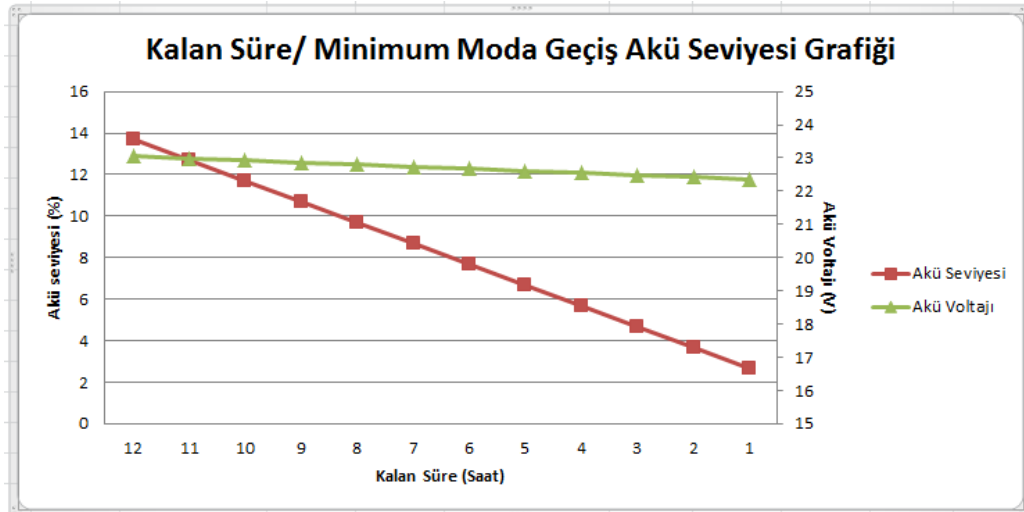
LED armatürün hesaplanmış watt başına lümen değeri 167 W/lümen olduğuna göre gerekli olan minimum güç değeri Eşitlik (13) ile 12 W hesaplanır.

$$P = \frac{\text{Lümen}}{\text{Işık verimi}} = \frac{2000}{167} = 12W \quad (13)$$

Ayrıca 60 W gücündeki LED armatür için minimum 12 W parlaklık seviyesi tanımlandığına göre minimum seviyedeki güç değeri Eşitlik (14) ile %20 olarak hesaplanır.

$$\% \text{Parlaklık} = \frac{P_t}{P} \times 100 = \frac{12}{60} \times 100 = \%20 \quad (14)$$

Şekil 10'da çalışmada kullanılan 50 Ah akünün, 10 saat çalışma süresine göre minimum moda geçiş için güç ve gerilim seviyesinin değişimleri verilmiştir.



Şekil 10. Minimum moda geçişte akü seviye grafiği (Battery level graph in transition to minimum mode)

Grafiğe göre armatür herhangi bir parlaklık değerinde çalışırken, çalışma süresinin bitimine 10 saat kaldıysa aküde depolu olması gereken enerji %12 ve akü gerilim seviyesi 22.92 V değerlerinin üzerinde olmalıdır. Bu değerler sınır değerlerdir. Eğer akü seviyesi ve akü gerilimi bu sınır değerlerin altına düşerse sistem acil durum modu seviyesi olan %20 parlaklık değerine otomatik olarak geçecektir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Güneş paneli kaynaklı olarak akü beslemeli çalıştırılan LED sokak armatürü uygulaması için, farklı çalışma senaryolarını barındıran beş farklı mod test alanında yapılan deneysel çalışmalar ile test edilmiştir. Uygulaması gerçekleştirilen PV panel beslemeli LED sokak aydınlatma sistemi; ortalama güç, minimum akü kapasitesi, kış ayları için minimum panel gücü, yaz ayları için minimum panel gücü ve kullanılan güç yüzdesi ölçütleri bakımından kıyaslaması Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Önerilen çalışma modların karşılaştırılması (Comparison of recommended study modes)

Kıyaslama ölçütleri	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
Ortalama güç (W)	21	60	41	36
Minimum akü kapasitesi (Ah)	8,75	25	17	15
Kış ayları için minimum panel gücü (Ocak) (W)	100	285	195	170
Yaz ayları için minimum panel gücü (Ağustos) (W)	40	115	78	70
Kullanılan Güç Yüzdesi (%)	35	100	67	59

Tablo ortalama güç tüketimi bakımından incelendiğinde; en az ortalama güç tüketimi Mod 1’de, en çok ortalama güç tüketimi ise Mod 2’de olmaktadır. Minimum akü kapasitesi bakımından tablo incelendiğinde; minimum akü kapasitesi en az Mod 1’de, en çok ise Mod 2’de olmuştur. Gerekli olan panel gücü bakımından tablodaki değerler kıyaslandığında, ocak ayı için gerekli minimum panel gücü 100 W iken, yaz ayları için gerekli maksimum panel gücü 2. modda 115 W olarak hesaplanmıştır. Sistemin çoklu modlu çalışması sayesinde yaz ve kış ayları arasındaki gerekli olan panel gücü farkı büyük oranda birbirine yaklaştırılmıştır. Bu sayede 115 W PV panel yazın tam performansta çalışırken, kışın düşük enerji sarfıyatı olan modda çalışabilecektir. Güneşli günlerde ise güneşlenme seviyesine en uygun olan mod çalışacağı için panellere gelen tüm enerji en faydalı şekilde kullanılmış olacaktır.

Farklı çalışma modlarının diğer bir avantajı ise yaz ve kış ayları için gerekli olan ortalama akü kapasitesinin düşürülmesidir. Tasarlanan sistem ve önerilen çalışma metodları ile PV panel beslemeli LED sokak aydınlatma armatürü sistemlerinde verimin arttırıldığı, akü kapasitesinin ve mevsimlere göre gereken panel gücünün optimize edildiği deneysel olarak ispat edilmiştir. Tasarlanan arayüz ve yazılım farklı aydınlatma sistemlerine entegre edilerek ekonomik ve verimli sistem uygulamaları gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Ayrıca oluşturulan sistemin fazla enerji depolaması durumunda enerjiyi elektrikli bisiklet veya bu gibi araçların şarjında kullanılabileceği sistemlerin geliştirilmesi, şebekeden bağımsız sistemlerle çalışmada bir avantaj olarak görülmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] De Almeida, A. Santos, B. Paolo, B. Quicheron, M., “Solid State Lighting Review-Potential And Challenges In Europe”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 34, 30-48, 2014.
- [2] Singh, D. Basu, C. Meinhardt-Wollweber, N., Roth, B., “Leds For Energy Efficient Greenhouse Lighting”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 49, 139-147, 2015.
- [3] Hong, G.W. Abe, N., “Modeling and Optimizing a Sub-Centralized LED Lamps Provision System for Rural Communities”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 16, 4616-4628, 2012.

- [4] Wu, M.S. Huang, H.H. Huang, B.J. Tang, C.W. Cheng, C.W., “Economic Feasibility Of Solar-Powered Led Roadway Lighting”, **Renewable Energy**, Cilt 34, No 8, 1934-1938, 2009.
- [5] Huang, B.J. Chen, C.W. Hsu, P.C. Tseng, W.M. Wu, M.S., “Direct Battery-Driven Solar LED Lighting Using Constant-Power Control”, **Solar Energy**, Cilt 86, No 11, 3250-3259, 2012.
- [6] Panguloori, RB. Mishra, PR. Kumar, S. “Power Distribution Architectures to Improve System Efficiency of Centralized Medium Scale PV Street Lighting System”, **Solar Energy**, Cilt 97, 405-413, 2013.
- [7] Lau, S.P. Merrett, G.V. Weddell, A.S. White, N.M., “A Traffic-Aware Street Lighting Scheme for Smart Cities Using Autonomous Networked Sensors”, **Computers and Electrical Engineering**, Cilt 45, 192-207, 2015.
- [8] Huang, B.J. Wu, M.S. Hsu, P.C. Chen, J.W. Chen, K.Y., “Development of High-Performance Solar LED Lighting System”, **Energy Conversion and Management**, 51, 1669-1675, 2010.
- [9] He, Z.Y. Chen, H., “Integrated Solar Controller for Solar Powered Off-grid Lighting System”, **Energy Procedia**, Cilt 12, 570-577, 2011.
- [10] Fathi, M. Chikouche, A. Abderrazak, M., “Design and Realization of LED Driver for Solar Street Lighting Applications”, **Energy Procedia**, Cilt 6, 160-165, 2011.
- [11] Erişim Adresi: <http://www.nichia.co.jp/specification/products/led/NVSW219C-E.pdf>, Erişim Tarihi: 01.11.2016.
- [12] Erişim adresi: [www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/9.5.20830-EK.docx](http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/9.5.20830-EK.docx), Erişim Tarihi: 01.11.2016.
- [13] Erişim adresi: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>, Erişim Tarihi: 01.11.2016.



## Çeyrek Araç Model Konforunun İyileştirilmesi için Kısıt Koşulları Altında Çalışan Model Öngörülü Denetleyici Tasarımı

Can U. DOĞRUER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06800, ANKARA

### Öz

Bu çalışmada, yolcu konforunu ifade eden bir performans ölçütünün en düşük değeri almasını sağlayan bir denetleyici tasarımı çeyrek araç modeli kullanılarak araştırıldı. Bu denetleyicinin tasarımında durum vektörü ve kontrol sinyali ile ilişkili kinematik ve dinamik eşitsizlikler göz önüne alındı. Bahsi geçen dinamik ve kinematik kısıt koşulları; araç gövdesi ile teker arasına yerleştirilen dinamik eyleyicinin uyguladığı kuvvet büyüklüğü, amortisör yer değiştirme değişkeninin büyüklüğü, aracın yol tutuş kabiliyetinin sayısal bir göstergesi olan teker üzerinde meydana gelen esnek deformasyon sonucu oluşan dinamik kuvvet büyüklüğü olarak tanımlanır. Yukarıda tanımlanan temel problem model öngörülü denetleyici ile çözülerek kısıt şartları altında çalışan model öngörülü denetleyicinin tasarımı yarı-kesin programlama optimizasyon problemine dönüştürüldü ve kontrol algoritması bu optimizasyon probleminin çözümünden bulundu.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 19/11/2016

Düzeltilme: 13/04/2017

Kabul: 21/04/2017

### Anahtar Kelimeler

Model öngörülü  
denetleyici  
Doğrusal-karesel-  
regülatör  
Çeyrek araç modeli  
Yarı-kesin programlama

### Keywords

Model predictive control  
Linear quadratic regulator  
Quarter-car model  
Semi-definite  
programming.

### Design of a Constrained Model Predictive Control Law to Improve Driving Comfort of a Quarter-Car Model

### Abstract

In this study, a controller law is investigated using a quarter-car model to ensure that a performance measure expressing passenger comfort has the lowest value. In this controller law, kinematic and dynamic inequalities associated with the state vector and the control signal are considered. The dynamic and kinematic constraints are defined as: the magnitude of the force applied by the dynamic actuator placed between the vehicle body and the wheel, the magnitude of the displacement variable of the damper, the dynamic force generated by the elastic deformation of the wheel which is a numerical indicator of the vehicle's gripping ability. Abovementioned basic problem is solved with the predictive controller and the design of the model predictive controller working under the constraint conditions is transformed into a semi-definite programming optimization problem then a control algorithm is found to solve this optimization problem.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmada, iki serbestlik derecesine sahip çeyrek bir araç modeli çalışılarak aracın dinamik performansını artırmak için model öngörülü denetleyici kullanıldı. Doğrusal sistemlerde, model öngörülü denetleyicinin çözümü, durum vektörünün optimal sabit kazanç matrisi ile çarpımı sonucu elde edilir [1]. Diğer yandan, kontrol sinyali ve durum değişkenleri alt ve üst kısıt koşullarına sahip ise dinamik problemin optimizasyonu kısıt şartlarına haiz karesel optimizasyon probleminin çözümü ile bulunabilir [1,2].

Yukarıda ifade edilen kontrol probleminin çözümü çeşitli bilimsel çalışmalarda somut bir şekilde ortaya konulmuştur [1,2]. Dolayısı ile üzerinde çalışılan araç model dinamiğini ifade eden diferansiyel denklemler durum-uzay modeline dönüştürüldükten sonra model öngörülü denetleyici araç konforu optimizasyon problemini çözmek için kullanılabilir.

\*İletişim yazarı, e-mail: [cdogruer@hacettepe.edu.tr](mailto:cdogruer@hacettepe.edu.tr)

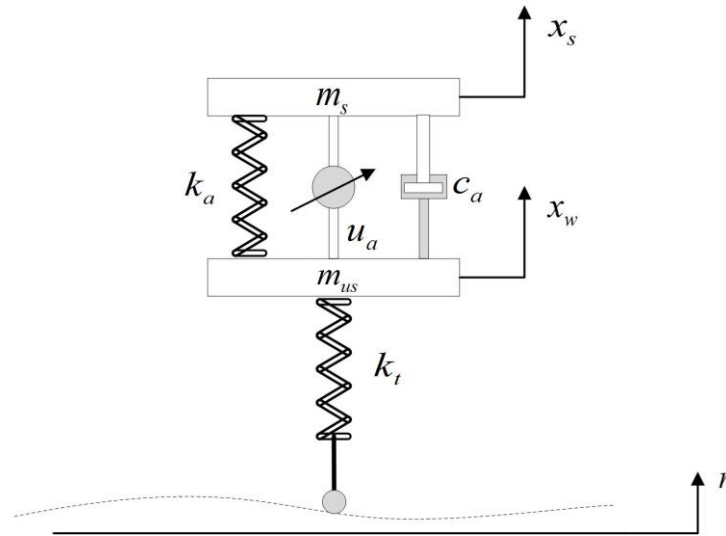
Ancak, gerçek bir sistemde eyleyicilerin uygulayabileceği kuvvet büyüklüğünün üst sınırları olabilir ve sistemin yapısal tasarımından kaynaklanan kısıtlamalardan dolayı bir kısım yer değiştirme değişkenlerinin daha önceden belirlenen üst sınırları aşması sistemin mukavemeti ve performansı açısından olumsuz etkiye sahip olabilir. Eyleyicinin uygulayacağı kuvvet büyüklüğünün ve amortisör yer değiştirmesini temsil eden değişkenin, alt ve üst sınırları olabileceği, tekerde meydana gelen deformasyon sonucu oluşan dinamik kuvvet büyüklüğünün aracın yol tutma kabiliyetini etkilediği gerçeği göz önüne alınır; model öngörülü denetleyici ile ilişkili optimizasyon problemi bu koşullar göz önüne alınarak çözülür. Bu durumda, kısıt koşullarına haiz karesel optimizasyon probleminin çözülmesi gerekir [1,2].

Araç konforu ile ilişkili kısıt şartlarına haiz karesel optimizasyon problemi bir yarı-kesin programlama problemine, durum vektörü ve kontrol sinyalinin sağlaması gereken eşitsizlikler ise doğrusal matris eşitsizliklerine dönüştürülür. Böylece, araç konforunun artırılması probleminin tanımında kullanılan kısıt şartlarına haiz karesel optimizasyon problemi yerine bu karesel optimizasyon problemine eşlenik olan yarı-kesin programlama ve doğrusal matris eşitsizlikleri problemi çözülür [2].

## 2. İLGİLİ BİLİMSEL ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

İlgili bilimsel çalışmalar incelendiği zaman aktif titreşim kontrolünde genelde doğrusal karesel regülatör kullanıldığı görülür [3]. Diğer yandan, araç titreşimini kontrol etmek için birçok araştırmacının farklı denetleyici tiplerini kullanmış olduğu görülür [3,4]: bulanık mantık [5], LPV [6], gürbüz kontrol [7] ve kayan mod kontrol [8,9], doğrusal olmayan kontrol [10] ve benzeri kontrol yaklaşımlarının araç sürüş performansı iyileştirme çalışmalarında kullanıldığı görülür. Bunun yanı sıra, model referans kontrol [11], yapay sinir ağları [12], istatistiksel optimal kontrol yaklaşımları [13] bu alanda kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Diğer yandan, araç sisteminin aktif titreşim kontrolü uygulamalarında sistemin dinamik özelliklerini kontrol etmek için manyeto-reolojik sıvılar [5,14-15] gibi birçok cihazın araç amortisöründe kullanıldığı gözlemlenir. Model öngörülü denetleyici de araç titreşim kontrolü uygulamalarında kullanılmış ve sistem üzerinde kısıt koşulları olduğu zaman başarılı sonuçların elde edildiği örnek çalışmalar ilgili çalışmalar arasında bulunabilir [13,15-17].

Bu çalışmanın temel yaklaşımını oluşturan model öngörülü denetleyici tasarımı, son yıllarda, bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [18,19]. Kolay tasarımı, çoklu durum vektörüne sahip sistemlerin kontrol edilmesinde sağladığı kolaylık ve performans ölçütünün matematiksel olarak ifade edilebilmesi basit uygulamalarda dahi klasik PID denetleyici uygulamaları ile kıyaslanabilecek sıklıkta kullanılmasına yol açmıştır.



**Şekil 1.** Çeyrek araç modeli ve aktif amortisör [8]. (Quarter-car model and active suspension)

Çeyrek araç modelinin ele alındığı çalışmada [8], yolcu konforunun artırılması için araç gövdesinin hareketi mümkün olan en kısa zamanda en düşük değere indirgenmesi hedeflenmiştir. Diğer yandan, amortisöre paralel bağlanan hidrolik eyleyicinin uygulayabileceği kuvvet büyüklüğünün üst sınırı olduğu ve araç

üzerindeki deformasyonların yapısal sorunlara yol açabileceği göz önüne alınarak; amortisör yer değiştirme değişkeninin ve lastik deformasyonunu gösteren durum değişkenlerinin belli sayısal aralıklar içerisinde kalması denetleyici tasarımı sırasında göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada, araç titreşim problemi model öngörülü denetleyici tasarım problemi olarak ifade edilmiştir [8,20]. Daha sonra ise dinamik ve kinematik kısıt şartları altında çalışan model öngörülü denetleyici tasarımı bir yarı-kesin programlama optimizasyon problemine dönüştürülmüştür [2]. Böylece, yarı-kesin programlama probleminin çözümünden optimal kontrol sinyali elde edilmiştir [2]. Önceki çalışmalarda, model öngörülü denetleyici farklı kısıt şartları altında araç titreşimini kontrol etmek için kullanılmıştır [13,20]. Ancak bu çalışmada, kısıt koşulları altında araç titreşiminin model öngörülü denetleyici ile kontrol edilmesi açık bir şekilde karesel optimizasyon problem tanımına eşlenik olan doğrusal matris eşitsizlikleri altında çözülen bir yarı-kesin programlama optimizasyon problemine dönüştürülmüştür [2]. Nihai olarak, optimal giriş sinyali bahsi geçen yarı-kesin programlama probleminin çözümünden elde edilmiştir.

### 3. TEORİ (THEORY)

#### 3.1. Problem Tanımı: Kinematik ve Dinamik Kısıt Şartları Altında Yolcu Konforunun Artırılması

##### (Problem Statement: Improvement of Driving Comfort under Dynamic and Kinematic Constraints)

Çeyrek araç modelinin ele alındığı çalışmadaki [8] çeyrek araç modeli ve aktif amortisör Şekil 1' de görülmektedir. Bu araç modeli, amortisör üstünde ve altında olmak üzere iki kütle, araç amortisörünün soyut modelini gösteren yay-piston-silindir çiftini ve tekeri temsil eden yay ve sönümleme sabitlerinden oluşur. Bunların dışında, amortisör parçalarına paralel bağlanmış bir hidrolik silindir-piston tarzında eyleyici de mevcuttur [8]. Bu yapısal model içerisinde hidrolik eyleyicinin kullanım amacı yolcu platform titreşimini sıfıra yakınsamak ve yol profilinden kaynaklanan düzensizliklerin yolcuya en az büyüklükte ulaşmasını sağlamaktır. Araç modelinin denklemleri aşağıdaki gibi yazılır [8]:

$$\dot{x} = Dx + Fu_a + G\dot{r} \quad (1)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -\frac{k_a}{m_s} & -\frac{c_a}{m_s} & 0 & \frac{c_a}{m_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_a}{m_{us}} & \frac{c_a}{m_{us}} & -\frac{k_t}{m_{us}} & -\frac{c_a}{m_{us}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ -\frac{1}{m_{us}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde  $m_s$  ve  $m_{us}$  araç gövdesinin ve tekerin kütesini gösterir.  $x_s$  ve  $x_w$  araç gövdesinin ve tekerin yer değiştirmesini gösterir.  $k_a$  ve  $k_t$  yay sabitleri amortisör ve teker yay sabitlerini ifade eder.  $c_a$  amortisörün sönümlenme sabitini gösterir.  $r$  yol profilinde kaynaklanan düzensizliği ve  $u_a$  hidrolik eylecinin uyguladığı kuvveti ifade eder; bu kuvvet aynı zamanda kontrol sinyalini temsil eder. Diğer yandan takip eden terimler aracın durum vektörünün elemanlarını tanımlar:  $x_1 = x_s - x_w$  amortisörün yer

değiştirmesini,  $x_2 = \dot{x}_s$  araç gövdesinin hızını,  $x_3 = x_w - r$  tekerin esnek deformasyonunu ve  $x_4 = \dot{x}_w$  tekerin esnek deformasyon hızını gösterir. Yukarıda yazılan denklem de sistem sürekli-zaman durum uzay gösteriminden ayrık uzay zamana dönüştürüldükten sonra durum uzay geçiş matrisinde bir bellek değişkeni daha tanımlanır; bu bellek değişkeni araç gövdesinin hızını gösteren değişkeni saklar.

$$x_{5,k+1} = x_{2,k} \quad (6)$$

Böylece, araç gövdesinin ivmesi aşağıda tanımlanan sistem çıktı modeli ile hesaplanabilir:

$$y_k = Hx_k \quad (7)$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & -\frac{1}{\delta} \\ 0 & 0 & k_t & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde  $\delta$  denetleyicinin örnekleme zamanını göstermektedir. Sistem çıktı modelinin birinci elemanı ile araç gövde ivmesi birinci dereceden fark denklemi ile yaklaşık olarak hesaplanır. Sistem çıktı modelinin ikinci terimi, teker üzerinde oluşan kuvveti teker yay sabiti  $k_t$  ve teker deformasyonunu gösteren değişkeni  $x_{3,k}$  ile hesaplar. Amortisör yer değiştirme büyüklüğü de sistem çıktı modeline  $x_{1,k}$  durum değişkeni ile dâhil edilir. Diğer yandan, durum uzay gösteriminde yazılan denklemde dinamik ve kinematik kısıt şartları aşağıdaki şekilde yazılır:

$$|u_k| \leq u_l \quad (9)$$

$$|x_{1,k}| \leq x_{1,l} \quad (10)$$

$$k_t x_{3,k} \leq (m_s + m_{us})g \quad (11)$$

Yukarıdaki dinamik ve kinematik kısıt eşitsizlikleri şöyle yorumlanabilir: hidrolik eyleyicinin uygulayabileceği maksimum kuvvet  $u_l$  ile sınırlıdır. Amortisörün yer değiştirmesi  $x_{1,l}$  ile sınırlıdır. Aracın yol tutuş kabiliyetinin sayısal bir göstergesi olan ve tekerin esnek deformasyonundan kaynaklanan kuvvet aracın toplam ağırlığını aşmamalıdır.

### 3.2. Kinematik ve Dinamik Kısıt Şartları Altında Çalışan Model Öngörülü Denetleyici (Model Predictive Control with Dynamic and Kinematic Constraints)

Gerçekçi bir çözüm için dinamik ve kinematik kısıt koşulları göz önüne alan bir optimal denetleyici geliştirilmesi gerekir. Bu çalışmada, model öngörülü denetleyici [1,2] dinamik ve kinematik kısıt koşullarına sağlayan ve bir performans ölçüt değerini mümkün olan en küçük değere indirgeyen optimal kontrol sinyalini hesaplamak için kullanılmıştır. Aşağıda tanımlanan ayrık-zaman durum-uzay modeli ile temsil edilen sistem ele alınmıştır:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + \Gamma u_k \quad (12)$$

$\Phi \in R^{5 \times 5}$  durum vektörü geçiş matrisini,  $\Gamma \in R^5$  kontrol sinyali giriş kazanç matrisini gösterir. Yukarıda tanımlanan sistem aşağıda yazılan performans ölçütünü uygun en küçük değere indirgemelidir. Minimize edilmesi gereken performans ölçütü ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [4,20]:

$$J_\infty = \sum_{k=0}^{N-1} [x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k] + x_N^T P x_N \quad (13)$$

$Q$  matrisi durum vektöründeki sapmaları ölçeklendiren ağırlık değerlerini,  $R$  matrisi kontrol sinyalindeki sapmaları ölçeklendiren ağırlık değerlerini gösterir.  $P$  matrisi  $k = N$  ufuk zamanında durum vektöründe oluşan sapmaları ölçeklendirir. Yukarıda tanımlanan karesel maliyet fonksiyonunun en uygun değer almasını sağlayan denetleyici karesel bir optimizasyon işlemi ile bulunabilir. Bu çözüm, aynı zamanda, yukarıda tanımlanan eşitsizlikler ile tasvir edilen dinamik ve kinematik kısıt koşullarını sağlamalıdır. Bu durum da eğer problemin çözümü olduğu varsayılırsa optimal kontrol sinyali  $u_k^*$  aşağıdaki gibi ifade edilir [1,2]:



$$\begin{cases} u_k = u_k^* & k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \\ u_k = Kx_k & k = N, N + 1, \dots, \infty \end{cases} \quad (14)$$

Eğer  $x_0$  sınır şartlarının sağlandığı küme içerisinde değilse;  $x_0 \notin O_\infty$  başka bir kontrol algoritması kullanılır. Optimal bir denetleyici sonlu bir ufuk zamanı içerisinde ilk durum vektörünü son durum vektörü  $x_N \in O_\infty$ , olacak şekilde kontrol eder ve bu küme içerisinde değişmez durumda optimal kontrol  $u_k = Kx_k$  problemin geri kalan zamanında uygulanır [2]. Bu optimizasyon problemi yarı-kesin programlama optimizasyon problemine dönüştürülür [2].  $u_k$  yarı-kesin programlama probleminin çözümünden bulunur. Daha sonra, optimal kontrol bu kontrol vektörünün ilk elemanı olarak seçilir ve problem bir sonraki zaman aralığında tekrar çözülür [1,2].

**Tablo 1.** Araç model değişken değerleri [8]. (Parameters of vehicle model)

$m_s$ (kg)	$m_{us}$ (kg)	$k_a$ (N/m)	$k_t$ (N/m)	$c_a$ (Ns/m)
290	59	16812	190,000	1000

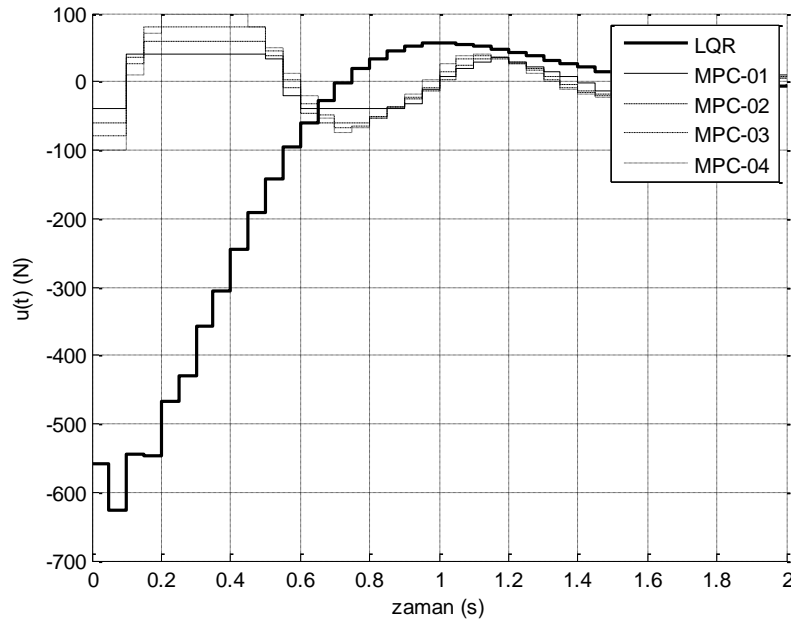
#### 4. BİLGİSAYAR BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Model öngörülü denetleyici tarafından kontrol edilen araç modelinin performansı bilgisayar benzetimleri ile karşılaştırmalı olarak incelenir. Sistem modelinin değişkenleri Tablo 1’ de verilmiştir. Doğrusal karesel regülatör ve kısıt şartları altında çalışan model öngörülü denetleyicinin performans ölçütünde kullanılan ağırlık değerleri Tablo 2’ de, sistemin başlangıç değerleri ise; Tablo 3’ de verilmiştir. Tablo 4’ de verilen dinamik ve kinematik kısıt şartları altında sistemin eyleyici kısıt altında çalışma performansı araştırılır.

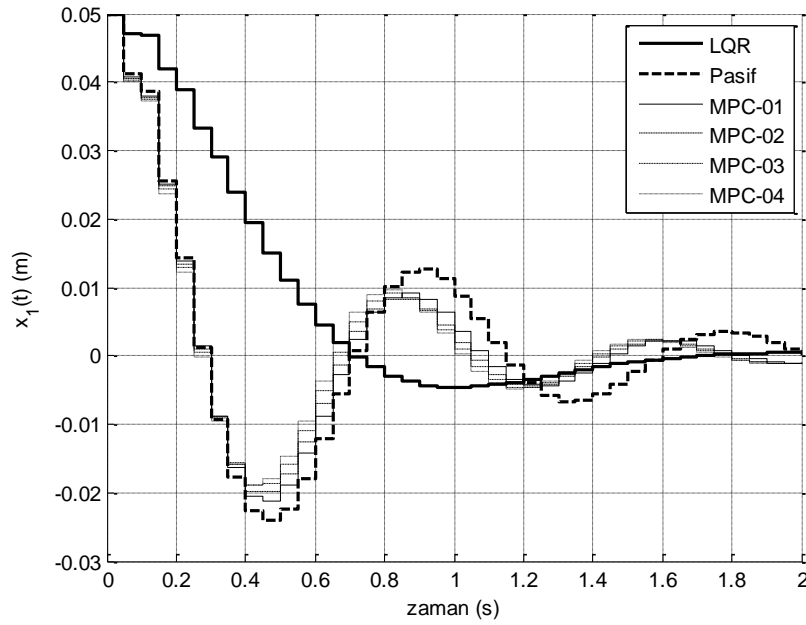
Eyleyicinin araç gövdesine uyguladığı kuvvet, amortisör yer değiştirmesi, lastik deformasyonu ve araç gövdesinin ivmesi sonuçları Şekil 2 ile Şekil 6 arasında yer alan grafiklerde gösterilmiştir. Bu grafiklerde doğrusal karesel regülatör, pasif amortisör ve model öngörülü denetleyicinin performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 2’ de doğrusal karesel regülatörün ve model öngörülü denetleyicinin araç gövdesine uyguladığı kuvvet büyüklüklerinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Bu şekil model öngörülü denetleyicinin kısıt şartlarına uygun kuvvet uyguladığını göstermektedir. Kuvvet büyüklükleri silindirin uygulayabileceği en büyük kuvvet büyüklüğünü geçmek durumunda olduğu zaman kırılır ve beklenildiği gibi kısıt şartlarının sağlandığı bir set içerisinde ise sabit kazançlı geri besleme kontrol kanunu şeklinde sonuç verir. Diğer yandan doğrusal karesel regülatör kısıt şartlarından bağımsız olarak sistem performansının gerektirdiği yüksek kuvvet büyüklüklerinin uygulanmasını gerektiren sonuçlar üretir. Dolayısı ile doğrusal karesel regülatör sistem performansı incelendiği zaman daha iyi sonuçlar verir. Ancak bulunan matematiksel sonuçların sistemin fiziksel kapasitesinin üzerinde olduğu düşünülürse, gerçek bir araç üzerinde doğrusal karesel regülatörün performansı tahmin edilemez.

Model öngörülü denetleyici kullanıldığı zaman; Şekilde 3’ de gösterilen amortisör yer değiştirme büyüklüğünde; Şekil 4’ de gösterilen lastik deformasyon büyüklüğünde; Şekil 5’ de gösterilen araç gövdesinin ivmesinde ve Şekil 6’ da gösterilen aracın çekiş kuvvet büyüklüğünde sınırlı bir iyileşme gözlemlenir. Diğer yandan doğrusal karesel regülatör; amortisör yer değiştirme büyüklüğünde; lastik deformasyon büyüklüğünde; araç gövdesinin ivmesinde ve aracın çekiş kuvvet büyüklüğünün iyileştirilmesinde daha yüksek performans gösterir. Bunun sebebi; model öngörülü denetleyici kullanıldığı zaman Şekil 2’ de gösterilen kontrol sinyali dinamik kısıt şartlarına bağlı olarak sınırlı bir değer kümesi içerisinde kalır; bu da model öngörülü denetleyicinin sistem performansını iyileştirmek için uygulaması gereken kuvvet miktarının yeterli büyüklükte değerlere ulaşmasını engeller. Elde edilen sonuçlar, temel olarak, kontrol sinyalinin iki değer arasında sıkışıp kalmasından ve optimal kontrol sinyal değerinin büyük ölçüde kırılmasından kaynaklanır. Diğer yandan, doğrusal karesel regülatör performans ölçütünün gerektirdiği kuvvet büyüklüğünü talep edebilir.

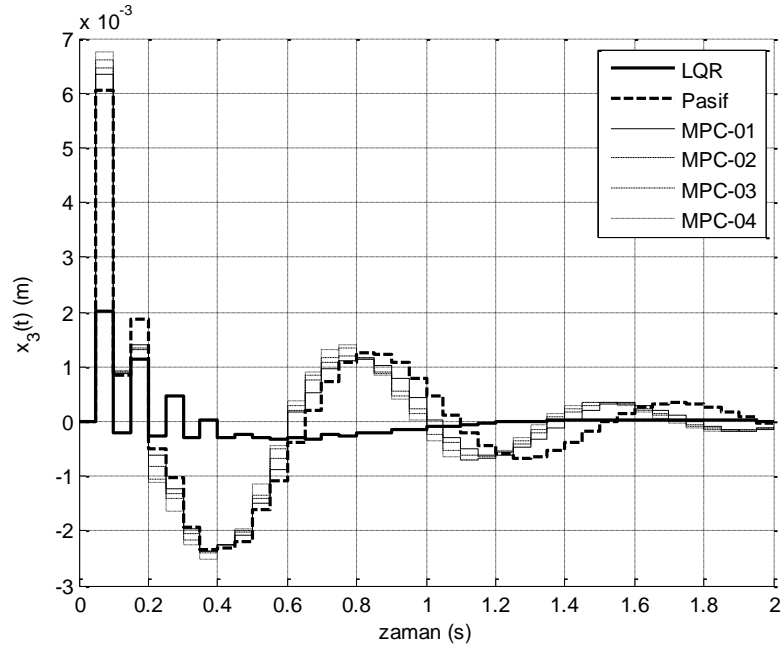
Üzerinde çalışılan bilgisayar benzetim seti, model öngörülü denetleyicinin sistem davranışı ile ilişkili bir performans ölçütünün dinamik ve kinematik kısıt koşulları altında optimize edilebileceğini gösterir. Diğer yandan, bilgisayar benzetimlerin birçoğunda doğrusal karesel regülatörün sistem performansını model



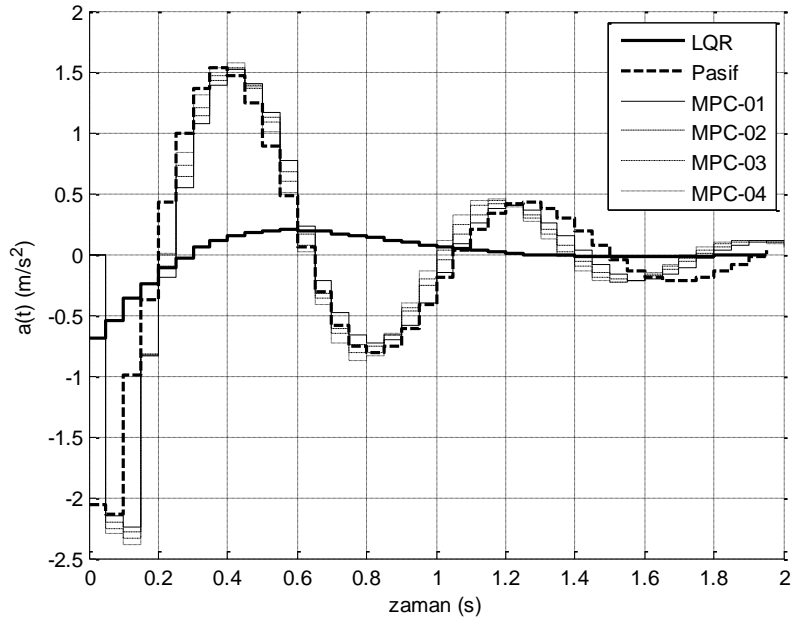
**Şekil 2.** Hidrolik silindirin araç gövdesi üzerine uyguladığı kuvvetin dinamik eşitsizlik ile sınırlandırıldığı bilgisayar benzetim sonucu: Hidrolik silindir tarafından araç gövdesine uygulanan kuvvet. (Results of a simulation in which the force exerted on the vehicle by a hydraulic cylinder is constrained: Force exerted on the vehicle body by a hydraulic cylinder)



**Şekil 3.** Amortisör yer değiştirme değişkenin zamana bağlı değişimi. (Travel of suspension vs. time)



**Şekil 4.** Lastik deformasyonunu temsil eden değişkenin zamana bağlı değişimi. (Tire deformation vs. time)



**Şekil 5.** Araç gövdesinin ivmesi. (Vehicle body acceleration vs. time)

öngörülü denetleyiciden daha iyi hale getirdiği gözlemlenebilir. Ancak, doğrusal karesel regülatör hiç bir bilgisayar benzetiminde dinamik ve kinematik kısıt koşullarını sağlamaz. Dolayısı ile gerçek bir araç sistemi üzerinde doğrusal karesel regülatör denetleyici kullanıldığı zaman araç performansı ve araç dinamiği üzerindeki etkisi tahmin edilemez. Model öngörülü denetleyici kullanıldığı zaman performans ölçütünün sistem dinamiği çerçevesinde bilgisayar benzetimleri ile örtüşme olasılığı yüksektir.

**Tablo 2.** Optimizasyon sabitleri. (Optimization parameters)

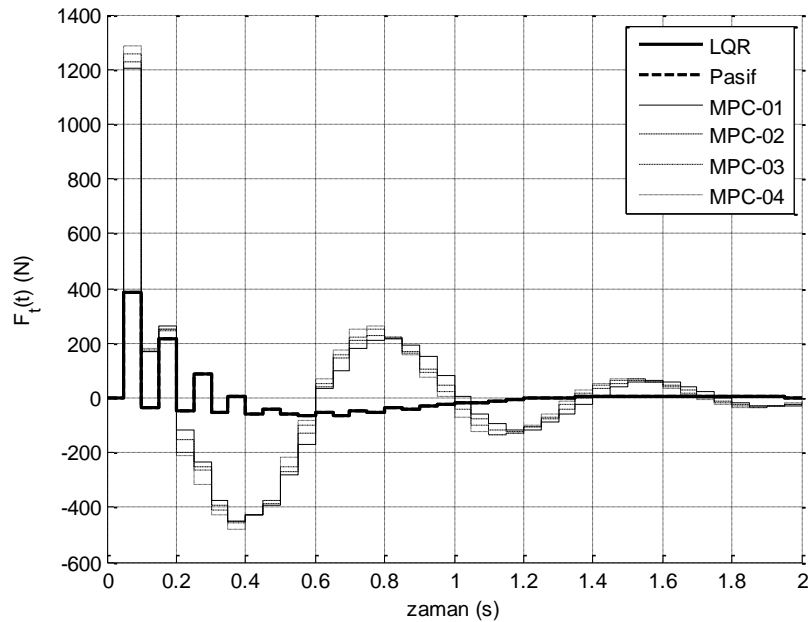
$q_5$	R	N	$\delta$
1E6	1E0	5	5E-2

**Tablo 3.** Benzetim başlangıç değerleri. (Initial conditions of simulation)

$x_1$ (m)	$x_2$ (m/s)	$x_3$ (m)	$x_4$ (m/s)
5E-2	0	0	0

**Tablo 4.** Dinamik ve kinematik kısıt eşitsizlikleri. (Set of dynamic and kinematic constraints)

$u_l$ (N)	$y_{1,l}$ (m/s <sup>2</sup> )	$y_{2,l}$ (N)	$y_{3,l}$ (m)
40	$\infty$	$\infty$	$\infty$
60	$\infty$	$\infty$	$\infty$
80	$\infty$	$\infty$	$\infty$
100	$\infty$	$\infty$	$\infty$



**Şekil 6.** Araç çekiş kuvveti. (Road holding force vs. time)

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, çeyrek araç modelinin regülatör karakteristiğini aktif titreşim kontrolü ile iyileştirmek için model öngörülü denetleyici tasarlanmıştır. Bu model öngörülü denetleyici tasarımı aşamasında eyleyicinin dinamik kısıt eşitsizlikleri ve taşıtın yapısal özelliklerinden kaynaklanan kinematik kısıt eşitsizlikleri göz önüne alınmıştır.

Yukarıda belirtilen özelliklerde tasarlanan model öngörülü denetleyici problemi yarı-kesin programlama optimizasyon problemine benzetilebilir [2]. Bu şartlar altında, bir yarı-kesin programlama optimizasyon problemi çözülür ve elde edilen kontrol sinyali serisi yolcu konforunu artırmak için kullanılır.

Bu çalışmada, dinamik ve kinematik kısıt eşitsizlikleri altında tasarlanan model öngörülü denetleyici ile elde edilen sonuçlar doğrusal karesel regülatör ile elde edilen kontrol sinyali ve durum vektörü serisi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan elde edilen sonuç; dinamik ve kinematik kısıt eşitsizlikleri altında çalışan model öngörülü denetleyici ile elde edilen sonuçların deneysel/prototip çalışmalarında elde edilen sonuçlar ile uyumlu olabileceğini göstermektedir. Ancak doğrusal karesel regülatör sonuçlarını deneysel/prototip uygulamalarında gerçekçi düzeyde gözlemlemek mümkün olmayabilir.

İlgili bilimsel çalışmalar incelendiğinde, model öngörülü denetleyicinin araç titreşim indirgenme çalışmalarında kullanılmış olduğu fakat optimal kontrol probleminin dinamik ve kinematik kısıt şartlarına haiz karesel optimizasyon probleminin çözümünden elde edildiği görülür. Diğer yandan, bu çalışmada, çeyrek araç modelinin dinamik özellikleri ve sistem değişkenleri ile ilgili kısıt eşitsizlikleri aynı anda ele alınarak optimal bir denetleyici tasarımı ve optimal kontrol sinyali doğrusal matris eşitsizliklerine haiz yarı-kesin programlama optimizasyon probleminin çözümünden bulunmuştur.

## SİMGELER (SYMBOLS)

$D$	Sürekli zamanda durum geçiş matrisi
$c_a$	Amortisör sönümlenme sabiti
$F$	Sürekli zamanda girdi kazanç matrisi
$G$	Sürekli zamanda yol kazanç matrisi
$K$	Optimal kazanç matrisi
$k_a$	Amortisör yay sabiti
$k_t$	Teker yay sabiti
$m_s$	Araç gövdesinin kütlesi
$m_{us}$	Teker ve amortisör kütlesi
$P$	Ufuk anında durum vektörü ağırlık matrisi
$Q$	Durum vektörü ağırlık matrisi
$R$	Girdi sinyali ağırlık matrisi
$u_l$	Hidrolik silindir kuvvetinin üst sınır
$u_k$	k ayrık-zamanda girdi sinyali
$u_k^*$	k ayrık-zamanda optimal kontrol sinyali serisi
$x_1$	Amortisör yer değiştirmesini gösteren durum değişkeni
$x_2$	Araç gövdesinin hızını gösteren durum değişkeni
$x_3$	Teker deformasyonunu gösteren durum değişkeni
$x_4$	Teker hızını gösteren durum değişkeni
$x_5$	Araç gövdesinin hızını saklayan hafıza durum değişkeni

$x_k$	k ayrık-zamanda durum vektörü
$\delta$	Örnekleme zamanı
$\Phi$	Ayrık zamanda durum geçiş matrisi
$\Gamma$	Ayrık zamanda girdi kazanç matrisi

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rossiter J. A., “**Model-Based Predictive Control: A Practical Approach**”, CRC press, 2003.
- [2] Kwon W. H. ve Han S. H., “**Receding Horizon Control: Model Predictive Control for State Models**”, Springer Science & Business Media, 2006.
- [3] Jalili N., “A Comparative Study and Analysis of Semi-Active Vibration-Control Systems”, **Journal of Vibration and Acoustics**, Cilt 124, No 4, 593-605, 2002.
- [4] Hrovat D., “Survey of Advanced Suspension Developments and Related Optimal Control Applications”, **Automatica**, Cilt 33, No 10, 1781-1817, 1997.
- [5] Tusset A. M., Rafikov M. ve Balthazar J. M., “An Intelligent Controller Design for Magnetorheological Damper Based on a Quarter-Car Model”, **Journal of Vibration and Control**, 2009.
- [6] Poussot-Vassal C., Sename O., Dugard L., Gaspar P., Szabo Z. ve Bokor J., “A New Semi-Active Suspension Control Strategy Through LPV Technique”, **Control Engineering Practice**, Cilt 16, No 12, 1519-1534, 2008.
- [7] Sun W., Gao H. ve Yao B., “Adaptive Robust Vibration Control of Full-Car Active Suspensions with Electrohydraulic Actuators”, **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, Cilt 21, No 6, 2417-2422, 2013.
- [8] Sam Y. M., Osman J. H. ve Ghani M. R. A., “A Class of Proportional-Integral Sliding Mode Control with Application to Active Suspension System”, **Systems and Control Letters**, Cilt 51, No 3, 217-223, 2004.
- [9] Yoshimura T., Kume A., Kurimoto M. ve Hino J., “Construction of an Active Suspension System of a Quarter Car Model Using the Concept of Sliding Mode Control”, **Journal of Sound and Vibration**, Cilt 239, No 2, 187-199, 2001.
- [10] Yagiz N. ve Hacıoğlu Y., “Backstepping Control of a Vehicle with Active Suspensions”, **Control Engineering Practice**, Cilt 16, No 12, 1457-1467, 2008.
- [11] Sunwoo M., Cheok K. C. ve Huang N., “Model Reference Adaptive Control for Vehicle Active Suspension Systems”, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Cilt 38, No 3, 217-222, 1991.
- [12] Guo D., Hu H. ve Yi J., “Neural Network Control for a Semi-Active Vehicle Suspension with a Magnetorheological Damper”, **Journal of Vibration and Control**, Cilt 10, No 3, 461-471, 2004.
- [13] Roh H.-S. ve Park Y., “Stochastic Optimal Preview Control of an Active Vehicle Suspension”, **Journal of Sound and Vibration**, Cilt 220, No 2, 313-330, 1999.
- [14] Yao G., Yap F., Chen G., Li W. ve Yeo S., “MR Damper and Its Application for Semi-Active Control of Vehicle Suspension System”, **Mechatronics**, Cilt 12, No 7, 963-973, 2002.
- [15] Prabakar R., Sujatha C. ve Narayanan S., “Optimal Semi-Active Preview Control Response of a Half Car Vehicle Model with Magnetorheological Damper”, **Journal of Sound and Vibration**, Cilt 326, No 3, 400-420, 2009.

- [16] Mehra R. K., Amin J. N., Hedrick K. J., Osorio C. ve Gopaldasamy S., “Active Suspension Using Preview Information and Model Predictive Control”, **Control Applications**, 1997., Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on, 1997.
- [17] Cho B. K., “Active Suspension Controller Design Using MPC with Preview Information”, **KSME International Journal**, Cilt 13, No 2, 168-174, 1999.
- [18] Qin S. J. ve Badgwell T. A., “A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology”, **Control Engineering Practice**, Cilt 11, No 7, 733-764, 2003.
- [19] Lee J. H., “Model Predictive Control: Review of The Three Decades of Development”, **International Journal of Control, Automation and Systems**, Cilt 9, No 3, 415-424, 2011.
- [20] Mayne D. Q., Rawlings J. B., Rao C. V. ve Sokaert P. O., “Constrained Model Predictive Control: Stability and Optimality”, **Automatica**, Cilt 36, No 6, 789-814, 2000.



## Geopolimerlerden Mekanokimyasal Aktivasyon ile Silisyum Karbür Tip Nano Parçacıkların Üretilebilirliğinin Araştırılması

Cengiz BAĞCI<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum, 19030, Türkiye

### Öz

Mekanokimyasal olarak 6, 12, 24, 48 saat süreyle aktive edilen ve M= (Na<sup>+</sup> veya K<sup>+</sup>) olmak üzere, sodyum veya potasyum alkali metal içeren (M<sub>2</sub>O•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•4.5SiO<sub>2</sub>•12H<sub>2</sub>O+18C) geopolimer karbon kompozisyonlarının karbotermal reaksiyonu ile silisyum karbür (SiC) tip nano-parçacıklar elde edilmiştir. Aktivasyon süresi ve alkali şartlara bağlı olarak elde edilen SiC, faz analizi, parçacık boyutu ve şekli ve nano yapı açısından XRD, rietveld arıtımı, SEM ve TEM-SAD analizleri ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, sodyum geopolimerde mekanokimyasal aktivasyon süresinin artışı ile beraber 24 saate kadar SiC miktarının arttığını ve 48 saatte azaldığını, potasyum geopolimer durumunda ise süre artışına bağlı olarak genelde hızlı bir azalma olduğunu göstermiştir. Yüksek saflıkta SiC eldesi kritik 24 saat sodyum geopolimerde, ~% 98.4 oranında gerçekleşmiştir. Mikro yapı ise çoğunlukla kristalize olmuş, 50-200 nm çapında ve uzunlukları 2-10 µm arasında değişen nano fiber, geri kalanı ise küresel nano-parçacıklar ve çok az amorf camsı fazdan oluşmaktadır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 22/11/2016

Düzeltilme: 09/02/2017

Kabul: 22/02/2017

### Anahtar Kelimeler

Geopolimer,  
mekanokimyasal,  
SiC nano-fiber

### Keywords

Geopolymer,  
mekanochemical,  
SiC nano-fiber

### Investigation of Producibility of Silicon Carbide Type Nano-particles from Geopolymers via Mechanochemical Activation

#### Abstract

Silicon carbide (SiC) type nano-particles were obtained by carbothermal reaction of geopolimer carbon compositions (M<sub>2</sub>O•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•4.5SiO<sub>2</sub>•12H<sub>2</sub>O+18C), where M is (Na<sup>+</sup> or K<sup>+</sup>), containing sodium or potassium alkali metal after being mechanochemically activated for 6, 12, 24, 48 hours. The SiC obtained in accordance with the activation duration and the alkaline conditions was characterized by XRD, Rietveld treatment, SEM and TEM-SAD analyses in terms of phase analysis, particle size and shape and nanostructure. The results showed that SiC yield increased with increasing the mechanochemical activation duration up to 24 h and decreased for 48 h in the case of NaGP, as in the case of KGP, SiC yield generally decreased depended on increasing the mechanochemical activation duration. SiC at high purity of ~% 98.4 occurred at critical 24 h in NaGP sample. In this sample, microstructure mainly consisted of crystallized nano-fiber having in the range of 20-100 nm in diameters and 2-10 µm in lengths, and the rest was globular nano-particles and little glassy phase.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geopolimerler (GP'ler) yüksek alkaline şartlarda (NaOH, KOH, CsOH=MOH), AlO<sub>4</sub><sup>-</sup> ve SiO<sub>4</sub> tetrahedral birimler içeren alüminyum ve silisyum kaynaklarından oluşan inorganik polimerik yeni seramik benzeri amorf malzemelerdir. M<sub>2</sub>O•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•4SiO<sub>2</sub>•11H<sub>2</sub>O tipik olarak kompozisyona sahip olmakla beraber kullanım amacına göre çok geniş bir kompozisyonda da üretilebilirler [1]. GP'ler, portland çimentoya göre yaklaşık % 80 daha az CO<sub>2</sub> salınımı, oda sıcaklığında, daha kısa sürede ucuz atık malzemelerden (uçucu kül [2], kömür cürufu [3], çeşitli killer ve tarımsal atıklar [4]) üretimi, daha fazla dayanım/yoğunluk oranı gibi üstün özellikleri özellikle son 15-20 yıl içerisinde araştırmaların odak noktası olmuştur. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına bağlı olarak özelliklerinin kontrol edilebildiği GP'ler, çimento ve beton üretiminde, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren pistlerde, yangına dayanıklı malzeme üretiminde, gözenekli yalıtkan malzemelerde ve refraktörlerde, güneş enerji sistemlerinin altlıklarında, radyoaktif yalıtkan olarak, su arıtma sistemlerinde, yüksek sıcaklık dayanımlı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu malzemeler son yıllarda 3 boyutlu yazıcıların gelişimi ile de düşük teknolojiden yüksek teknolojiye geniş bir alanda kullanılabilirlerdir.

\*İletişim yazarı, e-mail: cengizbagci@hitit.edu.tr



GP'lerin kuruması sırasında suyun yapıdan uzaklaşması ile meydana gelen çatlaklar nedeniyle zayıf dayanım, kırılabilir yapı ve yapıda hapsolmuş hava, hala ciddi problemdir. GP'lerin mekanik özelliklerini geliştirme yönünde yapılan çalışmalarda bu malzemelerin parçacık, sürekli fiber, kısa fiber ile takviye edilerek GP-kompozitler üretilmeye başlanmıştır [5, 6, 7]. Bu çalışmalarda yapının ani kırılması önlenirse de zayıf GP matris doğası ve matris-takviye ara yüzey problemleri GP-kompozitlerin yapısal bir malzeme olarak kullanımını sınırlamaktadır. GP'lerde dayanım geliştirme çalışmaları, bu malzemelerin yüksek sıcaklıklara (900°-1200 °C) tavlama ile yüksek performanslı refrakter seramik malzemelerin üretimi ile devam etmiştir [8-10].

Karbür tip seramikler arasında önemli bir yeri olan silisyum karbür (SiC) de yüksek sıcaklık uygulamaları için önemli bir yapısal seramiktir [11]. Bu malzemenin kovalent bağlı yapısı, yüksek refrakterlik, hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik dayanım, iyi ısı iletkenlik, ısı şok dayanımı, oksidasyon ve korozyona karşı mükemmel direnç, düşük ısı genleşme katsayısı gibi bazı faydalı özellikler ile sonuçlanır [12]. SiC 'ün yüksek mekanik ve iyi ısı özellikleri bu malzemenin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması için uygundur [13].

Alternatif olarak GP'lerin karbon ilavesi ile karbotermal indirgenerek karbür ve nitrür tip analoglarına dönüştürülerek seramik malzeme üretimi hedefleyen başlangıç çalışmalarımızda [14,15] daha çok dönüşüm için etkili bir geopolimer karbon kompozisyonunun tespiti üzerinde odaklanılmıştır. Kompozisyon optimizasyonundan sonra sistematik olarak yapılan son çalışmamızda [16], mekanokimyasal aktivasyon kullanılmadan klasik yöntemle karıştırılan tozların karbotermal indirgenmesi ile yüksek saflıkta SiC üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç malzemenin SEM görüntülerinde SiC'ün mikron altı boyuttan nano boyutta parçacık boyut dağılımında olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, başlangıç malzemesinin mekano kimyasal aktive edilmesi ile parçacık boyutunun küçültülüp nano-parçalıklı ve aynı zamanda dönüşümün artırılarak yüksek saflıkta SiC üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Na veya K GP'lerin karbonla değişen sürelerde mekanokimyasal aktivasyonu sonrasında sabit sıcaklıkta ve sürede karbotermal indirgenerek sonuç mikroyapı standart analizlerin devamında TEM-SAD analizleri ile de karakterize edilmiştir.

## 2. DENEYSSEL (EXPERIMENTAL)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Başlangıç sodyum ve potasyum geopolimerler, Fisher Scientific firmasından temin edilen, % 99 saflıkta sodyum veya potasyum hidroksit (NaOH veya KOH) kullanılarak hazırlanmıştır. Silika kaynağı olarak ince tane boyutunda, amorf silis dumanı kullanılmıştır. Ortalama parçacık boyutu 1.2 µm, özgül yüzey alanı 13 m<sup>2</sup>/g ve yaklaşık % 97 saflıkta metakaolin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•2SiO<sub>2</sub>) alüminosilikat kaynağı olarak kullanılmıştır. Karbon kaynağı olarak ise süper aktive karbon nano-toz (<100nm) kullanılmıştır.

### 2.2. Geopolimerin Hazırlanması (Geopolymer Preparation)

Başlangıç Na<sub>2</sub>O•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•4.5SiO<sub>2</sub>•12H<sub>2</sub>O (NaGP) ve K<sub>2</sub>O•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•4.5SiO<sub>2</sub>•12H<sub>2</sub>O (KGP) geopolimer malzemeler metakaolin ile sodyum veya potasyum silikat çözeltileri ile sırasıyla karıştırılması ve sonrasında ve 24 saat 50 °C 'de atmosfere açık fırında tutulması ile elde edilmiştir. Normal kompozisyon mekanokimyasal aktivasyonu artırmak amacı ile 0.5 mol fazla silika ve bu fazla silikayı çözmek için 1 mol fazla su kullanılarak modifiye edilmiştir. Hazırlanan her iki geopolimer toz haline getirilip 300 °C 1 saat süreyle ilave kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

İlave kurutma işlemi gören NaGP veya KGP numunelere 18 mol nano-karbon ayrı ayrı ilave edilerek NaGP18C veya KGP18C numuneleri mekanokimyasal işleme hazır hale getirilmiştir. Mekanokimyasal işlemler gezegen değirmende (Fritsch Pulverisette 7) ZrO<sub>2</sub> bilye ve hazne kullanılarak oda sıcaklığında kuru olarak Tablo 1 de verilen şartlarda gerçekleştirilmiştir. 48 saate varan uzun aktivasyon süresi ve kuru ortam kullanımından dolayı nispeten düşük hız seçilmiştir, bilye/toz oranı da geniş bir aralıkta kullanılmakla beraber yüksek oran mekanokimyasal işlemin verimini artırmaktadır [17-19].

**Tablo 1.** Geopolimer numunelerin mekanokimyasal aktivasyon şartları

Numune	Dönme hızı (rpm)	Bilye/toz oranı (% ağırlık)	Süre (Saat)
NaGP	250	25:1	6, 12, 24, 48
KGP	250	25:1	6, 12, 24, 48

Mekanokimyasal aktive edilen tozlar, sabit 1550°C'de 2 saat atmosfer kontrollü tüp fırında argon (%99.99 saflıkta) ortamında karbotermal indirgeme reaksiyonuna tabi tutulmuştur.

### 2.3. Karakterizasyon (Characterization)

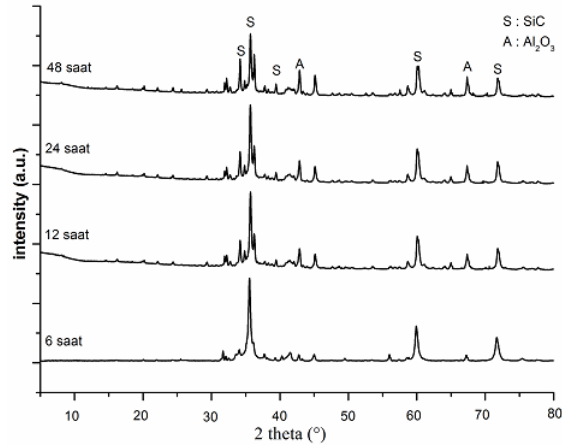
Mechanokimyasal aktive GP karbon numuneleri bir CuK $\alpha$  kaynağı ile donatılmış EMPYREAN difraktometre ( $\lambda = 15406$  nm) PANanalitik X-ışını kırınımı ile analiz edilmiştir. Testlerde 40 kV voltaj, 30 mA akım, 0.02 bir artış, ( $2\theta$ ), 5° ila 80° arasında Bragg açısı ( $2\theta$ ) ve 1°/dak'lık bir tarama hızı kullanılmıştır. Reaksiyon ürünleri X-ışını analizinden önce ince toz haline getirilmiştir. Jade 9 yazılımı kullanılarak elde edilen pikler elle tek eşleştirilerek tanımlanmış ve faz miktarları da rietveld arıtımı ile belirlenmiştir.

Sonuç malzemelerin mikroyapı görüntüleri (Quanta 450 SEM) taramalı elektron mikroskobu ile 25K büyütmede, 10-20 kV voltaj aralığında, yüksek vakumda ve ikincil elektron detektörü ile elde edilmiştir. Nano yapı (TECNAI) marka geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ile görüntülenmiş ve devamında SAD analizi ile de kristalografik yansımalar elde edilmiştir.

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

6, 12, 24 ve 48 saat sürelerde mekanokimyasal aktive edilen NaGP karbon karışımlarının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası XRD izleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Genel olarak mekanokimyasal aktivasyonun etkisi ve reaksiyon sıcaklığının artması ile birlikte, daha önce geleneksel yöntemlerle karıştırma sonrası sentezleme yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında [14-16] camsı amorf fazın azaldığı ve yapının büyük oranda kristalize olduğu görülmektedir. Mekanokimyasal işlem parçacık boyutunu azaltarak toplam reaksiyon yüzey alanını artırmış aynı zamanda parçacıkların deformasyonu ile parçacıklara reaksiyonu teşvik edecek enerji yüklemiştir. Yüzey reaktivitesinin yanında mekanokimyasal aktivasyonun diğer bir avantajı hacimsel reaktivite geliştirmesidir. Mekanokimyasal işlem malzemenin bütün kimyası değişmeden hacimsel olarak fizikokimyasal değişmeler ile katının reaktivitesinin değişmesine fırsat vermektedir. Silika kaynağı olarak kullanılan uçucu külün geopolimerizasyon öncesi mekanokimyasal aktivasyonu sonuç geopolimer malzemenin basma dayanımındaki artış ile sonuçlanmıştır [20]. Ayrıca mekanokimyasal olarak aktive edilen uçucu kül nano-ölçekli parçacıkların elde edilmesine [21] ve sonrasında da geopolimerleşme oranının artışına neden olmuştur [22].

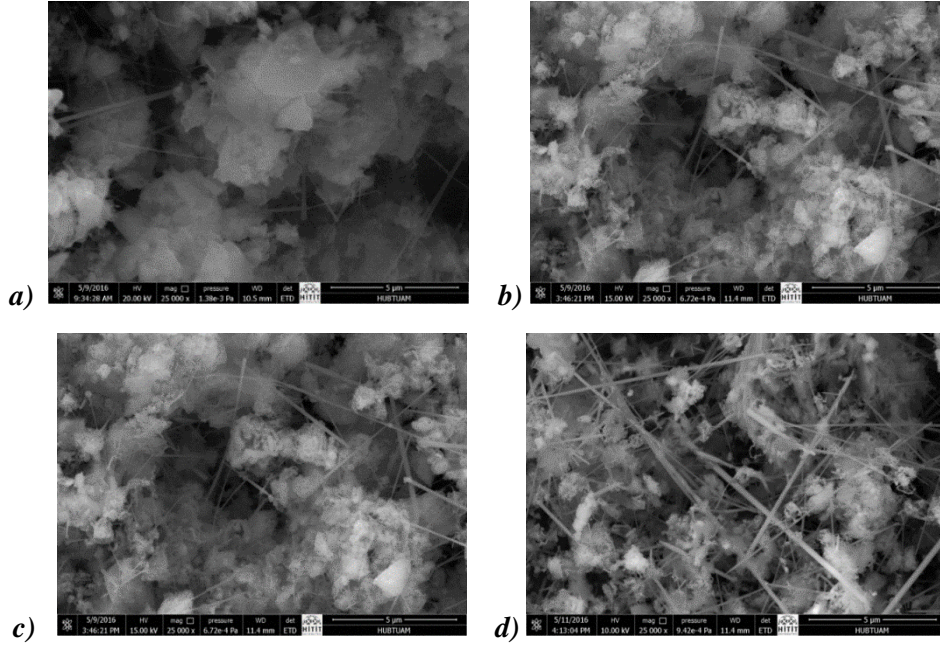
Bu çalışmada sentezlenen nano-SiC parçacıklardan hacimsel malzeme üretildiğinde mekanik özelliklerin yüksek olması beklenmektedir. Ancak, Şekil 1 'de XRD izlerinden, 6 saatten başlayarak 24 saate kadar mekanokimyasal aktivasyon süresinin artışı ile beraber SiC pik şiddetlerinin arttığı ve en yüksek aktivasyon süresi olan 48 saatte azaldığı görülmektedir. Yüksek öğütme süreleri her ne kadar ince parçacıkların oluşumuna katkı sağlasa da aynı zamanda ince parçacıkların aglomerasyonu da söz konusudur. Aglomerasyonlar nedeni ile geniş parçacık boyut dağılımı karbotermal işlem sırasında Si ile karbon arasında bölgesel olarak farklı reaksiyon hızlarına neden olmaktadır. Karbotermal işlem öncesi 48 saat gibi yoğun öğütme süresi de kristalleşen fazın tekrar amorflaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenlerle SiC pik şiddetlerindeki artış 48 saatte azalmaktadır [23].



**Şekil 1.** Farklı sürelerde mekanokimyasal aktive edilen NaGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası XRD analizi.

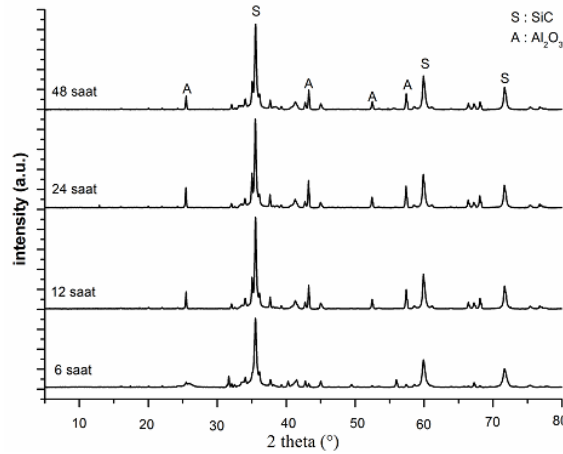
Şekil 2'de farklı sürelerde mekanokimyasal aktive edilen NaGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası SEM mikroyapıları görülmektedir. Şekil 2(a)'da SiC'ün tipik aglomera yapısı görülmekte ve aglomeraların boyutları ~5-20 µm arasında değişmektedir. Mekanokimyasal aktivasyon süresinin artışı ile birlikte aglomeraların birbirinden bağımsız ve küresel, whiskers, yüksek aspekt oranlı fiberlerden oluştuğu görülmektedir [Şekil 2(b)-2(d)].

Şekil 2(c) XRD analizlerinde en yüksek SiC pik şiddetinin gözlemlendiği 24 saat aktivasyon sonrası karbotermal işlem gören numunenin SEM görüntüsüdür. Bu numunede mikro yapı çoğunlukla kristalize olmuş, 20-100 nm çapında ve uzunlukları 2-10 µm arasında değişen nano fiber, geri kalanı ise küresel yakın nano-parçacıklar ve çok az amorf camsı fazdan oluşmaktadır.



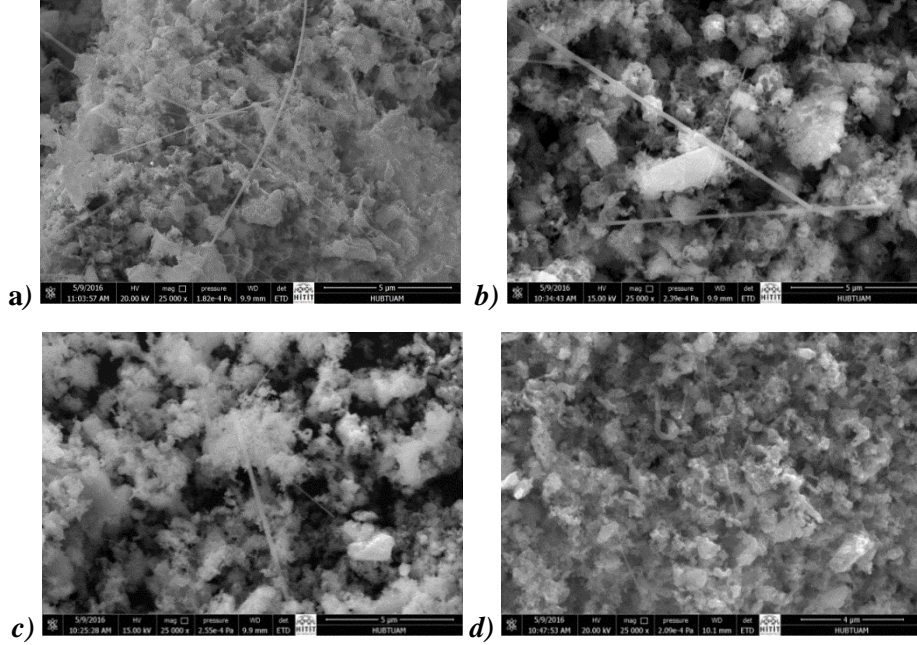
Şekil 2. (a) 6, (b) 12, (c) 24, (d) 48 saat mekanokimyasal aktive edilen NaGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası SEM görüntüleri.

Şekil 3. 6, 12, 24 ve 48 saat sürelerde mekanokimyasal aktive edilen KGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası XRD izlerini göstermektedir. Genel olarak NaGP sonuçlarında olduğu gibi mekanokimyasal aktivasyon süresinin artması ile birlikte önceki çalışmalara göre [16] camsı amorf fazın azaldığı ve yapının büyük oranda kristalize olduğu görülmektedir. Mekanokimyasal aktivasyon süresinin artışı ile beraber SiC pik şiddetlerinin arttığı ancak diğer taraftan alüminanın 12 saat ve sonrası öğütme sürelerinde yapıda önemli bir miktarda kendini koruduğu görülmektedir.



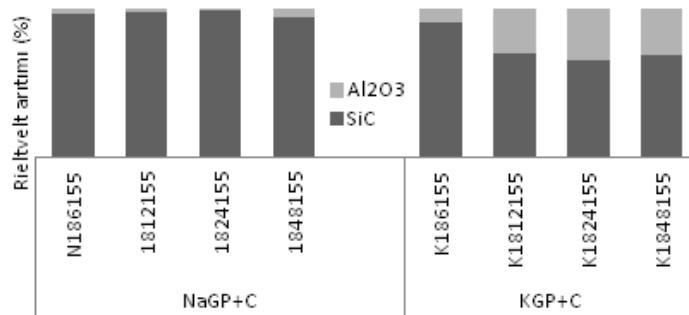
Şekil 3. Farklı sürelerde mekanokimyasal aktive edilen KGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası XRD analizi.

Şekil 4’de farklı sürelerde mekanokimyasal aktive edilen KGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası SEM görüntüleri görülmektedir. XRD analizlerinde ve sonrasında yapılan rietveld arıtımı analizlerinde (Şekil 5) NaGP ye göre tüm aktivasyon sürelerinde [Şekil 2(a)-2(d)] az miktarda SiC dönüşümü gözlemlenmiştir. NaGP’den farklı olarak KGP mikro yapıda bu sonuçları farklı bir yapı göstererek desteklemektedir. NaGP durumunda gözlemlenen whiskers ve fiber yapı çoğunlukla yerini küresel ve ergimiş birbirine bağlı parçacıklara bırakmıştır. Bunun yapıda hala indirgenmemiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varlığından kaynaklandığı ifade edilebilir [16].



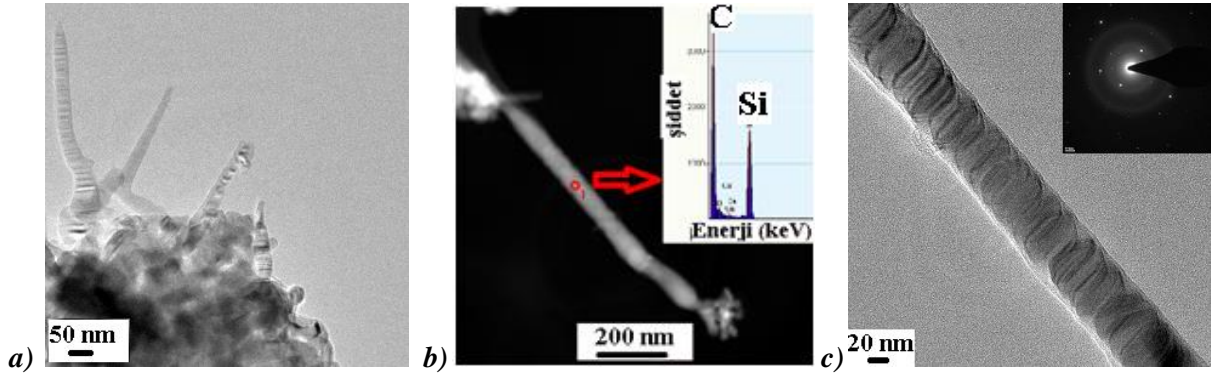
**Şekil 4.** (a) 6, (b) 12, (c) 24, (d) 48 saat mekanokimyasal aktive edilen KGP karbon karışımının 1550°C/2 saat karbotermal işlem sonrası SEM görüntüleri.

Şekil 5’de mekanokimyasal aktivasyon sonrası karbotermal sentezlenen numunelerin Rietveld arıtımı sonuçları verilmektedir. XRD analizleri üzerinden High Score Plus programı ile faz pik alanlarına göre hesaplanmıştır ve faz oranları ile ilgili bir eğilim vermektedir. Genel olarak her iki numunede de düşük aktivasyon sürelerinde yüksek SiC dönüşümü elde edilmiştir. Yüksek aktivasyon sürelerinde parçacık boyutunun azalması, aktif yüzey alanı ve hataların artması, yüksek miktarda SiC oluşumunu garanti etmemektedir. Geopolimerlerde yük dengeleme katyonu olarak sodyum kullanıldığında Al-O bağları Si-O bağlarından daha zayıftır ve potasyum durumunda ise Al-O bağlarının daha kuvvetli olması beklenir [24]. Bu nedenle NaGP durumunda alümina element haline indirgenerek yapıdan uzaklaşmıştır. KGP durumunda ise kuvvetli Al-O bağları nedeni ile bütün öğütme sürelerinde NaGP ‘ye göre daha az SiC elde edilmiştir. Kritik 6 saat üzeri öğütme sürelerinde ise zayıf Si-O bağları nedeni ile Si ve nano-karbonun yapıdan kısmen uzaklaşmasına bağlı olarak SiC miktarının azaldığı söylenebilir (Şekil 5).



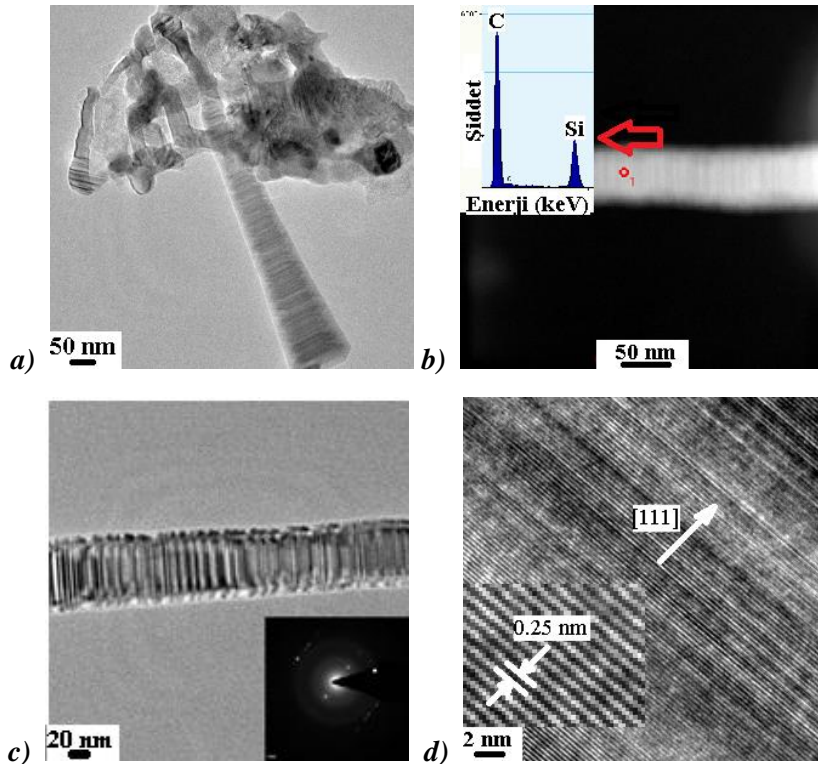
**Şekil 5.** NaGP veya KGP karbon karışımların mekanokimyasal aktivasyonu takiben karbotermal sentezlenmesi sonrasında Rietveld arıtımı sonuçları.

Şekil 6’da NaGP durumunda rietveld analizlerine göre yüksek miktarda SiC dönüşümü gözlenen, 24 saat mekanokimyasal aktivasyona tabi tutulan numunenin TEM analizleri verilmektedir. Şekil 2’de SEM görüntülerinde görülen nano-fiber yapı TEM görüntüleri ile de doğrulanmaktadır [Şekil 6(a)]. Şekil 6(b)’de TEM-EDS sonuçları yapıda ana elementlerin Si ve C olarak görülmesi ve diğer elementlerin impurite seviyesinde bulunması, XRD ve sonrasında rietveld arıtımı sonuçlarında gözlemlenen yüksek saflıkta SiC dönüşümünü doğrulamaktadır. Şekil 6(c)’de HRTEM görüntüsünde, fiber çapları 50 nm olarak görülmekte ve yine XRD verileri ile uyumlu olarak SAD analizinde SiC ‘ün (311), (220) (111) düzlemlerinin tam difraksiyon halkaları görülmektedir [25].



**Şekil 6.** (a) NaGP’den elde edilen SiC nano-parçacıkların genel TEM görüntüsü, (b) nano-fiberden alınan TEM-EDS, (c) SAD ve HRTEM görüntüsü.

Şekil 7’de KGP durumunda rietveld analizlerine göre yüksek miktarda SiC dönüşümü sağlanan, 6 saat mekanokimyasal aktivasyona tabi tutulan numunenin TEM analizleri verilmektedir. Şekil 4’de SEM görüntülerinde görülen nano-fiber yapı TEM görüntüleri ile de doğrulanmaktadır. [Şekil 7(a)]. Şekil 7(b)’de TEM-EDS sonuçları yapıda ana element Si ve C olarak görülmekte ve diğer elementlerin safsızlık seviyesinde bulunması yüksek oranda SiC dönüşümünü doğrulamaktadır.



**Şekil 7.** (a) KGP’den elde edilen SiC ‘ün genel TEM görüntüsü, (b) nano-fiberden alınan TEM-EDS, (c) SAD ve HRTEM’in alındığı parçacık, (d) HRTEM görüntüsü.

SEM’de yaklaşık olarak belirlenen nano-fiber çapları, Şekil 7(c)’da, 50 nm olarak ölçülmektedir. Şekil 7(d)’de HRTEM görüntüsünde, tek kristal SiC nano parçacığı görülmekte ve düzlemler arası mesafenin 0,25 nm olarak ölçüldüğü (111) düzlemlerinin, [111] büyüme doğrultusuna dik olduğu görülmektedir [26].

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, safsızlık seviyesinde alümina ile birlikte NaGP’den tek faz (~% 98.4), ~50 nm çapında ~2-10 µm uzunluğunda nano-fiber ve KGP’den yüksek saflıkta (~% 90.5), ~50 nm çapında daha çok küresel SiC nano-parçacıklar sentezlenmiştir. Başlangıç kompozisyonun karbotermal indirgeme öncesi mekonokimyasal aktivasyonu ile son çalışmamıza [16] kıyasla her iki GP’de nano-boyut ve saflık bakımından yüksek başarımlı SiC parçacıklar elde edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazar bu çalışmaya MUH19001.15.003 numaralı proje ile finansal destek sağlamasından dolayı Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] W. M. Kriven, Inorganic polysialates or Geopolymers, American Ceramic Society Bulletin, 89:4 (2010) 31-34.
- [2] J. G. S. Van Jaarsveld, J. S. J. Van Deventer, G. C. Lukey, The effect of composition and temperature on the properties of fly-ash and kaolinite based geopolymers, Chem. Eng. J., 89 (2002) 63–73.
- [3] S. A. Benal, J. L. Provis, V. Rose, R. Mejia de Gutierrez, Evolution of binder structure in sodium silicate-activated slag-metakaolin blends, Cement Concrete Comp., 33 (2011) 46–54.
- [4] S. Detphan, and P. Chindaprasirta, Preparation of fly ash and rice husk ash geopolymer, Int. J. Miner. Mat., Mater., 33 (2011) 46–54.
- [5] P. He, D. Jia, Interface evolution of the C<sub>f</sub>/leucite composites derived from C<sub>f</sub>/geopolymer composites, Ceram. Int., 39 (2013) 1203–1208.
- [6] S. S. Musil, G. P. Kutyla and W. M. Kriven, The effect of basalt chopped fiber reinforcement on the mechanical properties of potassium based geopolymer, Cer. Eng. and Sci. Proc., 33:10 (2012) 31-42.
- [7] E. Rill, D. Lowry and W. M. Kriven, Properties of basalt fiber reinforced geopolymer composites, in Strategic Materials and Computational Design, edited by Waltraud M. Kriven, Yanchun Zhou and Miladin Radovic. Cer. Eng. Sci. Proc., 31:10 (2010) 57-69.
- [8] N. Xie, J. L. Bell and W. M. Kriven, Fabrication of structural, leucite glass-ceramics from potassium-based geopolymer precursors, J. Amer. Ceram. Soc., 93:9 (2010) 2644-2649.
- [9] J. L. Bell, P. E. Driemeyer, W. M. Kriven, Formation of ceramics from metakaolin-based geopolymers: Part I - Cs-based geopolymer, J. Amer. Ceram. Soc., 92:1 (2009) 1-8.
- [10] C. Kuenzel, L. M. Grover, L. Vandeperre, A. R. Boccaccini, C. R. Cheeseman, Production of nepheline/quartz ceramic from geopolymer mortars, J. Euro. Ceram. Soc., 33 (2013) 251-258.
- [11] Y. Yang, Z-M. Lin, J-T. Li, Synthesis of SiC by silicon and carbon combustion in air, J. Euro. Ceram. Soc., 29 (2009) 175-180.
- [12] X-N. Shen, Y. Zheng, Y-Y. Zhan, G-H. Cai, Y-H. Xiao, Synthesis of porous sic and application in the CO oxidation reaction, Mater. Lett., 61 (2007) 4766-4768.
- [13] H. Ichikawa. and T. Ishikawa, Silicon carbide fibers (Organometallic pyrolysis), Comprehensive Composite Materials, 1 (2000) 107-145.
- [14] C. Bağcı, G. P. Kutyla and W. M. Kriven, Production of in situ silicon nitride reinforced geopolymer composites, made by carbothermal reduction and nitridation, Presented at 38<sup>th</sup> Int. Conf. and

Exposition of Advanced Ceramics and Ceramic Composites, held in Daytona Beach, Florida, Jan 26<sup>th</sup>-31<sup>st</sup> 2014.

- [15] C. Bağci, G. P. Kutyla and W. M. Kriven, In-situ carbothermal reduction / nitridation of geopolymer composites containing carbon nanoparticles, *Cer. Eng. and Sci. Proc.*, 35:8 (2015) 15-28.
- [16] C. Bağci, G. P. Kutyla, K. C. Seymour and W. M. Kriven, Synthesis and characterization of silicon carbide powders converted from metakaolin-based geopolymers, *J. Am. Ceram. Soc.*, 99:7 (2016) 2521-2530.
- [17] H. Gökmeşe, B. Bostan, Microstructural characterization and synthesis by mechanochemical method of nanoparticle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/B<sub>4</sub>C ceramic phase, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29:2 (2014) 289-297.
- [18] L. Lu, M. O. Lai, W. Liang, Magnesium nanocomposite via mechanochemical milling, *Composites Science and Technology*, 64 (2004) 2009–2014.
- [19] H. Gökmeşe, B. Bostan, M. Barış, Fabrication and characterization of nanoceramic particle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/B<sub>4</sub>C composite by mechanochemical approach, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 47:3 (2017) 416-422.
- [20] S. Kumar, R. Kumar, Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer, *Ceram. Int.* 37 (2011) 533-541.
- [21] N. Marjanovic, M. Komljenovic, Z. Bascarevic, V. Nikoli, Improving reactivity of fly ash and properties of ensuing geopolymers, *Const. and Build. Mater.*, 57 (2014) 151–162.
- [22] J. Temuujin, R. P. Williams, A. Van Riessen, Effect of mechanical activation of fly ash on the properties of geopolymer cured at ambient temperature, *J. of Mater. Proc. Tech.* 209 (2009) 5276–5280.
- [23] Y. Lu, Y. Wang, Z. Pan, H. Shen and L. Wu, Preparation of Carbon-Silicon Carbide Composite Powders via a Mechanochemical Route, *Ceram. Int.*, 39 (2013) 4421-4426.
- [24] P. Duxson, G. C. Lukey, and J. S. J. Van Deventer, Thermal evolution of metakaolin geopolymers: Part-I. – Physical Evolution, *J. Non-Cryst. Solids*, 352:52-54 (2006) 5541-5555.
- [25] J. Ding, C. Deng, W. Yuan, H. Zhu, X. Zhang, Novel synthesis and characterization of silicon carbide nanowires on graphite flakes, *Ceram. Int.*, 40 (2014) 4001–4007.
- [26] A. Najafi, F. Golestani Fard, H. R. Rezaie, N. Ehsani, Synthesis and characterization of SiC nano powder with low residual carbon processed by sol–gel method, *Powder Technology*, 219 (2012) 202–210.