



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Dergi Sahibi

Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ - (Kocaeli Üniversitesi)

Baş Editör

Prof. Dr. K. Süleyman YİĞİT - (Kocaeli Üniversitesi)

Yardımcı Editörler

Prof. Dr. Murat HOŞÖZ - (Kocaeli Üniversitesi)

Doç. Dr. H. Hakan GÜREL - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mihriban CİVAN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ- (Kocaeli Üniversitesi)

Prodüksiyon Editörü

Öğr. Gör. Yusuf YAĞCI - (Kocaeli Üniversitesi)

Editör Asistanları

Arş. Gör. Abdurrahman GÜN - (Kocaeli Üniversitesi)

Arş. Gör. Dr. Alp Eren ŞAHİN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dergi Sekreteri

Durmuş İMAT - (Kocaeli Üniversitesi)

Danışma Kurulu

AYGÜN Halis, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERDEMLİ Yunus Emre, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERTUNÇ H. Metin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ORUÇ Bülent, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZDEMİR Engin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZTÜRK İlhan Tekin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PEKEY Beyhan, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SARAÇ Halil İbrahim, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SINMAZÇELİK Tamer, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

UÇAR Mehmet, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

VELİ Elşen, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜRAY R. Taygun, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Ufuk, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KÜÇÜK Serdar, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

MAKARACI Murat, (Doç. Dr.) - (TÜBİTAK)

ÖZKOÇ Güralp, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PINARBAŞI Seval, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SAYAR Ahmet, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİBAR Ali, (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

Editörler Kurulu

AKIN Nilgün, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ALADAĞ Zerrin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARIK Mehmet (Prof. Dr.) - (Özyeğin Üniversitesi)

ÇANAKCI Mustafa (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

DEMİR Arif (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ENGİN Tahsin (Prof. Dr.) - (Sakarya Üniversitesi)

ERTUNÇ Hüseyin Metin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GENÇ Nevim (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜNDOĞDU Özcan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KILIÇARSLAN Ali (Prof. Dr.) - (Hitit Üniversitesi, Makine Müh.)

KUZUCU Cihan (Prof. Dr.) - (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)

SAYIN Cenk (Prof. Dr.) - (Marmara Üniversitesi, Otomotiv Müh.)

SÖZEN Adnan (Prof. Dr.) - (Gazi Üniversitesi)

ÖZER Nil Pembe (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

URHAN Oğuzhan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARICI Müslüm (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ATAPEK Ş. Hakan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇEPNİ Murat Selim (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇETKİN Vildan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERGÜL Halim Aytekin (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜLTEKİN Fatma (Doç. Dr.) - (Karadeniz Teknik Üniv., Jeoloji Müh.)

KANDEMİR İlyas (Doç. Dr.) - (Gebze Teknik Üniversitesi)

KARAKAŞ Ahmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Rezzan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SERTÇELİK Fadime (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILDIZ Ali Bekir (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILMAZ Mehmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YİĞİT Halil (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

AKPINAR Erkan (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARI Ayşe Arzu (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇINAR Mehmet Aytaç (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇOBAN Onur (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

EREN Canan Dilek (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİSHALI Emre (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

İletişim

Kocaeli Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü Umuttepe Yerleşkesi 41380, Kocaeli/TÜRKİYE
Tel: +090 (262) 303 30 32 Fax: +090 (262) 303 30 33 E-mail: fbe@kocaeli.edu.tr



YAYIN VE DANIŞMA KURULLARI I

İÇİNDEKİLER II

Halil İbrahim SARAÇ, İbrahim ŞEN
15 MW Bir Buhar Türbini İçin Periyodik Bakımların Verimlilik Üzerine Etkisinin
İncelenmesi 1-11
(*Araştırma Makalesi*)

İlayda AKBULUT, Burcu ÖZCAN
Hava Kirliliği Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma 12-22
(*Araştırma Makalesi*)

Leyla ŞİMŞEK, Burcu ÖZCAN
Türkiye’de Turizm Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Ölçülmesi 23-30
(*Araştırma Makalesi*)

H. Kürşat ÇELİK, Çağatay ÇETİNKAYA, Fatih AK, Ozan ÖZMEN
Özel Tasarım Bir Bilyeli Değirmen Makinesine Ait Boyun Yataklarının Gerilme Analizi 31-36
(*Araştırma Makalesi*)

Arda ACEMİ, Fazıl ÖZEN
Hindistan Cevizi Suyunun *Serapias vomeracea*'nin *In vitro* Gelişimine Etkileri 37-41
(*Derleme Makalesi*)

Özcan ÜRGÜN, Ersin Asım GÜVEN, Hayrettin GÖRGEN, Satılmış ÜRGÜN
Paletli Tip Havai Çalışma Platformunun Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak
Tasarımı ve Üretimi 42-46
(*Araştırma Makalesi*)

Özcan ATLAM, Begüm BAY, Gökhan DÜNDAR
Fotovoltaik (PV) - Pompa Güçlü Hidroelektrik Enerji Depolama Sistemleri için
Deneysel Bir Performans Karakterizasyonu 47-55
(*Araştırma Makalesi*)

Rıdvan YAKUT, Kenan YAKUT
Hava Jetinin Altıgen Kanatlı Isı Alıcıya Çaptırılmasıyla Elde Edilen Basınç
Katsayılarının Deneysel ve Nümerik Olarak Belirlenmesi 56-64
(*Araştırma Makalesi*)

Mürüvvet BATI, Kemal BEYEN

8 Katlı Yapının Dinamik Yükler Altında Titreşim Kontrolü 65-76
(*Araştırma Makalesi*)

Ali YAĞIZEL, Aziz ÖZYAVAŞ

İzmit Körfezinin Güneyindeki Kütle Hareketlerinin Kırık Sistemleri İle İlişkisinin
ALOS PALSAR Verisi Kullanılarak İncelenmesi..... 77-89
(*Araştırma Makalesi*)

Haluk KELEŞ, Yücel ÖZMEN

İki Farklı Kabuk Geometrisine Sahip Stadyum Modeli Etrafındaki Akış Alanlarının
Sayısal İncelenmesi..... 90-98
(*Araştırma Makalesi*)

Furkan PEÇE, Eser YARAR, Sedat KARABAY

PID ve Bulanık Mantık Kontrol Sistemleri ile İki Tekerlekli Kendini Dengeleyebilen
Robotik Sistem Tasarımı.....99-108
(*Araştırma Makalesi*)

Osman Onur ORUÇ, Ferhat Dikmen

Lineer Motorlu Engelli Asansörü Tasarımı..... 109-124
(*Araştırma Makalesi*)

Samed Berker IŞIK, Muzaffer ZEREN, Kemal ATAMAY

Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretiminin
Simülasyonu..... 125-132
(*Araştırma Makalesi*)

Serhat YILMAZ, Sadettin Burak KILCI

İleri Sürümlü Yapay Sinir Ağları Eğitim Ve Geliştirme Aracı Tasarımı 133-146
(*Araştırma Makalesi*)



15 MW Bir Buhar Türbini İçin Periyodik Bakımların Verimlilik Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Periodical Maintenance on Efficiency for 15 MW Steam Turbine

H. İbrahim SARAÇ¹ , İbrahim ŞEN^{2,*} 

¹ Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3414-3582

² Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3128-7246

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 10/05/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

Anahtar Kelimeler

Buhar Türbini
B Tipi (Minör) Bakım
C Tipi (Major) Bakım
Verimlilik

Research Paper

Received Date : 10/05/2019

Accepted Date : 03/12/2019

Keywords

Steam Turbine
B-Inspection (Minor)
C-Inspection (Major)
Efficiency

Özet

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbini ele alınmıştır. Yaklaşık olarak 6 yıllık bir süre içeren buhar türbinleri üzerindeki mesleki tecrübe ve teknik kaynakların yardımıyla buhar türbinlerinde uygulanan periyodik bakımların B tipi ve C tipi olmak üzere mekanik bakım kapsamı anlatılmıştır. Periyodik bakımların öncesinde ve sonrasındaki buhar türbini verimlilik hesapları yapılarak periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma ile buhar türbinlerinin üretilmediği ülkemizde farkındalığı arttırmak ve mevcut buhar türbinlerinin periyodik bakımlarının aksatılmadan yapılması ve bunun sonucunda işletme ömürlerinin mümkün olduğunca artırılması amacıyla teknik personellere rehberlik ederek ülkemizin bu alandaki gelişimine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Abstract

In this study, a 15 MW steam turbine at a waste heat plant in a cement plant was discussed. With the help of the experience and technical resources on steam turbines, which have a period of approximately 6 years, the periodic maintenance of steam turbines has been explained. Efficiency calculations of the steam turbine were made before and after the periodical maintenance and the effect of periodic maintenance on efficiency was investigated.

The aim of this study is to raise awareness in our country where steam turbines cannot be produced and to contribute to the development of our country in this field by guiding the technical personnel in order to increase the service life of the existing turbines without any disruption.

1. Giriş

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbini ele alınmış olup buhar türbinlerinde uygulanan periyodik bakımların B tipi ve C tipi olmak üzere mekanik bakım kapsamı detaylı olarak anlatılmıştır.

Periyodik bakımların öncesinde ve sonrasındaki

buhar türbini verimlilik hesapları yapılarak periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi incelenmiştir.

1.1. Buhar Türbinleri

Buhar türbinleri, buharın entalpi farkı (entalpi değişimi) ile mekanik (teknik) iş elde eden ekipmanlardır. İş yapma kabiliyetleri buharın türbin girişinden çıkışına kadar olan sıcaklık düşüşüne bağlıdır. Ne kadar çok sıcaklık düşüşü olursa iş yapma kabiliyeti o kadar fazla

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ibrahimsen@hotmail.co.uk



olacaktır. Buhar türbinlerinin gücü, türbine giren buhar miktarının kontrolü ile sağlanır [1].

1.2. Buhar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Buhar türbinleri yapıları itibari ile aksiyon (impuls) türbinleri ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki ayrı yapıda sınıflandırılırlar [1].

1.2.1. Aksiyon (Impuls) Türbinleri

Aksiyon türbinleri kademe veya kademelerden oluşurlar ve her bir kademe, bir döner ve bir sabit kanattan ibarettir. Türbin içerisine giren buhar ilk kademeye ulaştığında önce birinci kademe sabit kanattan (nozül) geçerek buharın kinetik enerjisi artırılır. Kinetik enerjisi artan buhar döner kanada girerek hız ve basınç farkından yararlanılarak mekanik iş elde edilir. Daha sonra buhar diğer kademeler varsa oralardan da geçer ve bu kademelerde de taşıdığı enerji mekanik işe dönüştürüldükten sonra türbin çıkışına gelir [1].

1.2.1.1. De-Laval Türbini

De-laval türbinleri, türbin girişinde buharın hızını arttıran ve 1. Kademe döner kanadı yönlendiren nozullar ile 1. Kademe döner kanattan oluşurlar. Döner kanattan çıkan buhar türbin çıkışına gelir.

De-laval türbinlerinde basınç düşümü sadece nozullarda işlenmektedir. Bu yüzden De-laval türbinleri aynı zamanda tek kademeli bir curtis türbinidir. Yüksek güçler elde etmek için buhar yükünün artırılması gereklidir. Ancak basıncın tek kademede işlenmesi sonucu çok yüksek hızlara ulaşılması gerektiğinden aksiyon veya reaksiyon türbinleri ile entegre halinde tasarlanmıştır [1].

1.2.1.2. Curtis Türbini

Curtis türbinleri bir çeşit aksiyon türbinleridir. 2, 3, 4 kademeli olabilirler ancak ikinci kademedan sonra verimlerinin çok düşmesi sebebiyle genellikle 2 kademe olarak tasarlanırlar.

Aksiyon türbinlerinin verimleri reaksiyon türbinlerine nazaran daha düşüktür ancak güvenilirlikleri ise tam tersine daha yüksektir [1].

1.2.2. Reaksiyon Türbinleri

Reaksiyon türbinlerinde de kademeler arası basınç farkı oluşur ancak aksiyon türbinlerinden farklı olarak hem sabit kanatta hem de döner kanatta basınç farkı vardır. Yani buharın taşıdığı kinetic enerji her iki kanatta da işlenir.

Reaksiyon türbinlerini aksiyon türbinlerinden ayıran en önemli özellik budur. Hem sabit kanatların rotor üzerindeki karşılığında hem de döner kanatların gövde üzerindeki karşılığında kaçakları önleyici sızdırmazlık sistemi bulunmaktadır [1].

Sıcaklık düşüşünün sabit ve döner kanatlarda işleme oranına reaksiyon oranı denilmektedir ve bu oran genellikle 0,5 olarak tasarlanır. Bu türbinlerde döner kanadı taşıyan disk üzerinde balans delikleri bulunmaz. Reaksiyon türbinlerinde kısmi üfleme yoktur. Buhar nozullara tüm çevreden (360°C) girer ve üflenir. Buharın nozullara giriş açısı 20°C'dir ve bu açı son kademelere doğru 35-40°C'ye kadar çıkabilir [2].

2. Buhar Türbinindeki Periyodik Bakım Çalışmaları

Özel amaçlı buhar türbinlerindeki günlük, haftalık, aylık yapılması gereken kontroller bulunmaktadır. Bu kontroller ekipmanın minör (B tipi) ve majör (C tipi) bakımlara kadar sağlıklı çalışacağını takip etmek açısından önemlidir. Ekipmanın en çabuk aşınması beklenen kısımları minör bakımda diğer kısımları ise majör bakımda kontrol edilirler. İmalatçının herhangi bir yönergesi bulunamaması durumunda tamirat yapılacak malzeme ile ilgili standart (API 612, API 687, ASME SECTION 8 vb.) dikkate alınmalıdır. Minör bakımlar genellikle 15.000-20.000 çalışma saatinde bir, majör bakımlar ise genellikle 48.000 – 55.000 çalışma saatinde bir gerçekleştirilir. Ancak sık devreye girip çıkan türbinlerde imalatçının belirlediği devreye girme sayısından sonra yukarıda belirtilen çalışma saatleri beklenmeyip bakım gerçekleştirilmelidir [5].

2.1. Buhar Türbininde B Tipi Bakım (Minor Inspection)

Buhar türbin modüllerinin B tipi bakımları (Minor Inspection) kısmi açılan ekipmanlar ve/veya boroskop muayenelerin erişebileceği noktalarda gerçekleştirilir. Bakım hizmetleri, adı geçen ekipmanın kısmi açılıp/kapatılması ve bakım işlerini kapsar. Genel olarak yataklar, sızdırmazlık elemanları, trip ve kontrol valfi, kontrol sistemi, torna çark, kaplin ayarları kontrol edilir. 15.000 OH – 20.000 OH çalışma saatinde B tipi (minör) bakımı yapılması gereklidir ve bakım süresi yaklaşık olarak 1-2 hafta sürebilir [5].

2.2. Buhar Türbini C Tipi Bakım (Major Inspection/Overhaul)

Buhar türbini elemanlarının C tipi bakımları (major maintenance/overhaul) ekipmanın tamamen açılmasıyla

gerçekleştirilir. Majör bakımdaki kontroller minör bakımı da kapsamaktadır. 48.000 OH – 55.000 OH çalışma saatinde C tipi (majör) bakımı yapılması gerekmektedir. Türbinin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak 3-4 hafta sürebilir [5].



Şekil 1. Buhar türbini c tipi bakım çalışmaları.

2.3. Buhar Türbini B Tipi (Minör) ve C Tipi (Major) Bakım Kapsamları

2.3.1. Kaplin Kontrolü

Özel amaçlı buhar türbinlerinde genellikle diyaframli veya dişli kaplinler kullanılmaktadır. Dişli kaplinler torku iletmeye yararlar ve aksel yönde şaftların uzamalarına müsaade ederler. Diyaframli kaplinlerde ise aksel hareket sınırlı kalmaktadır. Kaplin söküldükten sonra kaplinler arası mesafe ölçülerek kaydedilmelidir. Bu değer az veya fazla olması diyaframli ve şimli kaplinlerde thrust yatak aşınmalarına sebep olabilmektedir. Şaftlar arası mesafe ölçülürken türbinin trans yatağına yaslanmış olmasına ve diğer ekipmanın da çalışma pozisyonunda olduğundan emin olunmalıdır [2].

2.3.2. Aksel Gezinti ve Rotor Aksel Pozisyonun Kontrolü

Eksel gezinti ve rotor aksel pozisyonu ölçülürken yatak hamilleri takılı olmalıdır. Bu iki değer ekipman sökülmeden önce ölçülerek kaydedilmelidir [3].

2.3.3. Yatakların Klerans Kontrolü

Radyal yataklar ile hamil arasındaki klerans ekipman devredeyken yatağın boşa kalmasını engellemektedir. Bu değer çok sıkı olursa yatak şekil değiştirebilir, çok düşük ise yuvada dönmeye başlayabilir. Bu yüzden bu değer ölçülerek uygun toleranslara getirilmesi çok önemlidir. Genellikle 0,01-0,04 mm arası bir değer olmakla beraber imalatçı verileri dikkate alınmalıdır [4].

2.3.4. Yatakların Kontrolü

Yataklar üzerindeki borulamalar ve kablo bağlantıları söküldükten sonra yatak kepi sökülür. Thrust pedlerinden her seferde bir tane olmak üzere sırayla yuvalarından alınır. Pedlerin tamamı söküldükten sonra retainerın her iki parçası yerlerinden alınır. Bu esnada ped yüzeylerine, thrust aynası yüzeyine ve diğer işlenmiş yüzeylere zarar gelmemesi için dikkatli olunmalıdır. Üst radyal yataklar yerlerinden sökülür. Alt yatak sökülmeden önce rotoru tahta veya benzeri yumuşak bir malzeme ile desteklemek gerekir. Rotorun labirentler üzerine oturtulmasına müsaade edilmemelidir. Yatak parçaları sökülürken kesinlikle etiketleme yapılmalıdır. Sökülen yatakların yüzeylerinde gözle ve tahribatsız muayene (dye penetrant) ile kontrol yapılmalıdır. Yüzeyinde hasar görülen yataklar tekrar kullanılmamalıdır. Eğer mümkünse yataklara ultrasonik test yapılarak babet malzeme ile ped malzemesi arasında en az %95 yapışıklık olduğu görülmelidir. Yatak kleransı üst toleransa yaklaşmış yataklar tekrar kullanılmamalıdır [7].

2.3.5. Yağ Labirenti Kontrolü

Yağ seallerinin kleransları demontaj esnasında ölçülüp kaydedilmelidir Üretici verilerinin sınırları dışında kalan sealler tekrar kullanılmayacaktır. Seallerin yüzeylerinde eğilme, sürtme varsa kontrol edilip not edilmelidir. Ölçüm için seal üst kepi yerinden alındıktan sonra rotor ile alt seal arası şimlenerek yapılır. Ölçümler rotorun her iki tarafından da yapılmalıdır [6].

2.3.6. Labirentlerin Kontrolü

Labirent üst kepleri yerinden söküldükten sonra rotorun her iki tarafından şimleme ile klerans ölçümü yapılır [7].

2.3.7. Gövde ve Diyafram / Blade Carrier Kontrolü

2.3.7.1. Gövde Kontrolü

Gövdeye bağlı bütün borulamalar ve kablolar sökülür. Gövde yerinden alınırken yataklardan birinin sağından diğerinin solundan iki tane kılavuz kullanılmalıdır. Gövde civataları ve kılavuz pimleri sökülerek gövde yerinden alınır. Gövde vinç ile kaldırılmaya başlanmadan önce üzeri hava ile temizlenmelidir ve ilk önce gövde üzerinde bulunan civatalar (jack screw) vasıtası ile bir miktar kaldırılması sağlanır. Gövde sökülürken rotor çalışma pozisyonunda olmalıdır. Bu pozisyonda iken rotor ile stator arasındaki mesafe en fazla olacak şekilde olur ve kaldırma

esnasında hasar oluşmasının minimuma indirilmesini sağlar. Gövde yavaşça yerinden alındıktan sonra altına tahta vb. yumuşak bir malzeme koyularak yere indirilir. Gövde alt yüzeyi sızdırmazlık yüzeyi olduğundan çizilmemesine hassasiyet gösterilmelidir [7].



Şekil 2. Üst gövde kapağının demontajı.

Yatak yuvası ile yatak dış kısmına temas testi yapılmalıdır. Yatak dış kısmına prusyan mavisi sürülerek yerine bağlanacaktır. Kabul edilebilir minimum temas %85 olmalıdır. Eğer daha düşük bir temas elde edilirse yatak hamili içindeki tepecikler taşlanmalıdır. Temas testi esnasında az miktarda prusyan mavisi sürülmelidir. Aksi takdirde yanlış sonuç elde edilebilir. Gövde saplamalarında her defasında uygun sıcaklığa dayanıklı anti-seize sürülecektir. Gövde tekrar yerine koyulurken rotorun çalışma pozisyonunda olması gerekir. 4 tane kılavuz kullanılarak gövde oturtulur ve bu esnada yatak mezkeleme (dowel) pimleri takılmalıdır. Gövde oturtulduktan sonra rotor döndürülerek sıkışma olmadığı görülmelidir. Gövde saplamaları sıkılırken ilgili imalatçının verdiği sıkma sırası ve tork prosedürü uygulanmalıdır [6].

2.3.7.2. Diyafram Kontrolü

Diyaframlar bütün majör bakımlarda sökülerek kontrol edilmelidir. Söküm esnasında markalama yapılmalıdır [2].



Şekil 3. Diyaframların montajı.

Rotor duruyorken ve çalışma esnasında sehim yaptığından dolayı diyaframlarda rotorun şekline göre montajlanırlar. Bu ölçüleri de demontaj esnasında kaydetmek montaj esnasında yardımcı olacaktır. Bunun için gövde sızdırmazlık yüzeyi ile diyafram yüzeyleri arasındaki yükselti farkı her bir diyafram için ölçülerek kaydedilmelidir. Diyaframlar söküldükten sonra kir, pas ve diğer yabancı maddelerden arındırılmak için temizlenmelidir. Bunun için 200 mesh grit veya daha küçük alüminyum oksit, kum veya cam kullanılabilir. Temizlik sonrası NDT yapılacak olup sonrasında koruyucu yağ ile yağlanmalıdır. Kumlama sırasında diyafram üzerindeki steam akış kanallarına dikkat edilmelidir. Bu yüzeylerde pürüzlülük oluşması sürtünme kayıplarını artırıp verim kaybına neden olabilir. Diyaframların öpüşme yüzeyleri görsel olarak kontrol edilmelidir. Kademeler arası steam kaçağı olmadığına emin olmak için yüzey düzgünlüğü kontrolü yapılmalıdır. Buradan oluşacak kaçaklar performans azalmasına neden olabilir. Gövde yüzeylerinde kullanılan sızdırmazlık ürünlerinin diyaframlar arasında sızdırmazlık sağlamak amacıyla kullanılmamalıdır [2].

2.3.7.3. Blade Carrier Kontrolleri

Blade carrier'larda yapılacak olan kontroller ile diyaframlara yapılacak olan kontroller hemen hemen birbirinin aynısıdır [3].

2.3.8. Rotor Kontrolü

Üst kapak söküldükten sonra rotorda görsel kontrol yapılır. Herhangi bir birikinti, kirlilik görülürse kaydedilmelidir. Rotor yerinden alınırken sabit parçalara sürtmemesine dikkat edilmelidir. Yerinden alındıktan oturtulur ve sonra yatak yerleri teflon veya tahta malzemeye temas edecek şekilde oturtulur [8].



Şekil 4. Rotorun desteklere montajı.

Rotor desteğe oturtulduktan sonra görsel olarak erozyon veya korozyon kontrolü yapılır. Sonrasında 200 mesh grit alüminyum oksit, kum veya cam ile temizlenir

(Temizlik esnasında çelik bilya kullanılmayacaktır). Temizlik esnasında prob yüzeyleri ve varsa diğer hassas yüzeyler korunacaktır. Eğer kaplamalı yüzey var ise yüzeyin durumuna göre karar verilecektir. Shroud bandı, kanatlar ve diğer stres noktaları sıvı penetrasyonla kontrol edilir. Sonrasında rotor yüzeyleri ince bir yağ ile kaplanır ve korumaya alınır. Rotor üzerindeki hassas yerler (yatak bölgeleri, prob yüzeyleri ve thrust diski) kontrol edilir. Rotorda kumlama yapıldıysa veya çalışma esnasında vibrasyon varsa yüzeyleri kontrol mutlaka balans yaptırmak gereklidir [8].

Rotor Montajı;

➤ Alt gövdeden kontrol için sökülen steam labirentleri, yağ labirentleri, balans drumı, alt yataklar ve varsa diğer parçalar takıldıktan sonra rotor yerine yerleştirilir.

➤ Rotor ile gövde üzerinde bulunan parçaların çalışma kleransları bu aşamadayken alınır. Eğer düzeltilmesi gereken bir durum var ise bu aşamadayken yapılmalıdır [8].



Şekil 5. Rotor montaj çalışmaları.

2.3.9. Trip Vanası Kontrolü

Trip vanaları ekipmanın herhangi bir olumsuz durum karşısında durmasını sağlayacak emniyet ekipmanı olduğundan bakımlarına hassasiyet gösterilmelidir. Trip vanaları mekanik ve hidrolik olmak üzere iki tipte olurlar. Valf mili, siliv, silindir, piston ve valf görsel olarak kontrol edilecektir. Valf siti ve plug sıvı penetrant ile kontrol edilecektir. Valf milinin(spindle) dış çapı ve silivin iççapı ölçülerek aradaki klerans kaydedilir [5].



Şekil 6. Trip vanası demontajı.

Valf milinin run-out ölçümü yapılır. Trip yayı görsel olarak kontrol edilir. Eğer yedek yay varsa bakım esnasında değiştirilmelidir. Trip vanası öncesindeki filtre (strainer) kontrol edilmelidir. Yırtık var ise onarılmalıdır [4].

2.3.10. Kontrol Vanası Kontrolü

Bir kontrol vanasındaki tipik kontrol noktaları aşağıda belirtilmiş ölçümler için imalatçı bilgilerine bakılmalıdır. Kontrol vanasının bağlantı noktaları boşluk veya sıkışıklık durumları için kontrol edilmelidir. Valf mili yüzeyinde çizik veya başka bir hasar durumu kontrol edilir. Valf siti ve diskine sıvı penetrant uygulaması yapılır [2].

2.3.11. Yağlama Sistemi Kontrolleri

Yağlama sistemi onarım için ekipman durdurulmadan önce kontrol edilip kaçak olan noktalar belirlenmelidir. Yağlama sistemi üzerinde bulunan RV'ler, kontrol vanaları ve ölçü aletleri kontrol edilmelidir. RV'lerin testleri minör ve majör bakımlarda gerçekleştirilmelidir. Yağ soğutucu, soğutma suyu hatları ve filtreler kontrol edilmelidir. Ana ve yardımcı yağlama pompaları ilgili ekipman imalatçısı yönergelerine göre kontrol edilmelidir. Yağ numunesi alınıp analize gönderilmelidir. Jacking oil sistemi var ise borulamaları kontrol edilmeli, eskime yırtık vb. var ise değiştirilmelidir [6].

2.3.12. Balans

Rotor bakıma alındığında eğer üzerinde parça değişikliği veya başka bir işlem yapılırsa balans kontrolünün yapılması gereklidir. Eğer eski rotor kullanılmayıp yedek rotor kullanılacaksa bakım öncesi bu rotorun balansını yaparak hazır bekletilmelidir. Yedek rotorları yüksek hız balansı yapmaya gerek olmayıp düşük hız balansı yapılacaktır. Daha sonra imalatçının düşük hız balansı değeri ile karşılaştırılacak, eğer aynıysa yüksek hız balansı yapmadan yerine koyulacaktır. Bu standartta yer alan türbinlerin rotorlarının balansında rotor balans standardı dikkate alınmalıdır [8].

3. Materyal ve Metot

3.1. Buhar Türbini

Akçansa Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde bulunan 15 MW gücünde Hangzhou marka reaksiyon tipi buhar türbini, generatörü ve yardımcı sistemlerinin 15.000, 30.000 ve 55.000 çalışma saatindeki minör bakım

çalışmalarını kapsamaktadır. Minör bakım kapsamında yapılan bakım çalışmaları; radyal ve eksenel yatakların bakımları, trip ve kontrol vanaları bakımları, vakum sisteminin bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, generatör soğutma eşanjör temizliği, generatör sargılarının kontrolü, ikaz sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıkılık kontrolü ve kondenser bakımının ve temizliğinin yapılması işleri içermektedir.



Şekil 7. Bakımı yapılan buhar türbininin genel görünümü.

Tablo 1. Buhar türbinin teknik özellikleri [10].

Model	BN16-1.25/0.2
Type	Condensing
Rated Power	16000 kW
Turbine rated speed	3000 r/min
Turbine first stage	~1850 r/min
Generator rated speed	3000 r/min
Inlet pressure	1,25 (0,7 ~ 1,5)
Inlet Temperature	335 (270 ~ 390) °C
Condensing pressure	0,01 MPa
Circulation cooling	Normal: 27°C,

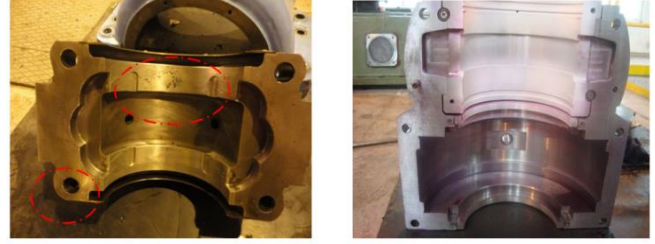
3.2. B Tipi (Minör) 15.000 OH Bakım Çalışmaları

Buhar türbini ve generatör yataklarının kontrolü ve bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, vakum sisteminin bakımı, kondenser temizliği, generatör eşanjör sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıkılık kontrolü, generatör sargılarının kontrolü, megger testlerinin yapılması gibi çalışmalar yapılmıştır. Bakım başlangıç tarihi, 17.04.2013'tür. Bakım bitiş tarihi, 23.04.2013'tür [10].

3.2.1. Yatakların Kontrolü ve Bakımı

- 1, 2, 3 ve 4 nolu yatakların demontajı yapıldı,

- Axial gezi değeri ölçüldü,
- Rotor ile yatağın pedestala pozisyonu ölçüldü,
- Yatak yağ labirent boşlukları ölçüldü,
- Rotor ile yatak arası boşluk ölçüldü,
- Yatakların iç yüzeylerine penetrant testi yapıldı,
- 1, 2 ve 3 nolu yatakta herhangi bir problem tespit edilmedi, 4 nolu yatakta tespit edilen çatlaklar sebebiyle yatak değişimi yapıldı,
- Montaj değerleri ölçülüp, yatakların montajı tamamlandı.



Şekil 8. 4 Nolu yatakta tespit edilen çatlaklar ve 1 nolu yatağın üst kep PT uygulaması.

3.2.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governor) Vanalarının Kontrolü ve Bakımı

- Sağ ve Sol trip (ESV) vanalarının demontajı yapıldı,
- Kontrol(Governor) vanası genel olarak kontrol edildi ve fonksiyon testleri yapıldı,
- Demonte edilen vana parçalarının temizliği yapıldı,
- Vanalardaki sızdırmazlık elemanları (sealing ve o-ringler) değiştirildi,
- Vanaları kontrolü ve bakımı tamamlandıktan sonra yerlerine montajı yapıldı.



Şekil 9. Trip vanalarının demontajı ve sızdırmazlık elemanlarının değişimi.

3.2.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

- Hangzhou marka buhar türbini 15.000 saatlik minör bakımı kapsamında, yağlama sisteminin bakımı, virör sisteminin bakımı, vakum sisteminin bakımı ve kondenser temizliği gibi çalışmalar yapıldı,

➤ Generatör soğutma sistemi, eşanjör temizliği su jeti yardımıyla yapıldı,

➤ Generatör elektrik bağlantı noktalarının, ikaz trafosunun, yıldız bağlantı noktalarının, klemenslerin sıklık kontrolü ve genel temizliği yapıldı,

➤ Generatör sargıların göz ile kontrolü ve temizliği yapıldı,

➤ Megger testleri yapıldı.

3.2.4. Devreye Alma Çalışmaları

Şartname kapsamındaki buhar türbini, generatörü ve yardımcı sistemlerin bakımı tamamlandıktan ve genel çevre temizliği yapıldıktan sonra türbin devreye alma çalışmalarına, 23.04.2013 tarihinde, saat 09:09' da soğuk start prosedürüne uygun olarak, Akçansa personeli tarafından başlandı. 23.04.2013 tarihinde, saat 11:23'te türbin devreye alındı. Vibrasyon değerlerinde herhangi bir problem tespit edilmedi ancak 4 nolu yatak sıcaklığının maksimum değere yakın bir değerde seyrettiği ve herhangi bir sıcaklık düşüşünün olmadığı belirlenince türbin, saat 11:57' de devre dışı bırakıldı ve 4 nolu yatak demonte edilip incelendi. Yapılan inceleme sonucunda, 4 nolu yatak ile rotor arasındaki yağ film boşluğunun yeterli olmadığı tespit edildi. Ayrıca devreye alma esnasında yeterli yağ film boşluğu sağlanamadığı için rotorun alt yatağı aşındırdığı görülmüştür. Yağ film boşluğu tekrar raspa yardımıyla açıldı, alt ve üst kep arasına 0,30 mm kalınlığında şim yerleştirilip, demontaj protokolünde alınan ölçüler doğrultusunda tekrar montajı tamamlandı. Türbin devreye alma çalışmalarına tekrar başlandı ve türbin saat 16:46' da sorunsuz bir şekilde devreye alındı.

3.3. B Tipi (Minör) 30.000 OH Bakım Çalışmaları

Uzun vadeli bakım sözleşmesi gereğince Akçansa Çimento Fabrikası, Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde kurulu olan 15 MW gücünde Hangzhou marka buhar türbin-generatörü ve yardımcı ekipmanlarının minör bakımı işlerinin yapılması amacıyla gerekli İSG eğitimleri alınıp 23.12.2014 tarihinde sahaya mobilize olunarak işe başlanmıştır. Bakım bitiş tarihi 31.12.2014'tür [11].

3.3.1. Yatakların Kontrolü ve Bakımı

- Pedestal üst muhafazası demontajı yapıldı.
- Generatör yataklarının yağ labirent ölçüleri alındı.
- Generatör arka yatak yağ labirentleri ve üst kapağı demontajı yapıldı.
- Generatör ikaz fırçalarının demontajı yapıldı.

➤ Thrust yatak pad'lerin içindeki metal sıcaklık sensörleri sökölüp uzunluk: 30 mm, çap: 3 mm olarak ölçülendirilmiştir.

➤ Türbin pedestal tarafı yatağının alt kısımdaki metal sıcaklık sensörü uzunluk: 35 mm, çap: 6,50 mm olarak ölçülendirilmiştir.

➤ Türbin pedestal tarafı üst ve alt yatak demontajı yapıldı.

➤ Thrust (aksiyal) yatak üst keplerinin sağ ve sol olarak demontajı yapıldı.

➤ Generatör arka üst yatak demontajı yapıldı.

➤ Türbin generatör tarafı üst kap demontajı yapıldı.

➤ Generatör alt arka yatak (ikaz tarafı) demontajı yapılarak alt ve üst yatak birleştirilip ölçüsü alındı.

➤ Türbin 2 nolu yatak (generatör tarafı) ve generatör ön yatak (türbin tarafı) kurşun testi yapıldı.

➤ Türbin pedestal tarafındaki yatağın ve generatör arka yatağın kurşun testi yapıldı.

➤ Generatör arka yatak (ikaz tarafı) ve yağ labirentlerinin montajı yapıldı.

➤ Generatör sızdırmazlık yataklarının montajı yapıldı ve ölçüleri alındı.

3.3.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governer) Vanaların Kontrolü ve Bakımı

➤ ESV sağ tarafı aktüatörü demontajı yapıldı.

➤ ESV vanası demontajı ve temizliği yapıldı.

➤ ESV valfinin çatlak kontrolü yapıldı.

➤ ESV valfinin boya testi yapıldı ve yağ keçeleri değiştirilerek montajı tamamlandı.

➤ Kontrol(Governer) vanası genel olarak kontrol edildi ve fonksiyon testleri yapıldı.

3.3.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

➤ Turning gear (virör) sisteminin bakımı yapıldı.

➤ Vakum sistemindeki ekipmanların bakımları yapıldı.

➤ Kondenser temizliği ve bakımı yapıldı.

➤ Yağlama yağı sistemindeki ekipmanların genel bakımları ve yağlama yağı tankı temizliği yapıldı.

➤ Türbin generatör tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.

➤ Türbin pedestal tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.

➤ Rotorun aksiyal kayma oranı tespit edildi ve üreticinin belirlemiş olduğu değer aralığına getirildi.

➤ Vakum pompasının demontajı, bakımı ve temizliği yapıldıktan sonra mekanik salmastrası takılıp montajı yapıldı.

- Generatör soğutma sisteminin bakımları yapıldı.

3.3.4. Devreye Alma Çalışmaları

Buhar türbini ve generatöründe aşağıdaki işlemler başarıyla tamamlanmıştır. Türbin ve generatör yataklarının demonte edilmiştir. Demontaj ölçüleri alınmıştır. Demonte edilen tüm türbin ve generatör parçalarının temizliğinin yapılmıştır. Pasaport değerleri doğrultusunda montaj işleri tamamlanmıştır. Akçansa personeli eşliğinde ünite sorunsuz bir şekilde devreye alınmıştır.



Şekil 10. Buhar türbini devreye alma çalışmaları.

3.4. B Tipi (Minör) 55.000 OH Bakım Çalışmaları

İşletme ve bakım manuellere doğrultusunda 55.000 çalışma saatinde buhar türbininde C tipi (major) bakım yapılması gerekmektedir. Ancak türbinin kullanıcısı olan Akçansa firması major bakım yapılmasını istemeyerek B tipi (minör) bakım yapılmasını talep etmiştir. Bakım başkangıç tarihi, 12.02.2018'dir. Bakım bitiş tarihi ise 20.02.2018'dir [12].

3.4.1. Yatakların Kontrolü ve Bakımı

- 1, 2, 3 ve 4 nolu yatakların üzerindeki transmitterler ve vibrasyon sensörleri demonte edildi.
- 1, 2, 3 ve 4 nolu yatak üst kapak de montajı yapıldı.
- 4 nolu yatak kepi demontaj edildi. Yatakta deformasyon tespit edildi.
- 4 numaralı yatak de montajı yapıldı. Tamir edilmiş olan yedek yatakta yapılan NDT testi sonucunda döküm hataları gözlemlendi. Generatör üzerindeki mevcut 4 numaralı yatak bakım için gönderildi.
- 3 numaralı yatak kontrolleri yapıldı. Yatakta yapılan NDT testi sonucu çatlaklara rastlanmadı. Tekrardan yerine montaj edildi.
- 2 numaralı yatak kontrolleri yapıldı. Yatak da yapılan NDT testi sonucu çatlaklara rastlanmadı. Tekrardan yerine montaj edildi.
- 1 nolu yatak üst pedestal de montaj edilerek yüzeyleri temizlendi.
- 1 nolu yatak açılarak bakımına başlandı. Üst yatak sökülerek NDT testi yapıldı.

- Türbin thrust yatakları demontaj edildi. Yüzeyler NDT testi yapılarak kontrol edildi.
- 1 numaralı yatağın alt padi demontaj edilerek kontrolleri yapıldı. NDT testleri yapıldı.
- 1 numaralı yatak bakımı tamamlandı ve yerine montajı yapıldı.
- 1 numaralı yatak alt pedestal temizliği yapıldıktan sonra üst pedestal montajı yapıldı.
- Generatör kapakların montaj işlemleri tamamlandı. Labirent ölçü kontrolleri yapıldı.
- 4 Numaralı yatak arızalı beyaz metali yenilendi. Bakımdan gelen yatak montajı yapıldı.
- Yatak üst baskıları kontrol edildi.

3.4.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governor) Vanalarının Kontrolü ve Bakımı

- Kontrol valfinde bulunan grafitli salmastraların demontajı tamamlandı. Salmastra baskı somunu üzerinde oluşan korozyonlar ve çapaklar temizlenmesi için tornaya gönderildi.
- Kontrol vanası için grafitli salmastra siparişi verildi.
- Kontrol vanası sızdırmazlık salmastraları yenilendi, vananın strok kol mekanizması montajı tamamlandı.
- Kontrol vanası izolasyon montajı tamamlandı.
- Trip (ESV) vanalarının genel olarak kontrolleri ve fonksiyon testleri yapıldı.



Şekil 11. Kontrol vanası bakım çalışmaları.

3.4.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

- Generatör soğutucu eşanjörü temizliği yapıldı. Tıkalı olan borular su jeti ile temizlendi.
- Kondenser temizliği yapıldı. Birinci manhole su jeti ile temizlendi. Tıkalı olan boruların temizliği yapıldı.
- Generatör temizliği yapıldı. Basınçlı hava ile generatör iç kısımlarına iç kısımlarına giren toz temizlendi.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinin bakımı yapıldı.
- Generatör hava soğutucu eşanjörünün kapakları üzerindeki soğutma hatları montajı tamamlandı.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinden ikinci sıradaki eşanjörün tıkalı olan boruları temizlendi ve bakımı tamamlandı.

➤ Generatör rotor ikaz sargıları temizlenerek kontrolleri yapıldı.

➤ Kondenser temizliği tamamlandı. Son kontrolleri yapılarak kapatıldı.

➤ Generatör kapakların montaj işlemleri tamamlandı. Labirent ölçü kontrolleri yapıldı.

➤ 2 numaralı yağ soğutucu eşanjörünün temizliğine devam edildi. Dönüş hatlarının hepsinin tıkalı olduğu görüldü.

➤ Generatör sargıları megger cihazı ile izolasyon kontrolleri yapıldı.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinin temizliği ve montajı tamamlandı.

➤ Generatör rotorunun ikaz kömürleri ve topraklama hatlarının montajı tamamlandı.

➤ Virör dişlisi elektrik motoru rulmanları değiştirildi ve yerine montaj yapıldı.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinin ve çevresinin temizliği yapıldı.

➤ Soğutma kulesi havuz taban temizliği yapıldı.

3.4.4. Devreye Alma Çalışmaları

Buhar türbini soğuk start prosedürü doğrultusunda devreye alma çalışmaları 20.02.2018 tarihinde Akçansa işletme yetkilileri tarafından yapılmış ve türbin sorunsuz olarak devreye alınmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Buhar Türbininde Kullanılan Akışkanın Termodinamik Denklemleri

Çalışmada kullanılan verim hesabı yapılırken belirli basınç ve sıcaklık altındaki entalpi değerleri aşağıda ifade edildiği şekliyle bulunmuştur.

h_3 ; buhar türbini girişindeki kızgın buharın entalpi değeridir. Önceki çalışmalarda su için doymuş buhar entalpi değerleri, belli sıcaklık ve basınç altında tablolar halinde düzenlenmiştir. Bu bölgede su kızgın buhar halindedir ve türbine kızgın buhar girer bu sebeple (Çengel, 2000) kitabında Tablo A-6'nın yardımıyla bulunmuştur.

h_4 ; buhar türbini çıkışındaki buharın entalpisidir. Bu bölgede akışkan doymuş buhar-doymuş sıvı halinde bulunur. Bu değer; $h_4 = h_1 + xh_{fg}$ olarak hesaplanır. Burada x doymuş buhar-doymuş sıvı karışımının kuruluk derecesini, h_{fg} ise doymuş buhar entalpi değeri ile doymuş sıvı entalpi değeri arasındaki farkı göstermektedir.

4.2. Buhar Türbininin Termodinamiğin Birinci Kanunu Analizi

Rankine çevriminin termodinamiğin I. kanun analizi, akışkan olarak su ve değişken sistem parametreleri için türbinin izantropik verimi hesaplanmıştır. Buradaki çalışma buhar türbinin periyodik bakımlarının verimlilik üzerine etkilerini I. kanun yaklaşımı ile daha net ve anlaşılır bir şekilde gösterilmeye çalışılarak bir buhar türbini için periyodik bakımların önemi vurgulanmıştır [13].

Buhar türbininin çalışması esnasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

➤ Buhar hatlarındaki ve vanalardaki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

➤ Sistemde dolaşan güç akışkanının debisi sabittir.

➤ Türbinden dış ortama ısı transferi yoktur.

➤ Türbindeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

➤ Türbindeki hal değişimi izantropiktir (adyabatik genleşme).

4.2.1. Kütlelerin Korunumu

$$m_3 = m_4 = m_s \quad (1)$$

m_3 ; türbin girişindeki buharın debisini ifade etmektedir.

m_4 ; türbin çıkışındaki buharın debisini ifade etmektedir.

4.2.2. Enerjinin Korunumu

$$m_3h_3 = m_4h_4 + W_T \quad (2)$$

$$\eta_T = [W_T] / [m_s (h_3 - h_4)] \quad (3)$$

η_T ; türbinin izantropik verimini ifade etmektedir.

W_T ; türbinden üretilen mekanik (teknik) işi ifade etmektedir.

4.3. B Tipi (Minör) 15.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlilik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=74$ t/h, $T_3=350$ °C, $P_3=1,03$ MPa ve $h_3=3158,2$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=74$ t/h, $T_4=41$ °C, $P_4=0,094$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $W_T = 14,735$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme

değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,816$ (%81,6) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=72$ t/h, $T_3=345$ °C, $P_3=1,01$ MPa ve $h_3=3147,5$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=72$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,094$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,744$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,830$ (%83,0) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,014 (%1,4) kadar artış göstermiştir.

4.4. B tipi (Minör) 30.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=69$ t/h, $T_3=343$ °C, $P_3=0,91$ MPa ve $h_3=3145,3$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=69$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,280$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,820$ (%82,0) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=70$ t/h, $T_3=345$ °C, $P_3=0,954$ MPa ve $h_3=3146,4$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=70$ t/h, $T_4=40$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,223$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,832$ (%83,2) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,012 (%1,2) kadar artış göstermiştir.

4.5. B Tipi (Minör) 55.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait

normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=64$ t/h, $T_3=333$ °C, $P_3=0,85$ MPa ve $h_3=3127,6$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=64$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,095$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 11,692$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,838$ (%83,8) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=66$ t/h, $T_3=340$ °C, $P_3=0,960$ MPa ve $h_3=3135,6$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=66$ t/h, $T_4=41$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 12,166$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,847$ (%84,7) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,009 (%0,9) kadar artış göstermiştir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Hangzhou marka 15 MW güce sahip bir buhar türbinine ait B tipi (minör) mekanik bakım çalışmaları incelenmiş, termodinamiğin birinci kanununda ifade edilen kütle ve enerjinin korunumundan faydalanılarak türbin için izantropik verim hesabı yapılmıştır. Mekanik bakım çalışmalarının buhar türbini verimliliği üzerine etki analizi yapılmıştır.

Tablo 2. Türbin verimi – 15.000 OH bakımı.

Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,816 (% 81,6)
Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,830 (% 83,0)
Aradaki Fark	(+) 0,014 (% 1,4)
Durumu	Artış Göstermiştir

Tablo 3. Türbin verimi – 30.000 OH bakımı.

Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,820 (% 82,0)
Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,832 (% 83,2)
Aradaki Fark	(+) 0,012 (% 1,2)
Durumu	Artış Göstermiştir

Tablo 4. Türbin verimi – 55.000 OH bakımı.

Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,838 (% 83,8)
Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,847 (% 84,7)
Aradaki Fark	(+) 0,009 (% 0,9)
Durumu	Artış Göstermiştir

Yukarıdaki tablolarda da görüldüğü üzere çalışmaya konu olan Hangzhou marka 15 MW gücündeki buhar türbinine periyodik olarak yapılan mekanik bakım çalışmaları sonrasında verim artışı görülmüştür.

Ülkemizde buhar türbinlerinin üretimi ne yazık ki yapılamamaktadır. Ülkemiz, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan buhar türbinlerini Almanya, USA, Japonya, Çin, Rusya ve Hindistan gibi ülkelerden ithal etmektedir. Buhar türbinlerinin mekanik bakım çalışmaları ise 10 – 15 yıl öncesine kadar sürekli olarak yurt dışı firmaları tarafından yapılmaktaydı. Günümüz de ise buhar türbinini mekanik bakım çalışmaları yerli firmalar tarafından yapılabilmektedir.

Bu çalışmada incelenen buhar türbinini Çin'den ithal edilmiş olup uzun dönem periyodik bakımları ise yerli bir firma tarafından yapılmıştır.

Buhar türbinleri değerli ve kritik ekipmanlar olduğu için üretici firmalarının belirlediği bakım periyotları aksatılmamalıdır. İncelenmiş olan mekanik bakım çalışmaları 2013, 2014 ve 2018 yıllarında yapılmış çalışmaların sonucunda elde edilmiş teknik tecrübeleri ve verileri içermektedir.

Kaynaklar

- [1] Hasan V., 2015. Rafineri ekipmanları işletme ve bakım rehberi. Buhar Türbinleri ve Çevrimleri, Tüpraş, Kocaeli.
- [2] GE Oil & Gas., Steam turbine operation and maintenance manuel.
- [3] Alstom, Steam Turbine for Alstom Design.
- [4] Hangzhou Co., Steam Turbine Operation and Maintenance Manuel.
- [5] Joule Enerji A.Ş., 2015. Steam turbine maintenance handbook. İstanbul.
- [6] Bloch H.P., Singh M., 2008. Steam turbines design, application and re-rating. McGraw-Hill Education.
- [7] API (American Petroleum Institute) Standard 612, (August) 2014. Petroleum, petrochemical, and natural gas industries-steam turbines-special-purpose applications, 7th Edition.
- [8] API (American Petroleum Institute), (September) 2001. Recommended practice 687. Rotor Repair, First Edition.
- [9] ASME Section VIII, 2017. Boiler & Pressure Vessel Code.
- [10] İbrahim Ş., (Nisan) 2013. F.55 Müşteri servis raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 15.000 OH, Çanakkale.
- [11] Ayşe B., (Aralık) 2014. F.55 Müşteri servis raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 30.000 OH, Çanakkale.
- [12] Necati T., (Şubat) 2018. T. F.55 Müşteri Servis Raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 55.000 OH, Çanakkale.
- [13] Çengel A.Y., Boles A.M, 1994. Thermodynamics: an engineering approach. McGraw-Hill, 987s. New York.



Hava Kirliliği Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma

Air Pollution Forecast: A Comparison with Artificial Neural Networks and Regression Methods

İlayda AKBULUT^{1,*} , Burcu ÖZCAN² 

¹ Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-1669-1817

² Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0820-4238

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 16/01/2020

Kabul Tarihi : 29/04/2020

Anahtar Kelimeler

Hava Kirliliği
Partikül Madde
Regresyon Analizi
Yapay Sinir Ağları

Research Paper

Received Date : 16/01/2020

Accepted Date : 29/04/2020

Keywords

Air Pollution
Particulate Matter
Regression Analysis
Artificial Neural Networks

Özet

Havanın doğal bileşimlerini farklılaştırıp, kirli bir hava olma niteliği kazandıran kirleticilerden kükürtdioksit (SO₂) ve partikül maddenin (PM₁₀) ölçülmesi, kirlilik seviyesine karar verebilme aşamasında Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yeterli bulunarak tüm dünya ülkelerine önerilmiştir. Çalışmada, değerleri eksiksiz olarak elde edilebilen Türkiye'deki 31 il için veriler kullanılmıştır. Hava kirliliği, yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon modelleri kullanılarak PM₁₀ miktarı tahmin edilerek ölçülmüş, iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. İlk olarak 2012-2018 yılları arasında ölçülen PM₁₀ miktarı bağımlı değişken olarak tanımlanarak onu etkileyebilecek 5 bağımsız değişken belirlenmiştir. Bağımlı değişken olan PM₁₀ miktarı 2018 yılı için regresyon ve YSA modelleri ile tahmin edilmiştir. Ayrıca bu tahminleme işlemi 4 ve 5 değişken için yapılarak nasıl bir farklılık olabileceği gözlenmiştir. Her iki yöntemde ve değişken sayısında, doğruluk oranını saptamak için ortalama mutlak hata (MAD), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), ortalama karesel hata (MSE), kök ortalama karesel hata (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre YSA yöntemi daha iyi uyum sağlayan model olarak seçilmiştir ve 2019 yılı için PM₁₀ değeri tahmini YSA yöntemiyle yapılmıştır.

Abstract

The measurement of sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM₁₀), which changes the natural composition of the air and gives it the characteristic of being a polluted air, has been proposed by the World Health Organization (WHO) to all countries in the world to determine the level of pollution. In this study, values obtainable data for exactly 31 provinces in Turkey are used. Air pollution was measured by estimating the amount of PM₁₀ using artificial neural networks (ANN) and regression models, and the two methods were compared. Firstly, the amount of PM₁₀ measured between 2013 and 2017 was defined as a dependent variable and 5 independent variables that could affect it were determined. The amount of the dependent variable PM₁₀ was estimated by regression and ANN models for 2018. In addition, it was observed that there could be a difference by making this estimation process for 4 and 5 variables. In both methods and number of variables, mean absolute error (MAD), mean absolute percent error (MAPE), mean square error (MSE), root mean square error (RMSE) values were calculated to determine the accuracy rate. Accordingly, the ANN method was chosen as a model that would fit better and PM value estimation for 2019 was made with the ANN method.

1. Giriş

Havanın doğal bileşimini farklılaştırıp bozan kirli hava özelliği kazandıran kirleticilerden, SO₂ ve PM₁₀ ölçümü,

kirlilik seviyesine karar verebilme aşamasında, DSÖ tarafından yeterli bulunarak tüm dünya ülkelerine önerilmiştir [1-4]. SO₂ kirliliği; kükürt bulunduran fosil yakıtların yanması ile kentsel ısınmada ve bazı endüstriyel proseslerin sonunda bacalardan çıkan kirliliklerden, partikül madde kirliliği ise genellikle sanayi bölgelerinden,

¹ Sorumlu Yazar (Corresponding Author): akbulut_ilyada@hotmail.com.tr



kısmen de kentsel ısınmada fosil yakıtlardan oluşmaktadır [5].

PM10 katı ya da sıvı olabilir, havada asılı halde bulunur PM10 içinde, pek çok organik ve inorganik kirlenici ile kanserojen özellikte ağır metalleri içerdiğinden SO₂'den daha önemlidir [2 – 4, 6].

Hava kirliliği toplumu her yönüyle etkilemekte sfesifik olarak çocuklar ve yaşlılarda etkilenme daha fazla olmaktadır. Dört yaşın altındakilerde pnömoni gibi göğüs rahatsızlıkları görülmekte ve pnömoni ölümleri artmakta, 55 yaş üstünde, kalp - akciğer hastalıkları ve hiper tansiyonlu hastaların durumlarında ağırlaşma, ağır hastalarda ise ölümlerde artma gözlenmektedir [1,4,7]. DSÖ, Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Hava Kalitesini Kontrol Yönetmeliği, hava kirliliğinin başladığı seviyeyi belirleyen standartlar ile kirleniciler için hedef sınır değerler belirlemiştir.

Çalışmanın amacı insan hayatını önemli ölçüde etkileyen hava kirlenici değerler için tahminleme yapmaktır. Bunun için Türkiye'de bulunan 31 il seçilerek 2013-2018 yılları arasında yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerden yararlanarak PM10 değerlerinin, belirlenen 5 bağımsız değişken ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi, YSA ve regresyon analizi ile elimizde bulunan 2018 yılı için tahmin yapılarak yöntemlerin doğruluğunun tespiti için MAPE, MAD, MSE, RMSE değerleri hesaplanarak bir değerlendirme yapılması ve karşılaştırılmasıdır. Ve en iyi sonucu veren yöntem ile 2019 yılı için PM10 değerlerinin nasıl olacağını tahmin edilmesidir. Ayrıca tahminleme yapılırken değişken sayısı 4 ve 5 yapılarak işlemler tekrarlandığında nasıl bir farklılık göstereceğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Literatür Araştırması

Sezer (2019) tezinde Zonguldak ilinin elektrik enerjisi yük tahmini, Regresyon, Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağları (GYSA) ve Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA) gibi metotlarla yapılmıştır. Tahmin metotlarında geliştirilen tüm modellerde aynı bağımsız değişkenler kullanılarak toplamda 8 farklı model kurularak analiz yapılmıştır. Tahmin metotları ile bulunan üç yıllık enerji tüketimi tahmini verileri kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda en yüksek R² değeri ile hangi modelin en iyi tahmin sonucunu verdiği bulunmuştur [8].

Calp (2019) işletmeler için YSA kullanılarak günlük yemek talebini tahmin eden yapay zekâ tabanlı bir model önermiştir. Modelin performansı, regresyon değerleri, MAPE ve MSE dikkate alınarak belirlenmiştir. Deney sonuçları, modelin hata oranının düşük, performansının yüksek olduğunu ve talep tahmini için YSA kullanımının olumlu etkisini ortaya koymuştur [9].

Sönmez ve Zengin (2019) bir işletmenin satış tahmini için YSA ve çoklu regresyon modelleri kullanılarak günlük satışını tahmin edip ve iki modelin karşılaştırılması yapmışlardır. Her iki modelde başarı oranların yüksek olması talep tahmininde YSA ve çoklu regresyon kullanımının pozitif etkisini göstermiştir. YSA ile geliştirdiğimiz model çoklu regresyon modeline göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir [10].

Dong, Fisman, Wang ve Xu (2019) çalışmalarında yatırım analistlerinin kurumsal saha ziyaretleri sırasında hava kirliliği ile müteakip kazanç tahminleri arasında negatif bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir [11].

Mutlu (2019) çalışmasında, Balıkesir il merkezinde bulunan toplam 24 kavşağı analiz ederek ve bu kavşaklardan geçen taşıt sayımları yaparak il merkezinde trafikten kaynaklanan hava kirliliği seviyelerini incelemiştir. Elde edilen veriler COPERT programı yardımı ile analiz edilerek, kirlenicilere ait trafik kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır [12].

Pimpin, Retat, Fecht, Preux, Sassi, Gulliver ve Webber (2018), İngiltere'deki ince partikül madde (PM_{2.5}) ve azot dioksit (NO₂) nedeniyle toplam sağlık ve ilgili Ulusal Sağlık Servisi (NHS) ve sosyal bakım maliyet yükünü ölçmektedir. Hava kirliliğine atfedilebilen yaklaşık 2.5 milyon koroner kalp hastası vakası, PM_{2.5} ve NO₂'nin mevcut seviyelerde kalması ve hava kirliliğini önemli bir halk sağlığı önceliği haline getirmesi durumunda 2035 yılına kadar tahmin edilmektedir [13].

Qiu, Tang, Lu, Huang ve Zhou (2018), 2014 yılında Wuhan'daki hava kirliliği kaynaklarının emisyon envanterine ve Wuhan'daki Kentsel Hava Kalitesi Uyum Planlamasının (2013-2017) verilerine göre bir İç İçe Hava Kalitesi Tahmin Modelleme Sistemi uygulanarak çevresel etki simülasyonu yapılmıştır [14].

Yücesan (2018) beyaz eşya sektöründe bulaşık makineleri, buzdolapları, küçük ev aletleri ve televizyonlar için çeşitli açıklayıcı değişken kullanarak satış tahmini modeli önermiş, en doğru tahminlerin, performans kriteri olan MSE karşılaştırıldığında YSA yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [15].

Şahin (2018) YSA ile geleneksel tahmin yöntemlerinde ARIMA ile karşılaştırıldı. Çalışma örneklemini günlük kapanış fiyatları kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışma sonucunda belli tarihler arasında yapay sinir ağları MPL (6-3-1) modeli ile tahmini fiyatların hem yönleri hem de değerleri, ARIMA (1.1.6) modelinden daha başarılı olmuştur [16].

Aydoğan ve Zırhhoğlu (2018) çalışmalarında, öğrencilerin başarı ölçülerini kestirebilen bir YSA'da bir modelin geliştirilmiştir. Sonucunda, Sınıflama (Kontenjans) Tabloları, Ki-kare testi, Basit Doğrusal Regresyon Analizi ve Korelasyon Analizi yöntemleri aracılığıyla doğrulanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara

göre, kestirilen başarı ölçüleri ile gözlenen başarı ölçülerinin ve bu ölçülerle oluşan başarılı/başarısız şeklindeki başarı sınıflandırılmasının büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür [17].

Özden ve Öztürk (2018) zaman serileri ve YSA olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak Türkiye'deki bir endüstri bölgesi için enerji ihtiyaç tahmini üzerinde çalışılmış ve sonuçlar test edilmiştir. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak, kısıtlı veri ile kısa dönem tahmini için basit bir model geliştirilmiştir. Zaman serileri yöntemi veri azlığı sebebiyle YSA'a göre daha kötü bir tahmin gerçekleştirmiştir [18].

Can ve Gerşil (2018) Manisa Tarım Borsasından yıllık pamuk fiyatlarını alarak zaman serisi ve YSA teknikleri kullanılarak 2017 yılına ait fiyatların değer tahminleri yapmışlardır. Yapılan tahminler MAD, MAPE ve RMSE değerleri üzerinden karşılaştırılarak YSA tekniğinin daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür [19].

Taşar, Üneş, Demirci ve Kaya (2018) Cambridge Hazne ve havzası için buharlaşma miktarı tahmin edilmeye çalışmışlardır. YSA sonuçları, geleneksel Hargreaves-Samani, Ritchie ve Turc yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, YSA modelinin buharlaşma miktarı tahmininde geleneksel yöntemlerden daha iyi performans ortaya koyduğu göstermiştir [20].

Feng, Chi, Wang, Li, Jiang ve Yang (2017), hava kirliliği modellerinin kritik bir bileşenini, sayısal olarak yapışkan kimyasal adi diferansiyel denklemlerle (ODE) Modified Backward-Euler (MBE), negatifliği korunmayan, verimli bir kimyasal çözücü MBE ile tasarlayıp, İç İç Hava Kalitesi Tahmin Modelleme Sistemine uygulayarak (NAQPMS) en popüler çözücü Adi Diferansiyel Denklemler için Livermore Çözücü (LSODE) arasında karşılaştırma yaparak, MBE'in hava kirliliği tahmini için daha iyi bir seçim olduğunu ortaya koymuşlardır [21].

Sammarco, Tse, Pau ve Marfía (2017), sosyal ağlarda coğrafi bir araştırmayı, yani hava kirliliği ile ilgili mesajlar hakkında bir jeososyal araştırmayı etkili hava kirliliği ölçümleri olarak kullanma fizibilitesini araştırmışlardır [22].

Miguel, de Blas ve Sipols (2017), kentsel yol fiyatlandırma sonuçlarının (Singapur, Londra, Stockholm ve Milano) yansıdığı gibi hava kirliliğini azaltmak için etkili bir araç olduğunu göstermek adına Madrid 'de varsayımsal bir kentsel yol fiyatlandırma sistemi kurulmasına dayalı bir anket yaparak sistemin hava kirliliğindeki bir azalmayı motive etme ve toplu taşıma kullanıcıları için daha sürdürülebilir bir davranış uygulama kapasitesinin yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır [23].

Ekinci (2017), Hava kirliliğinin SO₂ (kükürtdioksit) konsantrasyonu üzerinden tahminleme modeli, Denizli il merkezinde 2005-2015 yılları arasında ölçülen SO₂, ve PM₁₀ konsantrasyonu ile sıcaklık, basınç, çiğ noktası,

rüzgar, yağmur gibi meteorolojik verilerle kurularak çok katmanlı sinir ağı ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri kullanılmıştır [24].

Özşahin, Eroğlu ve Pektezel (2016) Keşan şehrindeki hava kirliliğinin doğal ve beşeri coğrafya faktörleriyle ilişkisini araştırarak, kirliliğin neden ve sonuçları yorumlamışlardır. Sonucunda Keşan şehrindeki hava kirliliğinin kaynakları, kirliliğin azaltılması ve kontrol edilmesine yönelik önerilerde bulunmuşlardır [25].

Turgut ve Temiz (2015) çalışmalarında, PM₁₀ hava kirleticisi verilerine Box-Jenkins Metodolojisi uygulanarak zaman serileri analizi yapılmış ve PM₁₀ kirleticisinin gelecekte alacağı değerlerini tahmin etmişlerdir [26].

Kunt (2014), Konya ilindeki hava kirliliği seviyesinin tespiti ve insan sağlığına etki edecek konsantrasyonların tahminine yönelik SO₂ verileri ile meteorolojik veriler YSA ve Bulanık Mantık modelleri kullanılarak modellenmiştir [27].

Kaplan, Saray ve Azkeskin (2014) çalışmada, SO₂ ve PM₁₀ verileri kullanılarak YSA geri beslemeli ağ yapısı içinde Levenberg - Marquardt öğrenme algoritması ile tahminleme yapılmıştır [28].

Budak ve Erpolat (2012) bankaların kredi risklerini öngörmelerine yardımcı olması amacıyla, kredi talep eden müşterilerin ödeme alışkanlıklarının düzenli olup olmayacağını tahmin edilmesi için YSA ve lojistik regresyon analizi kullanılmışlardır. Çalışma sonucunda, YSA yönteminin müşterilerin ödeme alışkanlıklarının düzenli olup olmayacağını tahmin etme gücü lojistik regresyon modelinden daha üstün olduğu tespit edilmiştir [29].

Okkan ve Mollamahmutoğlu (2010) Gediz havzasında yer alan Yiğitler Çayına ait günlük akımların modellenmesi için kullanılacak bir YSA modeli hazırlanmış, modeli çoklu doğrusal regresyon modeli ile karşılaştırarak, YSA algoritması performansı regresyon modeline göre daha başarılı bulunmuştur [30].

Tolon ve Tosunoğlu (2008) YSA ile tatmin araştırmalarında sıklıkla kullanılan regresyon yöntemi ele alarak ve Ankamall müşterilerine yapılan uygulamayı karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir [31].

Doğan ve Kitapçioğlu (2007) İzmir ilinde belirli bir zaman dilimindeki hava kirliliğini değerlendirmek ve hava kirliliği ölçümü ile ilgili olarak yapılan değişiklikler ile hava kirliliği değerleri arasındaki ilişkiler zaman serisi analizi ile analiz edilerek istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptamışlardır [32].

Kunt (2007), Konya ilini ele alınarak YSA modelleri ile bazı meteorolojik parametreler kullanılarak hava kirliliği üzerine tahminleme çalışması yapmıştır [33].

Yapılan literatür araştırması sonrasında YSA ve regresyon analizi ile tahminleme üzerine pek çok farklı alan ve sektörde, farklı metot ve programlarla birlikte

yapılan çalışma olduğu görülmüştür. Bunlara elektrik enerjisi ihtiyacı, yemek talebi, farklı sektörlerde satış tahminleri, bölgesel olarak buharlaşma miktarı, tarımda pamuk fiyatları ve öğrencilerin başarı ölçüleri tahminleri gibi örnekler verilebilir. Hava kirliliği özelinde yapılan çalışmalara bakıldığında ise yatırım analistlerinin hava kirliliği ile müteakip kazanç tahminleri, lokal olarak bir ilde bulunan kavşak için taşıt sayısı ve taşıtların emisyon miktarları ile hava kirliliği seviyelerinin belirlenmesi, sosyal ağlarda yapılan paylaşımların hava kirliliği ile ilişkilendirilmesi, hava kirliliğinin sebep olabileceği hastalığa sahip hasta sayısı ile hava kirliliğinin ilişkilendirilmesi, tek parametre, meteorolojik veya topoğrafik parametreler ile hava kirliliğinin ölçülmesi ve tahminleme yapılması gibi birden fazla çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise hava kirliliğini arttıran veya azaltan beşeri parametreler ile hava kirliliğinin ilişkilendirilmesi ve tahmini yapılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Çalışmanın bu kısmında YSA ve regresyon analizi konuları kısaca açıklanmıştır.

2.1. Yapay Sinir Ağları

YSA, sinir hücrelerinden esinlenerek nöron yapısı dikkate alınarak modellenen ve zamanla kendi kendine öğrenme yeteneği olan bir metottur. YSA insan beyni gibi davranış farklılaştırma yöntemiyle yeni bilgiler üretebilme ve keşfedebilme gibi kabiliyetleri, yardım almadan kendiliğinden gelişen ve değişen makine öğrenmesi yöntemidir [34]. YSA'nın işleyişini esas teşkil eden en küçük yapılar yapay sinir hücresi veya işlem elemanı olarak adlandırılır. Şekil 1'de yapay sinir hücresinin yapısı gösterilmiştir. En basit yapay sinir hücresi şekil 2' de görüldüğü üzere YSA modelini giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı oluşturmaktadır. Gizli katman sayısı ve nöron sayıları yapılan çalışmalarda denemeler sonucu bulunabilir. Giriş katmanından herhangi işlem yapılmadan geçen veriler gizli katman ve çıkış katmanında bağlantıların ağırlık değerleri oranında çarpılarak gele veriler toplanır ve transfer fonksiyonuna aktarılır [35]. Çok katmanlı YSA sınıflandırma problemlerini çözmek için kullanılır. Sadece doğrusal problemlerin çözümünde tek nöron yeterli olabilir.

Şekil 2 incelendiğinde bir YSA modelinde katmanların dışında; girdiler, ağırlıklar, net fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemanın varlığı göze çarpmaktadır. Ağın girdi ve çıktı tabakasında probleme ait veriler bulunmaktadır. Girdi ve çıktı

tabakalarındaki hücre sayıları problemde tanımlanan bilgilere bağlı değişkenlik göstermektedir. Girdi tabakasındaki bilgilerin sistem içindeki etkinlikleri ve önemi ise ağırlıklarla sağlanmaktadır. Bilgi, bu ağırlıklarda saklanmakta olup; ağırlık zekâsı ve öğrenme performansı ağırlık değerlerinin doğru belirlenmesine bağlı olmaktadır. Ağırlıklı girdilerin toplamı olarak bulunan net fonksiyonu ile ise girdilerin bu hücre üzerindeki etkileri ifade edilmektedir.

2.2. Regresyon Analizi

Regresyon, istatistikte iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkinin modellenmesinde kullanılan bir tekniktir. Regresyon analizinde bağımlı değişken (açıklanan değişken, cevap değişkeni) Y ile, bağımsız değişkenler (açıklayıcı değişkenler) ise X_j ($j=1, \dots, m$) ile gösterilir. Burada amaç, bağımlı değişken ile bir ya da birden çok bağımsız değişken arasında kurulan modeldeki parametreleri tahmin ederek, bağımsız değişkenlerin bilinen değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmektir. Yani bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki yapısını belirlemektir.

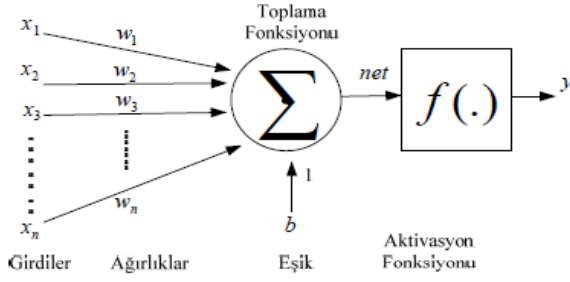
Y bağımlı değişkenini etkileyen m tane bağımsız değişken X_1, X_2, \dots, X_m olmak üzere çoklu regresyon modeli,

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Burada β_0 ve β_j ($j=1, \dots, m$) parametreleri, X_i ($i \neq j$) bağımsız değişkenleri sabit tutulduğunda X_j 'deki bir birimlik değişim Y bağımlı değişkeni için beklenen değişim miktarını veren regresyon katsayıları ve ε hata terimidir. Model tahmininde amaç ε hata terimini minimum yapacak şekilde β_0 ve β_j katsayılarını tahmin etmektir.

Regresyon modelleri, tek tabakalı bir sinir ağı yapısına benzetilebilir. Bağımsız değişkenler sinir ağlarındaki girdilere, bağımlı değişken çıktılarına, β_j katsayıları da sinir ağlarındaki ağırlıklara dönüştürülebilir.

Katsayıları bulmak için, deney ve gözlemler yapılarak veri setinin oluşturulması gerekir. Bu, sinir ağlarında danışmanlı öğrenme süreci üzerindeki eğitim setine benzemektedir. Regresyon analizinde β_0 ve β_j katsayılarının bulunması amaçlanmıştır. YSA yaklaşımı, bir regresyon problemi gibi ele alındığında, burada da amaç, ağırlık katsayılarının bulunması olacaktır. YSA üzerindeki ağırlıkların bulunmasında geri yayılım algoritması kullanılabilir [31].

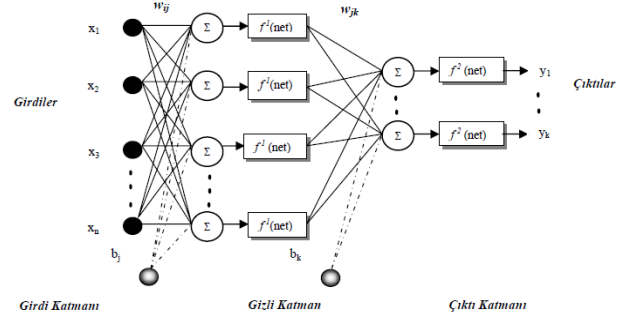


Şekil 1. Yapay sinir hücresi

3. Uygulama

Çalışma, hava kirliliğini ölçmek üzere 2012-2019 yılları arasındaki zaman diliminde Türkiye’de bulunan 31 il için yapılmıştır. Seçilen 31 il kullanılacak veriler açısından eksiksiz olduğu için seçilmiştir. İlk olarak hava kirliliği tespitinde kullanılacak olan PM10 değerleri TÜİK’den elde edilerek bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Daha önceki çalışmalarda, hızlı nüfus artışının ve plansız kentleşmenin, yakıt tüketiminin, sanayi (endüstri) tesislerinin ve motorlu araçların hava kirliliğine yol açtığı tespit edilmiştir [36]. Ve bu görüş referans alınarak bağımlı değişken üzerinde etkisi olabileceği düşünülen “Nüfus sayısı”, “Taşıt sayısı”, “Orman ve Yarı Doğal Alan Miktarı”, “Sanayi Sitesinde Bulunan İşyeri Sayısı” ve “Termik Santral Katsayısı” bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Nüfus sayısı, Taşıt sayısı, Orman ve Yarı Doğal Alan Miktarı değerlerinin verileri TÜİK’ten elde edilerek eksik yıllar ve değerler için Excel’in zaman serileri ile tahminleme özelliği kullanılarak oluşturulmuştur. Sanayi Sitesinde Bulunan İşyeri Sayısı değişkeni için eksik yılların tahmini Türkiye’nin büyüme oranları göz önüne alınıp hesaplandı. Termik Santral Katsayısı değişkeni için ise Türkiye’deki 27 termik santralin kurulu güçleri bulunup, bu santrallerin işlem yapılan ile olan uzaklığı ayrı ayrı tespit edilmiştir. Termik santrallerin kurulu güçleri tespit edilen uzaklıklara bölünmüş, bu değerler toplanarak işlem yapılan il için katsayı belirlenmiştir. Yıl bazlı değişen kurulu güçler göz önünde bulundurularak bu hesaplama 5 yıl ve 31 il için tekrarlanmıştır. Burada santral kurulu gücünün hava kirliliğini arttırdığı, ile olan mesafesinin ise azaltıcı etkide olduğu düşünülerek bu formül oluşturulmuştur [37]. Bağımsız değişkenler sırayla X_1 , X_2 , X_3 , X_4 ve X_5 olarak tanımlanmıştır. Ve bu veriler Excel’de Tablo 3’teki gibi düzenlenerek bir tablo haline getirilmiştir. Excel’de oluşturulan tabloda toplamda 186 satırlık veri olduğu için tablonun 2017 yılı verilerinin olduğu kısmı çalışmaya konulmuştur.

Regresyon ve YSA yöntemlerini karşılaştırmak için oluşturulan genel tablodan yararlanarak 2012-2018 yılları



Şekil 2. Çok tabakalı sinir ağı yapısı

arasındaki veriler seçilerek Excel’de bulunan “Veri analizi” komutu ile bulunan regresyon analizi seçeneği işaretlenerek regresyon katsayıları bulunmuştur. Bu işlem 4 değişken ve 5 değişken için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu katsayıların değerleri Tablo 1 ve Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 1. 2018 yılı 4 değişken için yapılan regresyon analizi

	<i>Coefficients</i>	<i>Significance F</i>
Intercept	62,847838	0,0000005
X Variable 1	0,000027	
X Variable 2	0,0000002	
X Variable 3	-0,000017	
X Variable 4	0,001163	

Tablo 1’deki katsayılar kullanılarak 4 değişken için regresyon denklemi Eş. (2)’deki gibi oluşturulmuştur.

$$Y = 62,848 + X_1 * 0,0000274 + (X_2 * 0,000000249) + (X_3 * -0,000017) + (X_4 * 0,00116) \quad (2)$$

Eş. (2)’deki denklemde X_1 , X_2 ve X_4 bağımsız değişkenleri hava kirliliğini arttırıcı yönde X_3 bağımsız değişkeni azaltıcı yöndedir. Sigma değerinden de regresyon katsayılarımızın (0,05’in altında) anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 2. 2018 yılı 5 değişken için yapılan regresyon analizi

	<i>Coefficients</i>	<i>Significance F</i>
Intercept	52,759682	0,0000001
X Variable 1	0,000013	
X Variable 2	0,000003	
X Variable 3	-0,000015	
X Variable 4	0,001055	
X Variable 5	0,286256	

Tablo 2’deki katsayılar kullanılarak 5 değişken için regresyon denklemi Eş. (3)’teki gibi oluşturulmuştur.

$$Y = 52,759 + (X_1 * 0,0000129) + (X_2 * 0,00000294) + (X_3 * -0,0000145) + (X_4 * 0,00106) + (X_5 * 0,286) \quad (3)$$

Eş. (3)'teki denklemde de X_1 , X_2 , X_4 ve X_5 bağımsız değişkenleri hava kirliliğini arttırıcı yönde X_3 bağımsız değişkeni azaltıcı yöndedir. Sigma değerinden de

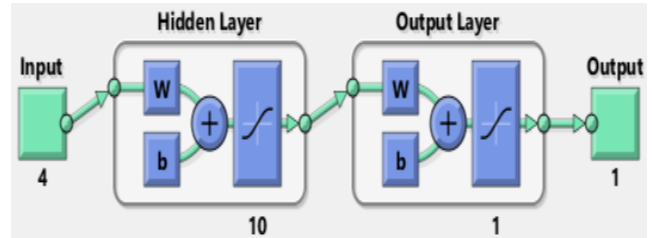
regresyon katsayılarımızın (0,05'in altında) anlamlı olduğu görülmüştür.

Bu denklemler kullanılarak 2018 yılı için regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan regresyon modeli ile 2018 yılı PM10 için tahminleme yapılmıştır.

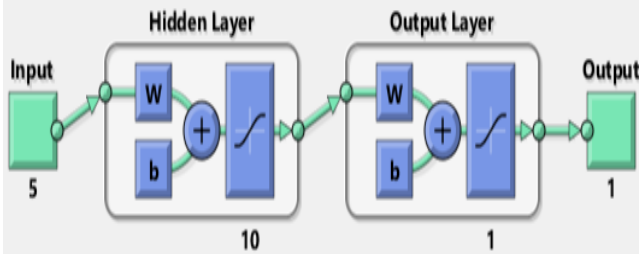
Tablo 3. Bağımsız ve bağımlı verilerin genel tablosunun excelde 2017 yılı için gösterilmesi

İller	Yıllar	Hava Kirliliği Değeri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1 saatlik)	Taşıt Sayısı (X_1)	Nüfus Sayısı (X_2)	Orman ve Yarı Doğal Alan Miktarı (X_3)	Sanayi Sitesinde Bulunan İşyeri Sayısı (X_4)	Termik Santral Katsayısı (X_5)
Adana	2017	62,00	614643	2216475	640031,20	1910	50,126
Adıyaman	2017	51,00	96191	615076	304913,92	912	33,203
Afyon	2017	82,00	208820	715693	637034,67	2536	42,573
Ağrı	2017	59,00	32524	536285	604552,71	612	16,288
Antalya	2017	51,00	980028	2364396	1457995,58	2169	29,286
Artvin	2017	24,00	35666	166143	642534,51	316	16,406
Aydın	2017	45,00	414296	1080839	378829,43	1476	45,871
Batman	2017	63,00	43425	585252	236389,70	400	21,205
Çanakkale	2017	26,00	211823	530417	525559,49	825	59,985
Çorum	2017	61,00	163806	528422	569668,55	1511	31,492
Denizli	2017	75,00	377025	1018735	656343,78	727	39,113
Diyarbakır	2017	49,00	120249	1699901	545898,22	1519	24,024
Elazığ	2017	61,00	112478	583671	570371,72	1251	29,747
Erzurum	2017	45,00	112904	760476	1696123,77	1154	19,219
Gaziantep	2017	54,00	471360	2005515	216584,69	4211	38,142
Hatay	2017	73,00	455684	1575226	231856,01	1829	50,564
Kahramanmaraş	2017	60,00	211806	1127623	897226,69	2168	46,127
Kayseri	2017	79,00	347919	1376722	742305,54	1610	40,257
Kocaeli	2017	55,00	361414	1883270	144707,43	960	55,141
Kütahya	2017	65,00	201824	572256	628586,66	817	68,558
Malatya	2017	53,00	156713	786676	757246,55	1246	40,488
Manisa	2017	77,00	554152	1413041	581739,18	2687	54,844
Mardin	2017	63,00	73545	809719	398722,99	544	22,253
Mersin	2017	72,00	568484	1793931	1051455,29	1814	36,522
Muğla	2017	67,00	457494	938751	929559,63	587	58,120
Sakarya	2017	63,00	265452	990214	195770,03	752	53,278
Sivas	2017	53,00	150197	621301	1677747,94	1348	36,660
Şanlıurfa	2017	73,00	252616	1985753	483765,92	1379	29,818
Tokat	2017	45,00	165091	602086	570530,36	1348	31,327
Trabzon	2017	62,00	174422	786326	268444,71	850	19,616
Van	2017	41,00	77930	1106891	1256636,93	1141	15,978

YSA ile 2018 yılı için tahminlemede Matlab2020a'da bağımsız değişkenler input (girdi) olarak, bağımlı değişken ise output (çıkıtı) olarak tanımlanmıştır. 2012-2018 yılları arasındaki veriler eğitim verisi, elimizde bulunan 2018 yılındaki gerçek verilerin bağımsız değişken değerleri test verisi olarak seçilip, Nntools modülü kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Bu işlem 4 ve 5 bağımsız değişken için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te 2018 yılı 4 değişken için Şekil 4'te de 2018 yılı 5 değişken için ağ modelinin yapısı gösterilmektedir.

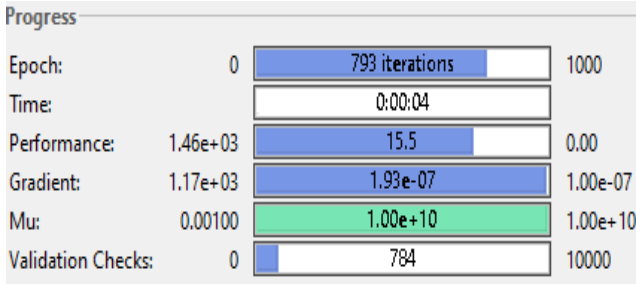


Şekil 3. 2018 yılı 4 değişken için oluşturulan YSA yapısı

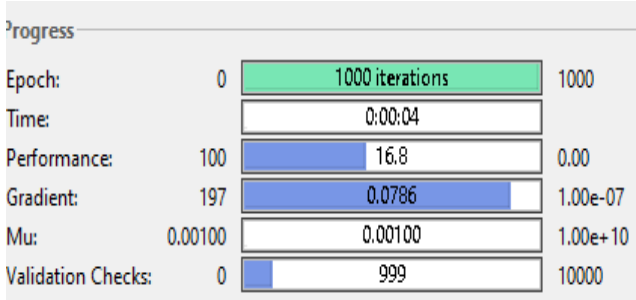


Şekil 4. 2018 yılı 5 değişken için oluşturulan YSA yapısı

Model oluşturulduktan sonra iterasyon sayısı güvenilirliğin artması için diğer çalışmalar dikkate alınarak ortalama bir iterasyon sayısı olan 10000 yapılarak değişken sayısı 4 ve 5 için sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi eğitilir.



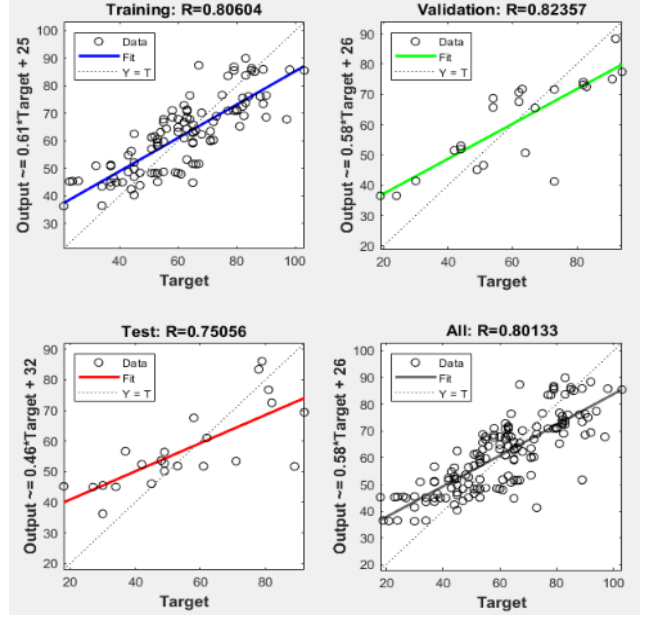
Şekil 5. Verilerin eğitilmesi (4 değişken)



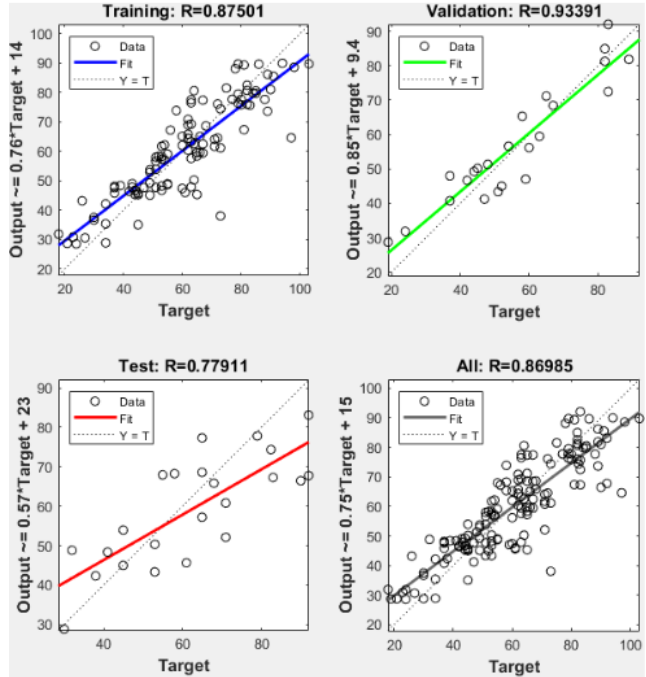
Şekil 6. Verilerin eğitilmesi (5 değişken)

Bu işlem bitince regresyon analizi yapılır. Şekil 7 ve Şekil 8'de bulunan regresyon analizleri sonuç grafiklerinde sırasıyla Training 0,806 ve 0,875 değerleriyle görüyoruz ki eğitimler yaklaşık %80 ve %87 oranında başarıyla tamamlanmıştır. All R değerleri için baktığımızda; data olarak gösterilen noktalar bizim bağımlı değişken verilerimizi ifade etmektedir. X eksenindeki Target değerlerin (bağımlı değişken değerleri) 60-100 aralığında tahminlenen değerlerden sapmasının daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca $Y=T$ çizgisi tahminlenen değerleri gösterdiği için YSA'da tahminleme işleminin yüksek oranda doğruya yakın sonuçlar verdiğini görüyoruz. Eğer eğitim sayısı arttırılırsa YSA'nın öğrenmesinin arttığı ve

gerçeğe yakın sonuçlar verdiği de görülmüştür.



Şekil 7. 2018 yılı 4 değişken için YSA'da regresyon analizi



Şekil 8. 2018 yılı 5 değişken için YSA'da regresyon analizi

Daha sonra test verileri simule edilerek ağın daha önce görmediği 2018 yılı için 4 ve 5 değişken için tahmini 2018 değerleri bulunmuştur. Regresyon analizi ve YSA için, 2018 yılı 4 ve 5 değişken için tahmini değerler ve gerçek veriler Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. 31 il için regresyon analizi ve YSA 2018 yılı tahmini değerleri

İller	Yıllar	Hava Kirliliği Değeri($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1 saatlik)	YSA ile Tahmin-4 Değişken	YSA ile Tahmin-5 Değişken	Regresyon ile Tahmin-4 Değişken	Regresyon ile Tahmin-5 Değişken
Adana	2018	61,00	61,41	60,72	72,19	74,63
Adıyaman	2018	46,00	53,43	55,78	61,51	61,88
Afyon	2018	74,00	84,76	77,69	60,88	63,28
Ağrı	2018	56,00	59,17	48,85	54,24	51,29
Antalya	2018	47,00	54,20	64,04	69,22	62,68
Artvin	2018	24,00	32,42	29,18	53,37	49,52
Aydın	2018	38,00	41,88	48,70	70,26	70,93
Batman	2018	45,00	71,55	70,64	60,65	58,19
Çanakkale	2018	37,55	33,17	50,77	61,07	69,17
Çorum	2018	53,00	45,35	40,81	59,53	58,81
Denizli	2018	74,00	84,15	82,80	63,63	63,52
Diyarbakır	2018	40,00	66,63	45,20	59,00	59,93
Elazığ	2018	60,00	44,12	43,42	57,90	57,56
Erzurum	2018	41,00	42,98	50,76	38,70	38,63
Gaziantep	2018	42,00	60,25	51,78	77,84	77,14
Hatay	2018	26,00	51,35	71,19	74,30	76,58
Kahramanmaraş	2018	125,00	64,11	56,44	56,44	61,44
Kayseri	2018	69,00	88,14	88,27	62,25	63,90
Kocaeli	2018	54,81	53,30	56,69	72,38	78,20
Kütahya	2018	80,00	67,18	76,66	58,81	68,59
Malatya	2018	60,00	63,48	47,19	56,08	59,13
Manisa	2018	94,00	78,16	80,39	72,02	74,64
Mardin	2018	56,00	75,12	78,48	58,96	57,37
Mersin	2018	84,00	60,00	67,76	63,68	62,81
Muğla	2018	73,00	61,34	79,79	61,14	65,75
Sakarya	2018	59,31	56,68	58,69	68,31	72,76
Sivas	2018	56,00	42,84	46,42	40,17	44,16
Şanlıurfa	2018	60,00	56,59	31,60	63,66	65,00
Tokat	2018	36,00	48,22	42,20	59,43	58,82
Trabzon	2018	42,00	53,18	62,70	64,55	60,19
Van	2018	43,00	49,21	53,96	45,25	44,66

Model ölçüm kriterleri, (MAD, MAPE, MSE, RMSE) tahminlenen değer ile gözlem değeri arasındaki farkı hesaplamak için kullanılmaktadır. Tahminlenen modelin ne kadar başarılı olduğunu test edebilmek için genellikle bu kriterler temel alınmaktadır [38].

Tablo 4'teki değerlerin 4 ve 5 değişken, 31 il için tümü kullanılarak MAD değerleri Eş. (4)'te, MAPE değerleri Eş. (5)'te, MSE Eş. (6)'te ve RMSE Eş. (7)'teki gibi hesaplanıp Tablo 5'teki hata oranları elde edilmiştir.

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n}, (y_i \neq 0) \quad (4)$$

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}}{n} \times 100, (y_i \neq 0) \quad (5)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (6)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{MSE}} \quad (7)$$

Burada, n gözlem sayısı, y_i gözlem değeri, \hat{y}_i tahminlenen değeri göstermektedir [39].

Tablo 5. Değişken sayısı ve yöntemsel olarak hata oranları

	YSA ile Tahmin-4 Değişken	YSA ile Tahmin-5 Değişken	Regresyon ile Tahmin-4 Değişken	Regresyon ile Tahmin-5 Değişken
MAPE	23,886	27,953	37,138	36,135
MAD	12,754	14,246	17,447	16,680
MSE	297,784	384,584	511,167	480,603
RMSE	17,256	19,611	22,609	21,923

Tablo 5'teki değerlere bakıldığında değişken sayısı farketmeksizin YSA değerlerinin daha düşük olduğu görülüyor. MAPE değeri düşük olan YSA yönteminin 4 değişkenli olan modeli daha iyi uyum sağlayan model olarak seçilmiştir. Daha sonra 2019 PM10 değerleri, bu kez 2012-2019 yılları arasındaki veriler kullanılarak YSA ile 2019 yılı tahmin değerleri Tablo 6'daki gibi bulunmuştur.

Tablo 6. 31 il için 5 değişken için YSA ile bulunan 2019 tahmin değerleri

İller	Tahmini 2019 PM10 Değerleri
Adana	52,06
Adıyaman	61,06
Afyon	70,90
Ağrı	40,65
Antalya	62,51
Artvin	36,21
Aydın	68,78
Batman	60,73
Çanakkale	56,20
Çorum	54,15
Denizli	73,52
Diyarbakır	61,59
Elazığ	51,38
Erzurum	38,39
Gaziantep	59,93
Hatay	63,20
Kahramanmaraş	74,56
Kayseri	90,20
Kocaeli	62,33
Kütahya	51,48
Malatya	61,69
Manisa	88,18
Mardin	56,37
Mersin	65,37
Muğla	77,15
Sakarya	62,77
Sivas	42,35
Şanlıurfa	56,19
Tokat	55,45
Trabzon	63,94
Van	44,99

4. Sonuçlar

Hava kirliliğinin insan hayatı üzerine olumsuz etkileri yadsınmaz bir gerçektir. İnsanların hayat kalitesini etkileyen bu durum için DSÖ tarafından PM10 değerlerinin ölçüldüğünde, hava kirliliği üzerine bir yorum getirilebilecek bir parametre olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'de seçilen 31 ilin hava kirliliği ölçümünde kullanılan PM10 değerleri üzerine regresyon ve YSA modeli uygulanmıştır. YSA'nın birçok modeli arasından, çokça kullanılan ve ortaya başarılı sonuçlar çıkaran bir model olması sebebiyle de ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapılan hazırlık aşamasına göre, PM10 değeri, daha önceki çalışmalar referans alınarak ve üzerinde etkili olduğu düşünülen "Nüfus sayısı", "Taşıt sayısı", "Orman ve Yarı Doğal Alan Miktarı", "Sanayi Sitesinde Bulunan İşyeri Sayısı" ve "Termik Santral Katsayısı" değişkenler kümesi olarak 2 model için kullanılmıştır. Regresyon modeli ve YSA modellerinin sonuçları karşılaştırılmış ayrıca değişken sayısının değişmesinin nasıl bir farklılık ortaya çıkardığı araştırılmıştır.

En iyi uyumu veren modelin belirlenmesinde MAPE değerleri dikkate alınmıştır. Buna göre düşük MAPE değerine sahip model iyi model olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada elde edilen performans değerlerine göre YSA modelinin regresyon analizinden daha etkin bir performans gösterdiği görülmektedir. Değişken sayısının artması regresyon analizinde modelin daha iyi olmasını sağlarken YSA'da modelin doğruluğunu düşürmüştür. Bu sonuç ile, YSA'nın regresyon analizine göre yüksek bir öngörü sağladığını ve daha az hataya sahip sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sebeple 2019 yılı için PM10 değerlerinin tahmini YSA'nın 4 değişkenli modeli ile yapılarak öngörüleceği bulunulup PM10 değerlerinin azaltılması üzerine çalışmaların yapılmasının gerekliliği ortaya konmuştur.

Çalışmada kurulan modelin yetersizlikleri, değişkenlerdeki eksik verilerin gerçek değerleri bulunup tamamlanarak, bağımsız değişkenlerin sayısı artırılarak, daha geniş zaman diliminde yapılarak geliştirilebilir. Bundan sonraki çalışmalarda, farklı sektör ve çalışma gruplarından toplanan; zaman, bağımlı değişken, bağımsız değişken vb. açıdan geniş ölçekli veriler ile tahmin araştırmalarında kullanılan diğer metotlarla YSA metodu karşılaştırmalı uygulamasının, regresyon analizinin etkinliğinin belirlenmesinde literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Air Quality Guidelines For Europe. World Health Organization Regular Office for Europe Copenhagen. Second Edition: WHO Regional Publications, European Series. No:1. <http://www.euro.who.int/document/e87950.pdf>
- [2] World Health Organization, 1972. Health Hazards of the Human Environment.
- [3] World Health Organization, 1987. Air Quality Guidelines For Europe.
- [4] Holman C., 1989. Air pollution and health. Friends Of The Earth, London.
- [5] Bayram, H., 2005. Türkiye’de Hava Kirliliği Sorunu: Nedenleri, Alınan Önlemler ve Mevcut Durum. Toraks Dergisi, 6, 159-165.
- [6] Başar P., Okyay P., Ergin F., Coşan S., Yıldız A., 2005. Aydın ili kent merkezinde hava kirliliği/1997-2004.
- [7] Elbir T., Müezzinoğlu A., Bayram A., 2000. Evaluation of some air pollution indicators in Turkey. Environment International 26, 5-10.
- [8] Sezer M. S., 2019. Yapay sinir ağları ve farklı tahmin yöntemleri ile uzun dönem yük tahmini: Zonguldak örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye, 563912.
- [9] Calp, M. H., 2019. İşletmeler için personel yemek talep miktarının yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi. Politeknik dergisi, 22, 675-686.
- [10] Sönmez O., Zengin K., 2019. Yiyecek ve İçecek İşletmelerinde Talep Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı, 302-308.
- [11] Dong R., Fisman R., Wang Y., ve Xu N., 2019. Air pollution, affect, and forecasting bias: Evidence from Chinese financial analysts. Journal of Financial Economics, 134, 501-760.
- [12] Mutlu A., 2019. Balıkesir şehir merkezinde trafik kaynaklı hava kirliliği seviyelerinin analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 152-168.
- [13] Pimpin L., Retat L., Fecht D., de Preux L., Sassi F., Gulliver J., ve Webber L., 2018. Estimating the costs of air pollution to the National Health Service and social care: An assessment and forecast up to 2035. PLoS medicine, 15.
- [14] Qiu P., Tang X., Lu M., Huang Y. ve Zhou J., 2018. Forecast of changing air pollution trends in Wuhan city. Nanjing Xinx Gongcheng Daxue Xuebao, 10, 571-578.
- [15] Yücesan M., 2018. YSA, ARIMA ve ARIMAX Yöntemleriyle Satış Tahmini: Beyaz Eşya Sektöründe bir Uygulama. İşletme Araştırmaları Dergisi 10, 689-706.
- [16] Şahin E. E., 2018. Kripto Para Bitcoin: ARIMA ve Yapay Sinir Ağları İle Fiyat Tahmini. Fiscoeconomia 2, 74-92.
- [17] Aydoğan İ., Zirhlioğlu G., 2018. Öğrenci Başarılarının Yapay Sinir Ağları ile Kestirilmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 15, 577-610.
- [18] Özden S., Öztürk A., 2018. Yapay sinir ağları ve zaman serileri yöntemi ile bir endüstri alanının (ivedik OSB) elektrik enerjisi ihtiyaç tahmini. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11, 255-261.
- [19] Can Ş., Gerşil M., 2018. Manisa Pamuk Fiyatlarının Zaman Serisi Analizi ve Yapay Sinir Ağı Teknikleri İle Tahminlenmesi ve Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması. Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25, 1017-1031.
- [20] Taşar B., Üneş F., Demirci M., Kaya Y. Z., 2018. Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. DÜMF Mühendislik Dergisi, 9, 543-551.
- [21] Feng F., Chi X., Wang Z., Li J., Jiang J. ve Yang W., 2017. A nonnegativity preserved efficient chemical solver applied to the air pollution forecast. Applied Mathematics and Computation, 314, 44-57.
- [22] Sammarco M., Tse R., Pau G. ve Marfia G., 2017. Using geosocial search for urban air pollution monitoring. Pervasive and Mobile Computing, 35, 15-31.
- [23] Miguel J. P. M., de Blas C. S. ve Sipols A. E. G., 2017. A forecast air pollution model applied to a hypothetical urban road pricing scheme: An empirical study in Madrid. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 55, 21-38.
- [24] Ekinci M. E., 2017. Destek vektör regresyon ile hava kirliliği tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 463905.
- [25] Özşahin E., Eroğlu İ., Pektez H., 2016. Keşan’da (Edirne) hava kirliliği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 36, 83-100.

- [26] Turgut D. ve Temiz İ., 2015. Ankara'daki Hava Kirliliği İçin Zaman Serileri Analizi ve Tahmin: Box-Jenkins Yaklaşımı. *Alphanumeric Journal*, 3, 131-138.
- [27] Kunt F., 2014. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak Konya il merkezi hava kirliliği modellenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 380834 .
- [28] Kaplan Y., Saray U. ve Azkeskin E., 2014. Hava Kirliliğine Neden Olan PM10 ve SO 2 Maddesinin Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Tahmininin Yapılması ve Hata Oranının Hesaplanması. *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 14, 1-6.
- [29] Budak H., Erpolat S., 2012. Kredi Riski Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi Karşılaştırılması. *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3, 23-30.
- [30] Okkan U., Mollamahmutoğlu A., 2010. Yiğitler Çayı Günlük Akımlarının Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analizi İle Modellenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 33-48.
- [31] Tolon M., Tosunoğlu N. G., 2008. Tüketici tatmini verilerinin analizi: yapay sinir ağları ve regresyon analizi karşılaştırması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10, 247-259.
- [32] Doğan F., Kitapçioğlu G., 2007. İzmir ilinde hava kirliliğinin yıllar itibariyle karşılaştırılması. *Ege Tıp Dergisi*, 46, 129-133.
- [33] Kunt F., 2007. Hava kirliliğinin yapay sinir ağları yöntemiyle modellenmesi ve tahmini, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 212442.
- [34] Chehreh C. S., James C. H., Jorjani E., Mesroghli S., Bagherieh A. H., 2008. Prediction of coal grindability based on petrography, proximate and ultimate analysis using multiple regression and artificial neural network models. *Fuel Processing Technology*, 89,13-20.
- [35] Yongjae K., Sehun R., 2005. Arc sensor model using multiple-regression analysis and a neural network. *ProQ. Sci. J.*, 219, 431-447.
- [36] Özdemir M. A. ve Boyraz Z., 2002. Elazığ Şehir Merkezinde Hava Kirliliğini Doğuran Nedenler ve Kirlilik Parametrelerinin Zaman İçindeki Değişimine Coğrafi Yaklaşım. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 7, 163-182.
- [37] http://sertifika.tema.org.tr/_Ki/CevreKutuphanesi/documents/Termik_Santrallerin_Hava_Kirliligi_Modellemesi.pdf (Erişim Tarihi: 22 Nisan 2020)
- [38] Wheelwright S., Makridakis S. ve Hyndman R. J., 1998. *Forecasting: methods and applications*. John Wiley & Sons, USA.
- [39] Bolzan A. C., Machado R. A. F. ve Piaia J. C. Z., 2008. Egg hatchability prediction by multiple linear regression and artificial neural networks. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 10, 97-102.
- [40] <https://cevreselegostergeler.csb.gov.tr/illerin-cevre-gostergeleri-i-85803> (Erişim Tarihi: 22 Nisan 2020)
- [41] <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?> (Erişim Tarihi: 22 Nisan 2020)



Türkiye’de Turizm Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Ölçülmesi

Measuring Tourism Activity In Turkey With Data Enveloping Analysis

Leyla ŞİMŞEK^{1*} , Burcu ÖZCAN² 

¹ Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9348-3894

² Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0820-4238

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 27/01/2020

Kabul Tarihi : 29/04/2020

Anahtar Kelimeler

CCR Yöntemi
İstatistiksel Analiz
Turizm
VZA

Özet

Turizm Türkiye’de, ekonominin olumlu yönüne paralel olarak gelişmektedir. Son senelerde ülkemize gelen turist sayısının artması, turizm gelirinin ekonomiye olan katkısının da artmasını sağlamıştır. Ülkeler gelişmişlik seviyelerini artırabilmek için turizm sektörünü önemsemelidirler. Birbirine benzeyen karar birimlerinin göreceli etkinliğinin ölçülmesi amacıyla tasarlanmıştır. Veri Zarflama Analizi (VZA) bankalar, hastaneler, mağazalar, mahkemeler ve okullar vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye’nin son dokuz yılındaki turizminin göreceli etkinlikleri analiz edilmiştir. Literatürde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelen VZA tercih edilmiş olup, veri kaynağı olarak Türkiye İstatistik Kurumu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Kültür ve Turizm Bakanlığı’ndan yararlanılmıştır. VZA tercih edilmesindeki amaç en az girdiyle maksimum çıktıyı üreten girdi-çıkıtı bileşimini bulmaktır. Çalışmada kriter olarak yıllık ziyaretçi sayısı, yıllık turizm geliri, kişi başı gsyih, müze sayısı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık turizm gideri, işsizlik sayısı, yıllık yurtdışına giden ziyaretçi sayısı belirlenmiştir. Ölçeğe Göre Sabit Getiri (CCR) yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. 9 yıl içinden 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 ve 2018 yılları etkin olarak bulunmuştur.

Research Paper

Received Date : 27/01/2020

Accepted Date : 29/04/2020

Keywords

CCR Method
Istatistical Analysis
Tourism
VZA

Abstract

Tourism is developing in Turkey in parallel with the positive direction of the economy. Increasing in the number of tourists coming to our country in recent years has led to increased tourism revenue contribution to the economy. Countries should care about the tourism sector in order to increase their level of development. Designed to measure the relative effectiveness of similar decision units. Data Enveloping Analysis (VZA) is used in many areas such as banks, hospitals, shops, courts and schools etc. Within the scope of this study, the relative activities of Turkey’s tourism in last nine years were analyzed. VZA, which is one of the most widely used methods in the literature, was preferred and the Turkish Statistical Institute as a data source, The General Directorate of Meteorology, the Ministry of Culture and Tourism has been used. The purpose of choosing VZA is to find the input output combination that produces maximum output with minimal input. In the study, annual number of visitors, annual tourism income, gdp per capita, museum number, annual average temperature, annual tourism expenditure, number of unemployment, number of visitors going abroad annually were determined. Evaluated by Fixed return by scale (CCR) method made. Over 9 years 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 and 2018 were active.

1. Giriş

Turizm; insanların dinlenmek, eğlenmek, gezip görmek, kültürel, sanatsal ve sportif etkinliğe katılmak için tercih ettikleri gezilere ve bununla birlikte ortaya çıkan

ilişkilere denir. Turizm, ülkeye hareketlilik ve gelir getirir. Ülke içinde insanlar tarafından gerçekleştirilen turizm faaliyetlerine iç turizm, bir ülkeden başka ülkelere gerçekleştirilen turizm faaliyetlerine de dış turizm denir.

Türkiye’nin turizmini etkileyen etmenler içinde; İklim, yerşekilleri, su kaynakları, bitki ve hayvan türleri, kültürel değerler, tarihi eserler ve ulaşım sayılabilir.

¹ Sorumlu Yazar (Corresponding Author): a.leylasimsek@gmail.com



Turizmin gelişmesiyle birlikte ülkeye giren döviz miktarı, istihdam oranı ve milli gelirdeki artış aynı zamanda alt yapı imkanlarının gelişmesi, bankacılık, ticaret, ulaşım, gıda, hediyelik eşya gibi bir çok sektöründe

ciddi manada gelişmiş olması yadsınamaz bir gerçektir.

Çalışmada kullanılan veri zarflama analizi (VZA) yöntemi ile alakalı literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. VZA Alanında Yapılmış Bazı Çalışmalar

Yazar	Çalışma Konusu	Girdi Değişkenleri	Çıktı Değişkenleri
Amani Mohammed Atris 2020 [1]	Petrol rafinerisi performansının değerlendirilmesi üzerine VZA -diskriminant analizi uygulaması gerçekleştirmiştir.	Employees, total assets, total cash & st investment, total debt	Net income, total revenue, total enterprise value
Aybarç ve ark., 2019 [2]	Türkiye’de turizme yönelik kamu teşvik politikaları çerçevesinde illerin etkinlik analizi değerlendirmek istemiştir. Sonuca göre Akdeniz ve Ege bölgesindeki illerin Doğu bölgelerine göre turizm açısından daha etkin olduğu belirlenmiştir.	Tesis sayısı, oda sayısı, yatak sayısı, turizme yönelik teşvikli belge sayısı, istihdam	Toplam gelen turist sayısı ve toplam geceleme sayıları
Minucia E. ve ark., 2019 [3]	Bir okulun teknik verimliliğinin analizinde kullanılmıştır.	Müdür, müdür yardımcısı, öğretmen, danışman, müdür maaşı, müdür yardımcısı maaşı, öğretmen maaşı, danışman maaşı	11.sınıf matematik puanı, 11.sınıf İngilizce puanı, mezuniyet oranı
Yuan Zeng ve ark. 2019 [4]	VZA dayalı yenilenebilir enerji teknik planlarının kapsamlı değerlendirmesi üzerine çalışmıştır.	Resources consumption of DMUs	Represent certain effects that DMUs achieve
Reza Nadimi ve Koji Tokimatsu 2019 [5]	Enerji sisteminin VZA ile değerlendirilmesi: Paris Anlaşması için değerlendirme aracı isminde bir araştırma yapmışlardır.	Oil products, heat, electricity, CO2 emission	FEC, the energy related quality of life (QoL)
Mehmet Top ve ark. 2019 [6]	Afrika ülkelerindeki sağlık sistemlerinin teknik verimliliği VZA ile incelenmiştir.	Total health expenditures in the GDP, the number of physicians, nurses, and hospital beds per 1000 people, the unemployment rate, and the Gini coefficient.	Life expectancy at birth and 1/(infant mortality rate)
Göral ve Tengilimoğlu, 2018 [7]	Türk Dünyası Destinasyonlarının turizm sektörü etkinliğinin karşılaştırılması üzerine çalışma yapmıştır. Sonuçlara göre ülkelerin turizm sektörü etkinliği sırasıyla Türkiye, Azerbaycan, Moğolistan, Kırgızistan, Kazakistan, Tacikistan şeklindedir.	Kültürel kaynaklar, doğal kaynaklar, turizm hizmet altyapısı, iş gücü	Turist sayısı, turizm geliri
Doğan ve Ersoy, 2018 [8]	VZA ile Yozgat ilinde konaklama işletmelerinde etkinlik ölçümü üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda etkin olan ve etkin olmayan işletmeler belirlenmiştir.	Oda sayısı, toplam gider ve personel sayısı	Toplam müşteri sayısı, toplam gelir ve müşteri memnuniyeti
Sheng Liu ve ark. 2018 [9]	Çin’de Kentsel Karbon Emisyon Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Küresel VZA Dayalı bir çalışma yapmıştır.	Capital stock, labor force and energy consumption	Carbon dioxide emission calculated, the real GDP
Atalay Çağlar ve Nur Duygu Keten 2018 [10]	Bu çalışmanın amacı Türkiye’deki illerin 2013 yılındaki İnsani Gelişme Endeksi (İGE)’ni belirlemektir.	Tüm iller için değeri 1 olan yapay bir değişken	Doğuşta beklenen yaşam süresi, ortalama okullaşma yılı, beklenen okullaşma yılı ve kişi başına tahakkuk eden vergi değişkeni
Nazlı Ersoy, 2018 [11]	Türkiye’de faaliyet gösteren kamu ve özel sermayeli mevduat bankaları ile Türkiye’de kurulmuş olan yabancı sermayeli bankaların etkinliklerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.	Personel sayısı ve mevduat faiz gideri	Dönem net kârı ve faiz gelirleri
Aslı Ergenekon Arslan ve Ömer Zafer Güven 2018 [12]	Enformasyon ekonomisinin kaynağı olan üniversitelerin performansları veri zarflama analizi yardımıyla analiz edilmiştir. Çalışmada 100 devlet Üniversitesinin 2013 yılı verileri temel alınarak etkinlikleri değerlendirilmiştir.	Toplam öğrenci/öğretim üyesi, toplam öğrenci/yardımcı öğretim üyesi, araştırma alanı/öğretim üyesi, eğitim alanı/toplam öğrenci, sosyal alan/toplam öğrenci	Öğrenci sayısı, kuruluş yılından 2013’e kadar olan index yayın sayısı

Tablo 1. (Devam) VZA Alanında Yapılmış Bazı Çalışmalar

Yazar	Çalışma Konusu	Girdi Değişkenleri	Çıktı Değişkenleri
Karadayı ve ark., 2017 [13]	Beyoğlu Kamu Hastaneleri Birliği Kapsamındaki hastanelerin acil servis birimlerinin etkinliği kategorik VZA ile değerlendirilmiştir	Acil seviyesi, yatak sayısı	Hasta sayısı, sevk sayısı
Aneirson Francisco da Silva ve ark. 2017 [14]	Bir otomotiv şirketinde VZA üzerine çalışılmıştır.	Total hours, other downtimes, setup hours, WF, scrap	Volume
Öztürk, 2016 [15]	OECD Ülkeleri Sağlık Sistemleri Performansı ile alakalı çalışma yapmıştır. Elde edilen sonuca göre hangi sağlık sistemi modelinin diğerlerine göre daha iyi olduğu tartışılmıştır.	Kamu sağlık harcamaları, özel sağlık harcamaları, gayri safi yurtiçi hasıla ve doktor sayısı	Beklenen yaşam süresi ve bebek kurtulma oranı
Sarı, 2015 [16]	VZA ile bir uygulama yapmıştır. Çalışma sonunda etkin olmayan polikliniklerin etkin olabilmesi için azaltılması veya artırılması gereken kaynaklar ortaya çıkarılmıştır.	Öğretim üyesi, öğretim görevlisi sayısı, öğretim yardımcıları sayısı, hemşire sayısı, hasta bakıcı sayısı	Yatan günlük hasta sayısı, günlük ayakta muayene sayısı
Laura Asandului ve ark. 2014 [17]	Avrupa'da sağlık sistemlerinin etkinliğini VZA ile incelenmiştir.	Life expectancy at birth, health adjusted life expectancy and infant mortality rate	Number of doctors, number of beds and public health expenditure as percent of GDP
Jui-Kuei Chen, 2011 [18]	Üniversitenin etkinliğinin analizinde VZA'dan yararlanılmıştır.	The numbers of domestic students, foreign members, and domestic full-time faculty members	Numbers of graduates, Journals accepted and published, Quantity of financial support from the NSC, Research patents, numbers of cooperating foreign countries

Bu araştırma da Türkiye'nin turizmde son 9 yılının etkinliğinin ölçülmesi için VZA kullanılmıştır. Önceden yapılmış çalışmalar incelendiğinde daha çok eğitim ve sağlık gibi alanlarda VZA yer almaktadır. Bu çalışma ile Turizm sektörü bazında yapılmış yıl bazlı etkinliklere ulaşılmıştır. Böylece turizm alanındaki çalışmalara katkı sağlamak hedeflenmektedir. Bir birimlik girdi değişimi, çıktıda da bir birimlik değişime neden olduğundan CCR yöntemi tercih edilmiştir [20]. Uygulamada karar verme birimi olarak son 9 yıl belirlenmiştir. Çalışma için 5 tane girdi; 3 tane çıktı belirlenmiştir. Bu girdiler Müze sayısı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık turizm gideri (000\$), işsizlik sayısı, yıllık yurtdışına giden ziyaretçi sayısı şeklindedir. Çıktılar ise Yıllık ziyaretçi sayısı, yıllık turizm geliri (000\$) ve kişi başı GSYİH (\$) 'dır.

2. Veri Zarflama Analizi

Literatürde etkinlik analizi ismiyle de bilinen Veri Zarflama Analizi (VZA), benzer girdiler kullanarak benzer çıktıları ortaya çıkaran karar verme birimlerinin, kendi içlerinde etkinliklerini hesaplamak için geliştirilmiş bir yöntemdir [16].

Birçok sektörde VZA yöntemi uygulanmıştır. Bankalar, hastaneler, okullar, mağazalar, kamu kuruluşları, restoranlar başlıca alanlar olarak sayılabilir.

Yöntemin 4 adımı bulunmaktadır.

1. Adım. Karar noktalarının seçimi: Görelilikleri incelenecek organizasyonel birimlerin seçilmesidir [16]. Analize hatalı birimlerin dâhil edilmesi sonucun hatalı çıkmasına sebep olabilir. Karar verme birimi (KVB) sayısı hakkında 3 bakış açısı mevcuttur;

- Karar verme birimi sayısı, girdi ve çıktıların toplamının en az üç katı olabilir.
- Karar verme birimi sayısı, girdi ve çıktı sayılarının toplamının en az iki katı olabilir.
- Karar verme birimi sayısı, en az girdi ve çıktı sayılarının toplamının + 1 fazlası olabilir [16].

2. Adım. Girdi ve çıktı faktörlerinin seçimi:

Çalışmada önemli bir değişkenin dâhil edilmemesi, bu değişkeni kullanan KVB'nin etkinliğinin düşük çıkmasına sebep olabilir [16].

3. Adım. Modelin ve yöntemin seçimi

Modelin belirlenmesi: Girdi odaklı ve çıktı odaklı model olmak üzere iki grupta toplanır.

• Girdi Odaklı Model: Çıktılar sabit tutulurken, girdi miktarının ne derece azaltılması gerektiğini belirlemeye çalışan modellerdir [16].

• Çıktı Odaklı Model: Eldeki girdi ile en fazla çıktının üretilmesine çalışılır [16].

Ölçeğe göre getiri tipinin seçilmesi: 3 yöntemden oluşmaktadır.

CCR Yöntemi: Ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanarak karar birimlerinin toplam etkinlik sayılarını

belirler. Sabit getiri varsayımı, birimin girdisindeki artış çıktısındaki artışa eşit denk gelmesi durumudur [16].

BCC Yöntemi: Ölçeğe göre değişken getiriye kabul etmesi durumudur [16].

Toplamsal Model: Modelde, girdi ve çıktı odaklanmasını birlikte ele alır.

4. Adım. Çözüm ve değerlendirme:

Paket programları çözüm için sıkça kullanılmaktadır.

Başlıcaları; DEA-Solver, DEAP, EMS, Warwick DEA [19].

Girdiye yönelik CCR modeli ile etkin bulunmuş karar birimi çıktıya yönelik karar biriminde de etkin bulunmaktadır [16].

İncelenecek olan çalışmada girdi odaklı CCR ele alınacaktır.

Etkinlik skoru = Θ^* ,

$\Theta^*=1$ ve artıklar sıfırsa karar verme birimi etkindir.

$\Theta^*<1$ olduğunda karar verme biriminin etkin olmadığı sonucuna varılır [16].

Tablo 2’de formülasyonu gösterilmiştir.

Tablo 2. Girdi Odaklı CCR Yöntemi Formülleri [19].

Primal	Dual
$\text{Enb} \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$	(1) $\text{Enk} \theta_k$ (5)
$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0$	(2) $\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} X_{ij} \leq \theta_k X_{ik}$ (6)
$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$	(3) $\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} Y_{rj} \geq Y_{rk}$ (7)
$u_r, v_i \geq 0$	(4) $\lambda_{jk} \geq 0$ (8)
n= karar verme birimi, m= girdi, s= çıktı, u_r : k KVB tarafından r’inci çıktıya verilen ağırlık, v_i : k KVB tarafından i’inci girdiye verilen ağırlık, Y_{rk} : k KVB tarafından üretilen r’inci çıktı, X_{ik} : k KVB tarafından kullanılan i’inci girdi, Y_{rj} : j’inci KVB tarafından üretilen r’inci çıktı, X_{ij} : j’inci KVB tarafından kullanılan i’inci girdi	

Primal problemde amaç maksimizasyon ise, dual problemin amacı minimizasyon olmasıdır. Dual ve primal problemlerden birinin optimal direkt olarak diğerinin optimal çözümünü vermektedir [16]. Dualite yönteminin seçilmesinin asıl sebeplerinden birisi primal probleme göre daha az hesaplama gerektirmesi ve ek yorumlar verebilmesidir [16].

VZA’nde sayıda karar verme birimi varsa, n sayıda model oluşturulur ve her karar verme biriminin etkinlik değerlerinin hesaplanması için n tane en iyileme modelinin çözülmesi gerekir [19].

3. Uygulama

Bu çalışma, Türkiye’deki turizm verileri kullanılarak son 9 yılın etkinliğinin tespit edilmesine yöneliktir.

3.1. Adım. Karar noktası seçimi.

KBV olarak 9 yıl belirlenmiştir ve 2010 -KVB₁, 2011 - KVB₂, 2012 -KVB₃, 2013 -KVB₄, 2014 -KVB₅, 2015 –

KVB₆, 2016 -KVB₇, 2017 -KVB₈, 2018 -KVB₉ olarak kodlanmıştır.

Bu çalışmada karar verme birimlerinin sayısı girdi+çıkıtı+1 (m+s+1) olarak belirlenmiştir.

3.2. Adım. Girdi ve çıktı faktörünün belirlenmesi.

Girdi ve çıktıların belirlenmesi için turizm sektöründe önemli etken olarak rol alan bazı veriler Türkiye İstatistik Kurumu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Kültür ve Turizm Bakanlığı incelenerek belirlenmiştir.

Girdi olarak: Müze sayısı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık turizm gideri (000\$), işsizlik sayısı, yıllık yurtdışına giden ziyaretçi sayısı belirlenmiş ve sırasıyla v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 olarak kodlanmıştır.

Çıkıtı olarak: Yıllık ziyaretçi sayısı, yıllık turizm geliri (000\$) ve kişi başı GSYİH (\$) belirlenmiştir. u_1, u_2, u_3 olarak kodlanmıştır.

Elde edilen veriler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Elde Edilen Veriler

Karar Noktaları	Çıktılar			Girdiler				
	Yıllık Ziyaretçi Sayısı (u_1)	Yıllık Turizm Geliri (000\$) (u_2)	Kişi Başı GSYİH (\$) (u_3)	Müze Sayısı (v_1)	Yıllık Ortalama Sıcaklık (v_2)	Yıllık Turizm Gideri (000\$) (v_3)	İşsizlik Sayısı (v_4)	Yıllık Yurtdışına Giden Ziyaretçi Sayısı (v_5)
KVB₁	32997308	24930997	10560	334	15,2	5874520	3046000	6557233
KVB₂	36769039	28115692	11205	339	13,2	5531486	2615000	6281972
KVB₃	36463921	29007003	11588	347	14,2	4593390	2518000	5802950
KVB₄	39226226	32308991	12480	350	14,1	5253565	2747000	7525869
KVB₅	41415070	34305904	12112	392	14,9	5470481	2853000	7982264
KVB₆	41617530	31464777	11019	409	13,8	5698423	3057000	8750851
KVB₇	31365330	22107440	10883	417	14	5049793	3330000	7891909
KVB₈	38620346	26283656	10602	438	14,2	5137244	3454000	8886916
KVB₉	45628673	29512926	9632	455	15,4	4896310	3537000	8383432

3.3. Adım. Modelin seçimi.

Çalışmada çıktılar üzerinde kontrol az olduğundan girdi odaklı CCR model tercih edilmiştir. Tablo 1’de formülleri gösterilmiştir. Primal formül ile devam edilecektir.

3.4. Adım. Çözüm ve sonuçların değerlendirilmesi.

İlk olarak karar verme birimleri için formüller kullanılarak doğrusal programlama modeli kurulmuştur. KVB₁ ‘e ait örnek model aşağıdaki gibidir.

$$Enb \ 32997308u_1 + 24930997u_2 + 10560u_3 \quad (9)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad (10)$$

$$32997308u_1 + 24930997u_2 + 10560u_3 - 334 v_1 - 15,2 v_2 - 5874520 v_3 - 3046000 v_4 - 6557233 v_5 \leq 0$$

$$36769039u_1 + 28115692u_2 + 11205u_3 - 339 v_1 - 13,2 v_2 - 5531486 v_3 - 2615000 v_4 - 6281972 v_5 \leq 0$$

$$36463921u_1 + 29007003u_2 + 11588u_3 - 347 v_1 - 14,2 v_2 - 4593390 v_3 - 2518000 v_4 - 5802950 v_5 \leq 0$$

$$39226226u_1 + 32308991u_2 + 12480u_3 - 350 v_1 - 14,1 v_2 - 5253565 v_3 - 2747000 v_4 - 7525869 v_5 \leq 0$$

$$41415070u_1 + 34305904u_2 + 12112u_3 - 392 v_1 - 14,9 v_2 - 5470481 v_3 - 2853000 v_4 - 7982264 v_5 \leq 0$$

$$41617530u_1 + 31464777u_2 + 11019u_3 - 409 v_1 - 13,8 v_2 - 5698423 v_3 - 3057000 v_4 - 8750851 v_5 \leq 0$$

$$31365330u_1 + 22107440u_2 + 10883u_3 - 417 v_1 - 14 v_2 - 5049793 v_3 - 3330000 v_4 - 7891909 v_5 \leq 0$$

$$38620346u_1 + 26283656u_2 + 10602u_3 - 438 v_1 - 14,2 v_2 - 5137244 v_3 - 3454000 v_4 - 8886916 v_5 \leq 0$$

$$45628673u_1 + 29512926u_2 + 9632u_3 - 455 v_1 - 15,4 v_2 - 4896310 v_3 - 3537000 v_4 - 8383432 v_5 \leq 0$$

$$334 v_1 + 15,2 v_2 + 5874520 v_3 + 3046000 v_4 + 6557233 v_5 = 1 \quad (11)$$

$$u_1, u_2, u_3, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 0 \quad (12)$$

Excel çözücü ile her bir yıl için kurulan modeller çözülmüştür. Sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Model Sonuçları

	r^*	u_1	u_2	u_3	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
KVB₁	0,91	0	0	0	0,002	0	0	0	0
KVB₂	1	0	0	0	0	0,046	0	0	0
KVB₃	1	0	0	0	0	0,04	0	0	0
KVB₄	1	0	0	0	0	0,038	0	0	0
KVB₅	1	0	0	0	0	0,035	0	0	0
KVB₆	1	0	0	0	0	0,072	0	0	0
KVB₇	0,89	0	0	0	0	0,03	0	0	0
KVB₈	0,94	0	0	0	0	0,05	0	0	0
KVB₉	1	0	0	0	0	0,034	0	0	0

Sonuçlara bakılırsa yıllar içinde KVB₂, KVB₃, KVB₄, KVB₅, KVB₆ ve KVB₉ etkindir. Ek olarak KVB₁, KVB₇ ve KVB₈'in etkinlik skoru $\Theta^* < 1$ bulunduğundan etkin olmadığı yönünde yorum yapılır.

Sonuçlar incelenecek olursa KVB₁- 0.91, KVB₇- 0.89 ve KVB₈- 0.94 oranında kaynaklarını etkin kullanma konusunda diğer karar birimlerinin gerisinde kaldığı ortaya çıkmıştır.

Etkin olmayan karar birimlerine yol gösterebilecek karar birimleri referans küme olarak isimlendirilir [16]. Bu durum duyarlılık analiziyle incelenebilir.

Örnek vermek gerekirse; Etkin bulunmayan birinci karar verme birimine ilişkin modelin duyarlılık analizi sonucu Tablo 5'de incelendiğinde KVB₃ ve KVB₄'ün KVB₁'nin referans kümesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Duyarlılık Sonuçları

Ad	Son Değer	Gölge Ücret	Kısıtlama Sağ Taraf	İzin Verilen Artış	İzin Verilen Azalış
Girdi KVB ₁	1,0000	0,9093	1,0000	1E+30	1,0000
KVB ₁ Fark	-0,0907	0,0000	0,0000	1E+30	0,0907
KVB ₂ Fark	-0,0350	0,0000	0,0000	1E+30	0,0350
KVB ₃ Fark	0,0000	0,3424	0,0000	0,058814623	0,0659
KVB ₄ Fark	0,0000	0,5282	0,0000	0,070990225	0,1946
KVB ₅ Fark	-0,1424	0,0000	0,0000	1E+30	0,1424
KVB ₆ Fark	-0,3052	0,0000	0,0000	1E+30	0,3052
KVB ₇ Fark	-0,2994	0,0000	0,0000	1E+30	0,2994
KVB ₈ Fark	-0,4102	0,0000	0,0000	1E+30	0,4102
KVB ₉ Fark	-0,5105	0,0000	0,0000	1E+30	0,5105

KVB₁'nin etkinlik skoru 0.91'dir. Etkinliği arttırırken referans alabileceği veri setinin birincisi KVB₃ ikincisi KVB₄'tür. Etkinliği arttırabilmek için %34 oranında KVB₃, %53 oranında KVB₄ referans alınmalıdır.

Tablo 5'deki gibi etkin bulunmayan tüm KVB'lerin duyarlılık analizi sonucunda elde edilen referans kümeleri Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Referans Kümesi

	Referans Kümesi
KVB₁	KVB ₃ (0.34) , KVB ₄ (0.53)
KVB₇	KVB ₃ (0.21) , KVB ₄ (0.67)
KVB₈	KVB ₄ (0.50) , KVB ₆ (0.15), KVB ₉ (0.27)

Analiz sonuçlarına göre etkin olan KVB'lerin referans sıklıkları Tablo 7'te yer almaktadır.

Tablo 7. Etkin Sayılan KVB Sıklığı

	Referans Sıklığı
KVB₃	2
KVB₄	3
KVB₆	1
KVB₉	1

Yorumlamak gerekirse örneğin, KVB₃, etkin olmayan KVB₁ ve KVB₇ karar verme birimleri tarafından 1 kez referans gösterilmiştir.

Tablo 8. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Gerçek ve Hedef Değerler

KVB	Değişkenler		Gerçek Değerler	Hedef Değerler
KVB ₁	Girdi	Müze Sayısı	334	303
		Yıllık Ortalama Sıcaklık	15,2	12,3
		Yıllık Turizm Gideri (000\$)	5874520	4346142
		İşsizlik Sayısı	3046000	2312030
		Yıllık Yurtdışına Giden Sayısı	6557233	5961713
KVB ₇	Girdi	Müze Sayısı	417	307
		Yıllık Ortalama Sıcaklık	14	12,4
		Yıllık Turizm Gideri (000\$)	5049793	4484500
		İşsizlik Sayısı	3330000	2369270
		Yıllık Yurtdışına Giden Sayısı	7891909	6260952
KVB ₈	Girdi	Müze Sayısı	438	359
		Yıllık Ortalama Sıcaklık	14,2	13,3
		Yıllık Turizm Gideri (000\$)	5137244	4803549
		İşsizlik Sayısı	3454000	2787040
		Yıllık Yurtdışına Giden Sayısı	8886916	7339089

Etkin bulunmayan KVB'lerin etkin hale gelmesi için girdi ve çıktı değişkenlerinde gerçek ve hedef değerler Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tabloda yer alan hedef değerler, etkin olmayan KVB'lerin referans kümelerindeki etkin KVB'lerin ilgili değişken rakamlarına göre hesaplanmaktadır.

Örnek olarak, KVB₁, yapılan analizlerde etkin bulunmamıştır. Etkin olması için ele alınan değişken değerlerine ait hedef değerler, KVB₂, KVB₄, KVB₅ değişkenleri ve elde edilen verilere göre analiz edilmiştir. Girdiler hedef değerlerde olursa diğer KVB'lerin etkin çıkacağı sonucu ortaya çıkar.

Müze sayısı = (KVB₁'nin referans kümesi KVB₃* elde edilen verilerdeki KVB₃) + (KVB₁'nin referans kümesi KVB₄* elde edilen verilerdeki KVB₄) = 0.34*347+0.53*350≈303 şeklinde hesaplanır.

4. Sonuçlar

Veri Zarflama Analizi (VZA), işletmelerin performansını ölçmede en uygun tekniklerden birisidir. VZA her alanda kullanılan güçlü bir tekniktir. Çalışma, turizm sektöründe uygulanmış olup, bu sektörün gelişmesine etkili olacak kriterler belirlenmiştir. Bunlar yıllık ziyaretçi sayısı, yıllık turizm geliri, kişi başı GSYİH, müze sayısı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık turizm gideri, işsizlik sayısı, yıllık yurtdışına giden ziyaretçi sayısıdır. Girdi olarak; Müze sayısı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık turizm gideri, işsizlik sayısı, yıllık yurtdışına giden ziyaretçi sayısı, Çıktı olarak: Yıllık ziyaretçi sayısı, yıllık turizm geliri ve kişi başı GSYİH (\$) belirlenmiştir.

Yıllara bağlı olarak bu kriterlerin değişimi incelenmiştir. 9 yıl içinden 6 yıl olan KVB₂, KVB₃, KVB₄, KVB₅, KVB₆ ve KVB₉ (2011, 2012, 2013, 2014, 2015 ve 2018) etkin olarak bulunmuştur. Ayrıca diğer 3 yıl olan KVB₁, KVB₇ ve KVB₈ (2010, 2016 ve 2017) etkinlik

skoru $\Theta^* < 1$ olduğundan etkin değildir yorumuna ulaşılır.

Etkin olmayan birimlere bakıldığında kontrol edilebilir değişken olarak müze sayısını görmekteyiz. Müzelerin sayılarının artırılmasından ziyade nitelikli olması turizm için önem arz etmektedir. Yıllık turizm giderinin azaltılmasıyla da etkin olması sağlanabilir.

Etkin olması için referans kümesi belirlenerek sonrasında hedef değerlerin hesaplanmasıyla ne şekilde etkin hale getirilebileceğine dair sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen verilere bakıldığında geliri en yüksek olan yılın 2014 yılı olduğu, yıllık ziyaretçi sayısında en fazla olduğu yılın 2018 yılı olduğu gözükmektedir. Bu durumda yıllık ortalama sıcaklığın ortak olarak önemli dereceye sahip olması ve aynı zamanda yurtdışına giden turist sayısının belirtilen yılların öne çıkmasında önemli bir etken olduğu çıkarımında bulunulabilir.

Turizm sektöründe VZA ile ilgili birçok yapılmış çalışma bulunmaktadır. Fakat yıllara göre etkinliklerin belirlenmesine yönelik çok fazla çalışma yoktur. Bir çalışmada turizm sektörünün finansal performansının oran analizi ve topsis yöntemiyle değerlendirilmesine yönelik çalışma yapılmış olup ilgili yılların performansları belirlenmiştir [21]. Başka bir çalışmada OECD ülkelerinin turizm sektöründeki ekonomik etkinlik analizine yönelik 5 yıla ait verilerle VZA çalışması yapılmış ve ülkelerin etkinliği incelenmiştir [22]. Bu makalede ise belirlenen kriterlere göre (müze sayısı, turist sayısı vb.) yılların etkinliğinin tespit edilmesine yönelik VZA çalışmasıyla literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Atris A.M., 2020. Assessment Of Oil Refinery Performance: Application Of Data Envelopment Analysis-Discriminant Analysis Resources Policy. Volume 65, Article 101543, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101543>.

- [2] Aybarç S., Selim S. ve Kızılgöl Ö.A., 2019. Türkiye'de Turizme Yönelik Kamu Teşvik Politikaları Çerçevesinde İllerin Etkinlik Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 14(1), 129 – 148.
- [3] Minucia E., Neto F., Hall J., 2019. A Data Envelopment Analysis Of West Virginia School Districts Heliyon. Volume 5, Issue 7, 1-6, e01990, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01990>.
- [4] Zeng Y., Guo W., Zhang F., 2019. Comprehensive Evaluation Of Renewable Energy Technical Plans Based On Data Envelopment Analysis, Energy Procedia. 158, 3583-3588.
- [5] Reza Nadimi ve Koji Tokimatsu, 2019. Evaluation Of The Energy System Through Data Envelopment Analysis: Assessment Tool For Paris Agreement Energy Procedia. 158, 3464-3469.
- [6] Top M., Konca M., Sapaz B., 2019. Technical Efficiency Of Healthcare Systems In African Countries: An Application Based On Data Envelopment Analysis, Health Policy And Technology. In press, corrected proof, Available online, Volume 9, Issue 1, Pages 62-68.
- [7] Göral R. ve Tengilimoğlu E., 2018. Türk Dünyası Destinasyonlarının Turizm Sektörü Etkinliğinin Karşılaştırılması. Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi, 3.2: 230-241.
- [8] Doğan N. Ö. ve Ersoy Y., 2018. Veri Zarflama Analizi İle Konaklama İşletmelerinde Etkinlik Ölçümü: Yozgat İli Örneği. Mukaddime, 9(2), 119-134.
- [9] Liu S. ve ark., 2018. Assessing Urban Carbon Emission Efficiency in China: Based on the Global Data Envelopment Analysis, Energy Procedia. 152, 762-767.
- [10] Çağlar A., ve Keten N. D., 2018. İllerin İnsani Gelişme Endeksinin Veri Zarflama Analizi İle Ölçülmesi. Ege Akademik Bakış Dergisi, 18(4), 565-578.
- [11] Ersoy N., 2018. Banka Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (FESA), 3(2), 478-487.
- [12] Arslan A. E., ve Güven Ö. Z., 2018. Veri Zarflama Analizi İle Üniversite Etkinliklerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma: Türkiye Örneği. Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi, 3(6), 86-105.
- [13] Karadayı M. A., Ekinci Y., Akkan C., ve Ülengin F., 2017. İstanbul için Acil Servis Birimlerinin Etkinliğinin Kategorik Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. Journal of Yaşar University, 12, 31-39.
- [14] Silva A.F. ve ark., 2017. Dias Bi-Objective Multiple Criteria Data Envelopment Analysis combined with the Overall Equipment Effectiveness: An application in an automotive company Journal of Cleaner Production. 157, 278-288.
- [15] Öztürk E., 2016. Health System Performance In Oecd Countries: Data Envelopment Analysis. Hacettepe University Institute of Social Sciences Department of Economics, 456815.
- [16] Sarı Z., 2015. Veri Zarflama Analizi Ve Bir Uygulama. Master's Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 387349.
- [17] Asandului L., Roman M., Fatulescu P., 2014. The Efficiency of Healthcare Systems in Europe: A Data Envelopment Analysis Approach Procedia Economics and Finance. 10, 261-268.
- [18] Jui-Kuei Chen, I. -Shuo Chen 2011. Inno-Qual Efficiency Of Higher Education: Empirical Testing Using Data Envelopment Analysis, Expert Systems With Applications. 38(3), 1823-1834.
- [19] Özden Ü., 2008. Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 37(2), 167-185.
- [20] Yücel L.İ., 2015. Excel-Solver Eklentisiyle Oluşturulan Portföylerin CCR Model İle Etkinlik Ölçümüne Yönelik Bir Uygulama. Ekonometri ve İstatistik Dergisi, (23), 112-146.
- [21] Bilici N., 2019. Turizm Sektörünün Finansal Performansının Oran Analizi ve Topsis Yöntemiyle Değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23(1), 173-194.
- [22] Bayrak R., Bahar O., 2018. Economic Efficiency Analysis Of Tourism Sector In Oecd Countries: An Empirical Study With DEA. International Journal of Economic & Administrative Studies, UİİİD- IJEAS, 2017 (20):83-100 ISSN 1307-9832.



Özel Tasarım Bir Bilyeli Değirmen Makinesine Ait Boyun Yataklarının Gerilme Analizi

Structural Stress Analysis on The Neck Bearings of A Custom Design Ball Mill Machine

H.Kürşat ÇELİK^{1,*} , Çağatay ÇETİNKAYA² , Fatih AK³ , Ozan ÖZMEN⁴ 

¹ Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Ziraat Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8154-6993

² Kristal Endüstriyel Mutfağ Çamaşırhane Makine Pazarlama ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Antalya, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-4120-6940

³ Fark Mühendislik, Proje Danışmanlık ve İmalat, Antalya, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5234-7363

⁴ Cantek Endüstriyel, Tasarım Büro, Antalya, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8287-5892

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 17/10/2019

Kabul Tarihi : 28/05/2020

Anahtar Kelimeler

Bilyeli Değirmen
Boyun Yatakları Tasarımı
Hasar Analizi
Yüzey Yorulma Aşınması
Gerilme Analizi

Research Paper

Received Date : 17/10/2019

Accepted Date : 28/05/2020

Keywords

Ball Mill Machine
Neck Bearing Design
Failure Analysis
Pitting
Stress Analysis

Özet

Bilyeli değirmen makineleri farklı form ve boyutlardaki cevherlere istenilen form ve boyutun kazandırılmasında kullanılan cevher işleme/öğütme makineleridir. Bu tip bilyeli değirmenler malzeme işleme/öğütme işlemleri sürecinde yüksek statik ve dinamik yükler altında çalışmaktadırlar. Özellikle makineye ait mesnet yatakları yüksek yüzey gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu tip gerilmeler mesnet yatak yüzeyleri üzerinde plastik deformasyon ve yüzey yorulma aşınması (pitting) hasarlarına yol açabilmektedir. Bu hasarlar makinenin ürün işleme aşamalarında istenmeyen aksamalara, ürün ve işleme zamanı kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada boyun yatakları hasar almış özel tasarım örnek bir bilyeli değirmen ele alınmış ve tanımlanan gerçek çalışma koşulları göz önünde bulundurularak yataklar üzerinde yapısal hasara neden olan gerilme dağılımları incelenmiştir. Çalışmada tanımlanan statik ve tekrarlı yüklenme koşulları altında yatakların yüzey gerilme dağılımları sonlu elemanlar analizi kullanılarak bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Statik yüklenmede simülasyon sonuçlarına göre incelenen yatak yüzeylerinde ortaya çıkan maksimum eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri 88.906 MPa ve maksimum deformasyon değeri 0.132 mm olarak elde edilmiştir. Elde edilen gerilme değeri ile yatak malzemesinin akma mukavemet değeri (250 MPa) karşılaştırıldığında, ana hasar sebebinin statik durumda oluşan gerilmelerden kaynaklı olmayabileceği değerlendirilmiştir. Yataklar üzerine ön yüklemeli genel değişken tekrarlı yüklenme kabulü yapılarak yapılan yorulma hasar analizi değerlendirmesinde ise yatakların emniyetli çalışma katsayısının düşük çıkması (0.913 ve 0.629), hasarın dinamik çalışma koşullarında yüzey yorulma aşınması kaynaklı olabileceğini göstermiştir. Teknik analiz çıktılarına ek olarak, bu çalışma, makine elemanlarında oluşan hasarın incelenmesinde bilgisayar destekli simülasyon teknolojilerinin kullanılması üzerine gelecek araştırmalara katkı sağlayacak bir çalışma olarak yapılandırılmıştır.

Abstract

The ball mill machines are the types of machines used to process/grind materials (mostly natural ores) from their natural form to desired size and form. These machines are subjected to high static and dynamic loads during the material processing/grinding. Most especially, the support elements such as neck bearings may experience excessive stress distributions that may cause plastic deformation and pitting failures on the contact surfaces of the bearings. Consequently, these failures may lead to undesired disruptions in the material processing stages and loss of material and processing time. In this paper, a custom design ball mill machine with failure on its neck bearings is considered. Structural stress distributions, which might be responsible for the surface failure of the neck bearings were analysed under consideration of real operating condition. The structural stresses under static and cyclic loading conditions on the contact surfaces of the bearings were simulated through finite element analyses. The simulation results revealed that the maximum equivalent (von-Mises) stress and maximum deformation magnitudes were 88.906 MPa and 0.132 mm respectively. These results led to say that main failure reason might not be due to static loading as the maximum stress magnitude obtained from the simulation was lower than the material yield point (250 MPa), however, the cyclic loading analysis results indicated a low safety factor (0.913 and 0.629) which may be the indication of the pitting failure on the contact surfaces of the bearings under dynamic loading conditions. In addition to technical outputs exhibited specific to this study, the application procedure followed in the paper would contribute to further research studies on failure analysis of the machine elements by means of advanced computer aided engineering simulation technologies.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): hkcelik@akdeniz.edu.tr



1. Giriş

Bilyeli değirmen makineleri temel olarak cevher işleme/öğütme makineleridir. Bilyeli değirmenlerde öğütme işlemi, farklı form ve büyüklükteki cevherlerin boyutlarını küçültmekte kullanılan önemli bir teknolojik işlemidir. En bilinen uygulamaları cevherler, mineraller ve kireç taşı üzerinedir. Parçacık boyutu küçültmenin (kıırma ve öğütme) yanında karıştırma ve ayrıştırma işlemleri için de kullanılmaktadır [1]. Konstrüksiyon olarak bir bilyeli değirmen, silindirik bir haznenin her iki taraftan dönmesine izin veren bir sabitleme ile aksenal olarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Senkron bir şekilde çalışan motorlardan gelen güç, redüktörler yardımı ile istenilen devir ve tork değerlerine ulaştırılarak, kaplin yardımı ile değirmenin silindir gövdesine döndürme momenti aktarılmakta ve silindirik değirmen gövdesinin döndürme hareketi gerçekleştirilmektedir. Burada silindirin içerisindeki başlangıç materyali (Cevher, mineral vs.) ve öğütücüler (bilyeler), kaplinin gövdeye ilettiği döndürme momenti (tork) yardımıyla, bir eksen etrafında dönmeye başlar. Ortamın kinetik enerjisi, öğütücüler yardımıyla başlangıç materyaline aktarılır ve dönme esnasında öğütme işlemi gerçekleşir [1]. Bu hareket esnasında, silindirik gövdeyi taşıyan esas elemanlar olan boyun yataklarında yüksek yüzey basıncı kaynaklı gerilme dağılımları ortaya çıkmaktadır. Bu gerilmeler ve oluşan dinamik durum sonucu, yatak yüzeylerinde hasar oluşumu gözlenebilmektedir. Silindirik gövde içerisinde bilyelerin, öğütülen cevherin ve astar plakalarının olduğu da dikkate alındığında, boyun yataklarına etkiyen toplam yükün birçok benzer büyüklükteki makine sistemlerine göre oldukça büyük bir değer aldığı görülebilmektedir.

Bu çalışmada, özel tasarım örnek bir bilyeli değirmen ele alınmış ve hasara uğramış olan boyun yatakları Sonlu Elemanlar Analizi kullanılarak statik ve tekrarlı yüklenme koşulları altında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından alınan görsel çıktılar ve sayısal değerler, yataklar üzerinde oluşan hasar mekanizmalarının tarif edilmesinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda benzer makine sistemlerinde ortaya çıkabilecek bu tip hasarların önüne geçilmesi adına önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bilyeli Değirmen

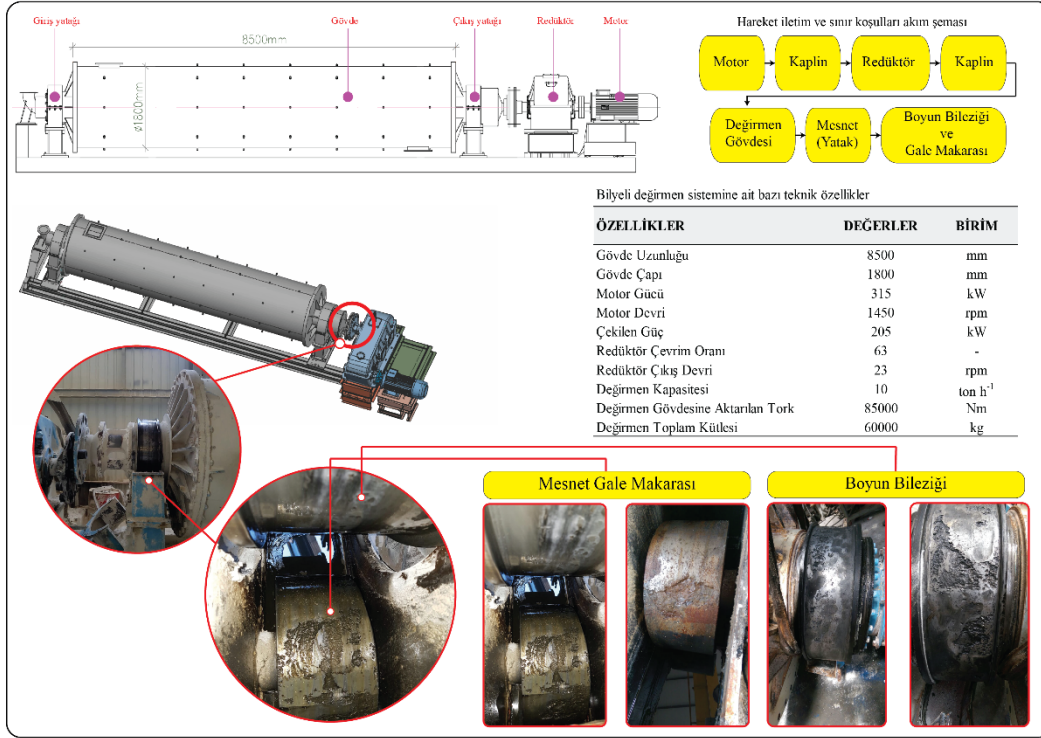
Günümüzde kullanım alanı, fonksiyonu ve teknik özellikleri paralelinde tasarımlarına göre farklılık gösteren değişik kapasite ve teknik özelliklere sahip bilyeli değirmen tipleri mevcuttur. Bu çalışmada BaSO₄ cevherinin, 3 000 µm büyüklükten 45 µm büyüklüğe kadar

öğütülmesini sağlayan özel tasarım bir bilyeli değirmen ele alınmıştır. Değirmen, öğütme işlemi için ihtiyaç duyduğu enerjiyi 315 kW gücündeki elektrik motorundan gelen hareketten almaktadır. Çevrim oranı (i)= 63/1 olan bir redüktör yardımı ile devir 23 min⁻¹ 'ye düşürülmektedir. Devri düşürülen ve tork kazandırılarak elde edilen hareket enerjisi, mekanik kaplin ile değirmen gövdesine aktarılmakta ve gövde içerisinde bulunan öğütücü bilyeler cevhere enerjisini aktararak öğütme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında statik ve dinamik yüklere bağlı olarak, silindirik değirmen gövdesini taşıma görevi gören boyun yataklama sistemi içerisinde yer alan boyun bileziği ve bu bileziği mesnetleyen gale makaraları yüzeylerinde yüksek gerilme dağılımları istenmeyen hasarlara neden olabilmektedir. Ele alınan makine sisteminde hasara uğramış makine elemanları üzerinde yapılan ilk incelemede, aşınmalar, ezilmeler ve yer yer eleman yüzeylerinden parça kopmaları olduğu gözlemlenmiştir. Bu ilk gözlemler sonucunda yatak yüzeylerindeki hasar sebebinin, statik ve/veya dinamik yüklere karşı gerekli mukavemetin sağlanamaması olarak yorumlanmıştır. Ele alınan bilyeli değirmenin hareket iletimini ve sınır koşullarını tarif eden akım şeması, genel teknik resim gösterimi, bazı teknik özellikleri ve hasarlı yatak elemanlarına ait görseller Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Sonlu Elemanlar Analizi

İlgili makine elemanlarının yüklenme ve deformasyon davranışını fiziksel olarak gözlem yaparak belirlemek oldukça sınırlı derecede olmaktadır. Özellikle yapının büyüklüğü ve tekrarlı yüklenme şekli dikkate alındığında, yataklar yüzeylerindeki yük etkilerini, gerilme dağılımlarını daha detaylı değerlendirebilmek adına Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) kullanılarak değirmenin yüklenme durumu analiz edilmiştir.

Bilyeli değirmen boyun yatağı elemanları için gerçekleştirilen tüm FEA'lar , tanımlanan gerçek çalışma koşulları referans alınarak kurulmuştur. Bu kapsamda boyun yatağı içerisinde yer alan gövdeye sıkı geçme olarak montajlanmış boyun bileziği ve bu boyun bileziğini mesnetleyen gale makaraları için analizler gerçekleştirilmiş ve her bir eleman için tanımlanan çalışma koşulları altında, maruz kaldıkları maksimum von-Mises eşdeğer gerilme değerleri ve maksimum yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Statik analize ek olarak sistemin tekrarlı yüklenme çalışma koşulları da dikkate alınarak yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Yorulma analizi ile, sistemin sürekli mukavemet değeri kapsamında güvenli davranıp davranmadığı analiz edilmiştir. Yatak elemanları için kurulan detaylı FEA'lar, ANSYS Workbench FEM tabanlı multi-fizik mühendislik analizi yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [2].



Şekil 1. Değirmen sistemine ait bazı teknik özellikler ve hasarlı yatak elemanlarına ait görseller

Yatak düzeneğindeki elemanların detaylı FEA'larında standart FEM uygulama adımları takip edilmiştir. FEA'larda kullanılan CAD modelleri, yatakların geometrik yapısını ve yük taşıma özelliğini bozmayacak şekilde küçük basitleştirmeler ile düzenlenmiştir. FEA kurgularında elemanlar arası sürtünmesiz temas, statik yükleme ve homojen, izotropik lineer malzeme modeli kabulleri yapılmıştır. Çalışan sistemde yer alan ve plastik deformasyona maruz kalan boyun bileziği ve mesnet gale makarası malzemeleri için S235JR yapısal çelik malzemesi tanımlanmıştır (Elastisite Modülü: 220 GPa, Poison Oranı: 0.3, Akma Mukavemeti: 250 MPa, Çekme mukavemeti: 460 MPa Yoğunluk: 7850 kg m⁻³) (Şekil 2). Yatak elemanlarının en kritik zorlanmaya maruz kaldığı durum ve konum dikkate alınarak FEA sınır koşulları tanımlanmıştır.

Tüm değirmen sistemi ve yatak grubunda yer alan elemanlar (Boyun bileziği, mesnet gale makarası), sonlu eleman modeli ANSYS Workbench elemanlara ayırma (Meshing) fonksiyonları kullanılarak oluşturulmuştur. Sonlu eleman modellerinde kullanılacak uygun eleman boyutunu belirlemek için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. FEA çözümünün yapılacağı bilgisayar platformunun gücü, model büyüklükleri ve geometrisi göz önünde tutularak, inceleme yapılan yatak elemanlarını en uygun şekilde temsil edebilecek eleman boyutları tanımlanmış ve incelenen kritik bölgelerin sonlu eleman katmanları daha ince hale getirilmiştir. Bilezik ve makara için elemanlara ayırma işlemlerinde eğrilik tabanlı elemanlara ayırma

(Curvature based meshing) yaklaşımı uygulanmıştır [2]. Sonlu eleman modeli "Skewness" eleman kalite kontrol değerlendirmesine tabi tutulmuş ve ortalama model metrik değeri 0.227 bulunmuştur. Bu değer sonlu eleman modelinin kalitesinin yüksek derecede olduğunu göstermektedir [3]. FEM işlem öncesi adımların tamamlanmasının ardından FEA çözüm işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kayıt edilmiştir.

Ele alınan makine elemanlarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde daha çok sünek malzemelerin çok eksenli yüklenme durumlarında karşılaştıkları hasar değerlendirilmesinde kullanılan ve deneysel çalışmalarla oldukça uyumlu sonuçlar veren von-Mises eşdeğer gerilme kriteri (von-Mises-Hencky teorisi, yırtılma-enerji teorisi ya da maksimum bozulma enerjisi teorisi) tercih edilmiştir. Teori; hesaplanan eşdeğer gerilmenin, malzeme gerilme limitine eşit olduğunda malzemenin belirli bir konumda akmaya başlayacağını yani plastik deformasyona uğrayacağını ifade etmektedir. Çoğu durumda akma dayanımı, hasar tanımlaması için sınır gerilme değeri olarak kullanılmaktadır.

Buna ek olarak daha gerçekçi simülasyon sonuçlarını elde edebilmek amacı ile ince yapı plaka özellikli elemanlar üzerinde kurulan düzlemsel gerilme (plane stress) varsayımları yerine çalışmada üç boyutlu (3D) gerilme hali dikkate alınmış ve çok parçalı 3D katı model montajı kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen FEA kurgusunda yer alan malzeme modeli, sınır koşulları sonlu eleman modeli detayları,

von-Mises eşdeğer gerilme dağılımları ve toplam deformasyon davranışı çıktıları Şekil 2’de verilmiştir.

Statik analiz sonuçlarına ek olarak sistemin tekrarlı yüklenme durumu dikkate alınarak yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Yorulma analizinde, hasar durumu ve bileziğin bağlandığı muylu eksenindeki balanslı aksenal kaçıklık gözlemleri dikkate alınarak yük tipinin ön yüklemeli genel değişken yüklenme ile 2.5 yüklenme faktörü ile yüklendiği ve malzeme sürekli mukavemet değeri yük tekrar (çevrim) sayısının 10^6 olduğu kabulleri yapılmıştır. Hesaplama için yapısal çelik malzemelere uyumlu ‘Soderberg’ teorisi, yorulma dayanımı faktörü ise 0.8 olarak kabul edilmiştir [4, 5]. Yorulma analizi kurgusu ve analiz çıktılarına ait görseller Şekil 3’de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

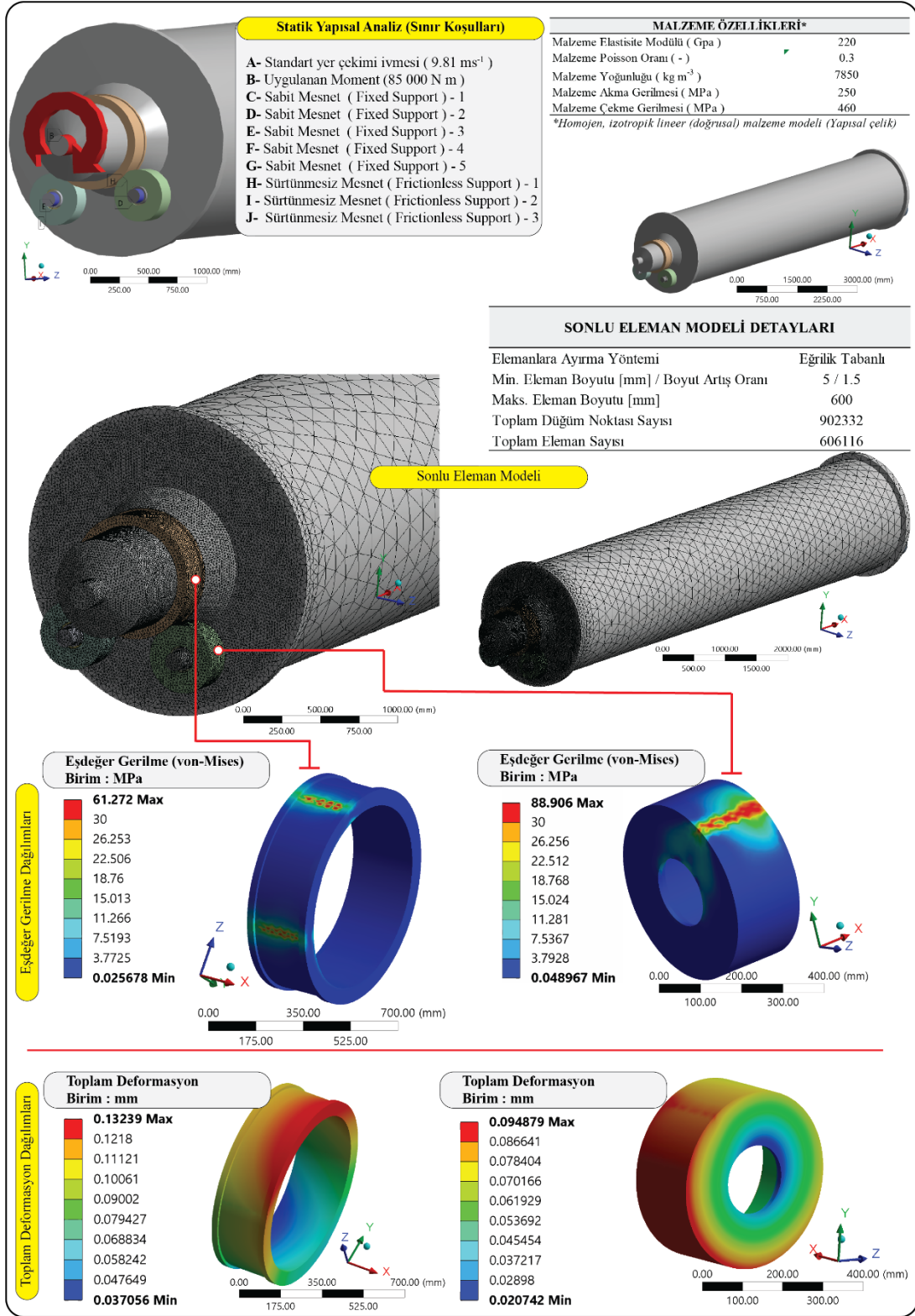
Gerçekleştirilen statik yüklenme durumu analiz sonuçlarına göre boyun bileziği ve mesnet gale makarasında maksimum von-Mises eşdeğer gerilme değerleri sırasıyla 61.272 MPa ve 88.906 MPa olarak hesaplanmıştır. Maksimum deformasyon değerlerinin (0.132 mm ve 0.094 mm) ise sistemin çalışma koşullarını olumsuz yönde etkilemeyecek büyüklükte olduğu ve bu değerlerin kabul edilebilir emniyetli çalışma değerleri içerisinde yer aldığı kanısına varılmıştır (Şekil 2). Statik analiz kurgusunda elde edilen gerilme değerleri yatak elemanları malzemesinin akma mukavemeti değeri ile karşılaştırıldığında, hesaplanan gerilme değerlerinin herhangi bir plastik deformasyon veya kırılma hasarına işaret etmediği anlaşılmaktadır. Ancak, sistemin tekrarlı yükler altında çalıştığı dikkate alınarak gerçekleştirilen yorulma analizinde, statik analizlerde yapılan hasar değerlendirmesinin yorulma analizi sonuçlarına göre geçerli olmadığı ortaya çıkmıştır. Yorulma analizinde yatak elemanları ve boyun bileziğinin emniyet katsayısı 1 değerinin altında, sırasıyla 0.913 ve 0.631 olarak hesaplanmıştır. Yapılan kabuller sonucunda hasara en yatkın eleman olan gale makarasının tanımlanan değişken çalışma koşullarında çevrim sayısı (yorulma ömrü) 17 995 olarak hesaplanmıştır, güvenli çalışma katsayısı ise 0.629 olarak elde edilmiştir. Çalışmada ele alınan sistemin statik yüklenme durumunda hasar almadan çalışabildiği ancak tekrarlı yüklenme çalışma koşullarında yatak yüzeylerinde yorulma hasarı ortaya çıkabileceği gerçekleştirilen simülasyon çıktıları ışığında söylenebilmektedir. Hasara uğramış elemanların yüzeylerinde yüzey yorulma aşınması hasarı (pitting) açıkça görülebilmektedir. Fiziksel incelemesi yapılan hasarlı yatak sisteminde, işletme koşullarında çok kısa bir zaman aralığında yatak elemanlarının plastik deformasyona uğradığı da gözlemlenmiştir. Bu durum, hasarlı elemanlarda yapılan gözlemlere dayalı olarak elemanların hasar mekanizması

hakkında yapılan tahminlerin, tekrarlı yüklenme koşullarını inceleyen yorulma analizine ait görsel ve sayısal simülasyon çıktıları ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirmeler ile çalışmada kurulan FEA yaklaşımlarının doğru kurulduğu ve gerçekleştirilen simülasyon çalışmasının hedeflenen amaçlara hizmet ettiği söylenebilmektedir. Bununla birlikte bilgisayar ortamında gerçekleştirilen mühendislik simülasyon çalışmalarının analiz edilen sistemlerin gerçek çalışma ortamını ne derecede temsil edebildiği iyi değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, simülasyon kurgusunun dikkatli ve gerçek çalışma ortamına uygun bir şekilde kurulması, elde edilen sonuçların tecrübe ile yorumlanması ve imkanlar dahilinde ilgili mühendislik analitik ve/veya deneysel yöntemlerden en az biri ile doğrulanması konuları dikkate alınması gereken önemli konular arasında yer almaktadır.

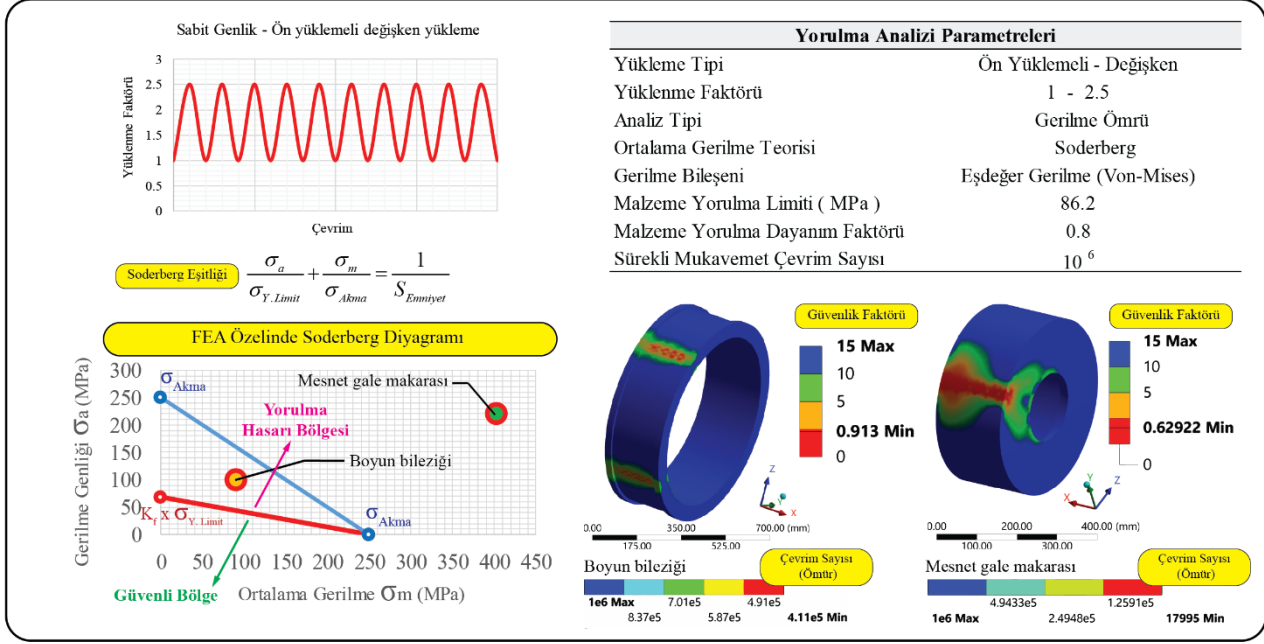
4. Sonuç

Ülke ekonomisinde büyük pay sahibi olan madencilik sektöründe, öğütme işlemlerinde kullanılan mekanik ekipmanların optimum boyutsal tasarımı ve tanımlanan ekonomik çalışma periyotlarında hasar almadan çalışma kapasiteleri işletme verimliliğine etki eden önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada ele alınan özel tasarım bir bilyeli değirmen sisteminin yük taşıyıcı elemanlarında ortaya çıkan plastik deformasyon ve yatak yüzeyi hasarları üzerine odaklanılmış ve ileri düzey bilgisayar destekli mühendislik simülasyon teknikleri kullanılarak yüzey hasarlarının statik ve tekrarlı yüklenme koşulu altında maruz kaldıkları yapısal gerilmelerle ilişkisi değerlendirilmiştir. Hasarlı elemanlar üzerinde gerçekleştirilen analizler neticesinde fiziksel gözlem ve FEA sonuçlarının birbirlerini destekleyici nitelikte olduğu görülmüş, statik ve tekrarlı yüklenme durumlarında elemanların maruz kaldıkları gerilme dağılımları tanımlanan yüklenme koşulları altında haritalandırılabilmiştir. Böylelikle ilgili hasarların tekrar yaşanmasını önleyici tedbirlerin alınması ve optimum makine elemanı tasarımlarının ortaya konmasında kullanılacak faydalı görsel ve sayısal çıktılar elde edilmiştir. Bununla birlikte bu tip elemanların deformasyon ve gerilme analizleri için örnek uygulama olabilecek bir ileri düzey bilgisayar destekli mühendislik simülasyon uygulaması başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Yatak elemanları üzerinde gerçekleştirilen FEA sonuçlarına göre, statik yüklenme durumunda plastik deformasyon ile ilişkili hasar belirtileri görülmemesine rağmen tekrarlı yüklenme durumunda elemanların özellikle yüzeylerinde yorulma dayanımının yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu değerlendirme ile tanımlanan sınır koşulları altında ele alınan değirmen sisteminin yatak elemanlarında tasarım iyileştirme çalışmalarının yapılması gerektiği kanısına varılmıştır.



Şekil 2. Sonlu elemanlar analizi detayları (Statik yükleme çıktıları)



Şekil 3. Yorulma analizi detayları

Bu kapsamda, bu çalışmada odağında yer alan ilgili yatak elemanlarının maruz kaldığı hasarların tekrarlanmasını önlemek adına bazı öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Sistem üzerinde yer alan yataklardaki eksen bozuklukları istenmeyen yüksek değişken yükleme etkileri ortaya çıkarabilmektedir. Bu nedenle eksen bozukluğu olmayan yatak montajları daha düzgün yayılı yüklemeleri sağlayarak istenmeyen yüksek değişken yüklemelerin neden olduğu hasarları önleyebilecektir.

2. Değişken ve tekrarlı yükleme koşullarında, ilgili yatak elemanlarının yüzey pürüzlülüğü, çentik katsayısı, geometrik büyüklük katsayısı gibi faktörler, ortaya çıkan gerilme değerlerini büyüten ve tasarım çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Yatak elemanları üzerinde imalat hatalarından kaynaklı istenmeyen yüzey pürüzlülüklerinin giderilmesi, yorulma ve ani darbe yüklenmelerine karşı çentik etkilerinin azaltılması, tasarlanan geometrilere ani kesit geçişlerinden kaçınılması elemanların hasar almadan daha uzun süre çalışmalarına katkıda bulunabilecektir.

3. İlgili yatak elemanlarında yüklemeler sırasında, yüklenmeye maruz kalan etkili temas genişliklerinin artırılması eleman yüzeylerindeki yüzey basıncının azalmasına dolayısıyla yüzey gerilme değerlerinin azaltılmasına yardımcı olabilecektir.

4. Yatak malzemelerinin aşınma direncini iyileştirmek özellikle yüksek yüklerin taşındığı temas noktalarında yüzey hasarlarının önüne geçilmesinde yardımcı olabilecektir. Bunun için dış yüzeyi sert, darbe dayanımını artırmak için ise iç yapısı sünek malzemelerin kullanımı değerlendirilebilir. Özellikle yüzey yorulma aşınması önüne geçilebilir amacıyla malzeme yüzey sertleştirme işlemleri faydalı olabilecektir.

5. İlgili elemanların tasarım iyileştirme ve yeni tasarım çalışmalarının zorunlu hale gelmesi durumunda, simülasyon sonuçları çerçevesinde, yatak tipinin değiştirilmesi önerilebilir (Alternatif öneri: Hidrodinamik yağlamalı yüzen yatak sistemi).

Bununla birlikte, yukarıda sayılan önerilerin ne oranda etkili olduğunun belirlenmesi konusu tasarım iyileştirme çalışmaları için önemli bir konudur ve her birinin ayrı ayrı analiz edilme gerekliliği bulunmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Monov V., Sokolov B., Stoenchev S., 2012. Grinding in Ball Mills: Modelling and Process Control, Cybernetics and Information Technologies v12: 51-52
- [2] ANSYS Documentation, 2019. Release notes: Resolved Issues and Limitations. Release 19.1. Canonsburg, PA: ANSYS Inc.
- [3] ANSYS Documentation, 2019. Release notes: Meshing. Release 19.1. Canonsburg, PA: ANSYS Inc.
- [4] Chaush, Y., 2008. ANSYS Workbench ile Yorulma Analizi, Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü. Ulaşılabilir URL (15.05.2019): http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/cmdm/348/1450272307_Yorulma-WB.pdf
- [5] Budynas R.G., Nisbett, J.K., 2015. Shigley's Mechanical Engineering Design (McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering - 10th Edition), McGraw-Hill publication, ISBN-10: 9780073398204, p.1105



Hindistan Cevizi Suyunun *Serapias vomeracea*'nin *In vitro* Gelişimine Etkileri

The Effects of Coconut Water on *In vitro* Development of *Serapias vomeracea*

Arda ACEMİ^{1,*} , Fazıl ÖZEN² 

¹ Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0270-8507

² Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-9293-908X

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 28/11/2019

Kabul Tarihi : 14/02/2020

Anahtar Kelimeler

Doğal Katkı Maddeleri
Orkide Kültürü
Rizogenez
Sağırkulağı

Research Paper

Received Date : 28/11/2019

Accepted Date : 14/02/2020

Keywords

Natural additives
Orchid culture
Rhizogenesis
Long-lipped *Serapias*

Özet

Bu çalışma, Hindistan cevizi suyunun (HCS) *Serapias vomeracea*'de *in vitro* asimbiyotik tohum çimlenmesi, protokorm oluşumu ve organ gelişimi üzerine konsantrasyona bağlı (25, 50 ve 100 ml L⁻¹) etkilerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Farklı HCS konsantrasyonlarının tohum çimlenmesi ve protokorm oluşumu üzerindeki etkileri kültür ortamında sükröz varlığında ve yokluğunda test edilmiştir. Kültür ortamında HCS ve sükröz eşzamanlı bulunması tohumların çimlenme oranını düşürdüğü için organogenez üzerine HCS'nin etkileri sadece sükröz yokluğunda denenmiştir. Kontrol ortamı ve sadece HCS içeren ortam en yüksek tohum çimlenme oranlarını vermesine rağmen sonuçlar arasında istatistiksel fark bulunmamıştır. Bununla birlikte, tüm HCS konsantrasyonları kültür ortamında sükrözden bağımsız olarak protokorm oluşumunu önemli ölçüde artırmıştır. En yüksek ortalama sürgün uzunluğu 100 ml L⁻¹ konsantrasyonunda HCS uygulaması sonucunda kaydedilmiştir. HCS uygulamalarından sonra rizogenik cevap anlamlı derecede azalmış ve tüm HCS uygulamalarının kök uzamasını azalttığı bulunmuştur. Kök oluşumu artan HCS konsantrasyonları ile artmış ancak yine de kontrol değerinin altında kalmıştır. Kültürlerde yumru oluşumu gözlenmemiştir. Bu çalışma HCS'nin *S. vomeracea* tohumlarının *in vitro* çimlenmesinde sükröz yerine kullanılabileceğini önermektedir. Bununla birlikte, çalışmanın sonuçları HCS'nin *S. vomeracea*'de organ gelişimi üzerine sadece 100 ml L⁻¹'den daha yüksek bir konsantrasyonda veya sükröz ile birlikte daha düşük konsantrasyonlarda kullanılması durumunda pozitif etkiler yaratabileceğini göstermiştir.

Abstract

This study aimed to compare the concentration-dependent (25, 50, and 100 ml L⁻¹) effects of coconut water (COW) on *in vitro* asymbiotic seed germination, protocorm formation, and organ development in *Serapias vomeracea*. The effects of different COW concentrations on seed germination and protocorm formation were tested both in the presence and absence of sucrose in the culture medium. The effects of COW were tested on organogenesis only in the absence of sucrose since the simultaneous presence of COW and sucrose in the culture medium reduced the germination rate. The control medium and the medium only with COW gave the highest but statistically similar seed germination rates. However, all the COW concentrations triggered protocorm formation regardless of the sucrose presence in the culture medium. The maximum mean shoot length was recorded after COW treatment at 100 ml L⁻¹ concentration. The rhizogenic response was significantly reduced after COW treatments. All the COW treatments decreased root elongation. The root formation increased with elevated COW concentrations, but it remained below the control value. The tuber formation was not observed in the cultures. This study suggested that COW could be used as a substitute for sucrose in *in vitro* germination of *S. vomeracea* seeds. However, the results also showed that COW might induce positive effects on organ development in *S. vomeracea* only if it is used in the medium at a concentration higher than 100 ml L⁻¹ or at lower concentrations along with sucrose.

1. Giriş

Serapias vomeracea (Burm.f.) Briq. (Orchidaceae), Türkiye dışında Balkan ve Akdeniz ülkelerinde yayılış gösteren, yaşam alanları 1000 m yüksekliğe kadar kurak çayır, çalılık ve fundalık araziler ile boş tarım alanları

olan çok yıllık ve yumru bir orkide türüdür. Yumru orkideler henüz doğada tükenmemiş olsalar dahi ticari değerlerinden dolayı doğadan kontrolsüz olarak toplanmakta ve doğal varlıkları daralma tehdidiyle karşı karşıya kalmaktadır [1]. Bu orkide türlerinin sahip olduğu yumrular zengin glukomannan içerikleri nedeniyle gıda ve ilaç endüstrisi için değerlidir. Glukomannan, günümüzde geleneksel bir sıcak içecek olan salep üretimi için

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): arda.acemi@kocaeli.edu.tr



hammadde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca hidrofilik özelliklerinden dolayı zayıflama kapsüllerinde ve gıda takviyelerinde tercih edilmektedir [2].

Bitki doku kültüründe, “doğal katkı maddeleri” veya “doğal maddeler” terimleri, bitki büyümesine katkıda bulunan, ancak herhangi bir bitki büyüme düzenleyicisi (BBD) sınıfında sınıflandırılmayan, doğal kökenli besi ortamı bileşenlerini tanımlar [3]. En sık kullanılan doğal katkı maddeleri, Hindistan cevizi suyu (HCS), muz homojenatı, malt, patates ve maya ekstraktları olarak rapor edilmektedir [4]. Bu doğal maddeler arasında yaygın olarak orkide kültürlerinde kullanılan HCS *Cocos nucifera* meyvelerinin endosperm sıvısıdır. Orkide kültürlerinde, HCS'nin ortama eklenmesinin sürgün gelişimini, tohum çimlenmesini ve protokom benzeri yapıların (PBY) oluşum oranlarını arttırdığı bildirilmiştir [5, 6]. Buna karşın HCS'nin Akdeniz karasal orkideleri üzerindeki etkileri henüz tam olarak belirlenmemiştir.

Bu çalışma orkide kültürlerinde yaygın olarak kullanılan doğal bir katkı maddesi olan HCS'nin bitki gelişimi üzerindeki konsantrasyona bağlı etkilerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Tropik orkide türlerinde çoğunlukla olumlu etkileri bildirilen HCS uygulamalarının *S. vomeracea* gibi yaygın ve ekonomik açıdan önemli bir model orkide türünün *in vitro* büyüme parametreleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması, bu doğal kültür ortamı takviyesinin etkilerinin Akdeniz karasal orkide türlerindeki potansiyel etkilerini de ortaya çıkartacaktır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Tohum kaynağı, canlılık yüzdesi ve dezenfeksiyon

Serapias vomeracea (Burm.f.) Briq. tohumları Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden (Menemen, İzmir, Türkiye) temin edildi. Tohumlar denemelerde kullanılmaya kadar 4 °C'de kuru ve karanlık bir ortamda saklandı. Tohum canlılığını belirlemek için tetrazolyum (2,3,5-Trifeniltetrazolyum klorür; TTC) testi, Acemi ve Özen [1] tarafından belirtilen yöntemle yapıldı. Tohumlar, Acemi ve Özen [1] tarafından *S. vomeracea* için uyarıldığı şekliyle Jevšnik ve Luthar'ın [7] yöntemini takiben dezenfekte edildi. Buna göre, tohumlar 1 mg olarak tartıldıktan sonra yuvarlak tabanlı santrifüj tüplerine yerleştirildi. Tohumlar 30 sn boyunca %70 EtOH ve 8 dk boyunca %1 NaOCl ile muamele edildikten sonra tüpler 1 dk boyunca 2000×g'de santrifüjlendi. Üst fazda kalan tohum kabukları ve köpük pipetle toplandıktan sonra tohumlar 3 defa steril dH₂O ile durulandı.

2.2. Besiyerinin hazırlanması ve tohumların ekimi

Deneylerde üç konsantrasyonda (10, 30 ve 50 g L⁻¹) HCS ile takviye edilmiş Knudson C (KN) besiyeri [8], kullanıldı. Kullanılan HCS yerel marketlerden satın alınan *C. nucifera* meyvelerinden doğrudan elde edildi. HCS tohumlarla aynı çevre koşullarında tutuldu. HCS içermeyen KN ortamı kontrol olarak kullanıldı. HCS'nin tohum çimlenmesi ve protokom oluşumu üzerindeki etkileri besiyerinde hem sükröz varlığında (BAN + Sükröz) hem de yokluğunda (BAN - Sükröz) test edildi. Protokorm gelişimi için en iyi sonuçları veren birleşim seçildi ve daha sonraki deneylerde kullanıldı. Sükröz kullanılan durumlarda besiyeri 20 g L⁻¹ sukroz ile desteklendi. Besiyeri 3,5 g L⁻¹ phytigel ile katılaştırıldı ve otoklavlamadan önce pH'sı 5,6'ya ayarlandı. Dezenfekte edilen tohumların üzerine 200 µl steril dH₂O eklenerek tohumlar pipet yardımıyla Petri kaplarındaki besiyerlerine aktarıldı. İnkübasyon periyodunun sonunda gelişen protokormlar aynı ortamı içeren kültür kaplarına aktarıldı. Kültürler 16/8 saatlik bir fotoperiyod ile 60 µmol m⁻² s⁻¹ fotosentetik foton akı yoğunluğundaki aydınlatma altında 23±1 °C sıcaklıkta inkübe edildi. Kültürlerde yoğun kararma gözlemlendiğinde besiyeri yenilendi.

2.3. Verilerin toplanması ve istatistiksel analiz

Tohum çimlenme oranı inkübasyon döneminin 45. gününün sonunda hesaplanırken, 90. gününden sonra ise protokorm gelişimi değerlendirildi. Organ gelişim parametreleri protokormların kültür kaplarına aktarılmasından sonra başlatılan inkübasyon süresinin 180. günü sonunda ölçüldü. Tohumlar, Yamazaki ve Miyoshi [9] tarafından belirtilen şekilde altı farklı çimlenme evresinde sayıldı ve sınıflandırıldı (Tablo 1).

Tablo 1. Yamazaki ve Miyoshi [9]'ye göre tohum çimlenme safhaları

Çimlenme Evreleri	Belirteçler
Evre 0	Çimlenme yok. Embriyo büyümesi gözlemlenmez.
Evre 1	Ön çimlenme safhası. Embriyo tohum kabuğunu enine doldurur.
Evre 2	Çimlenme safhası. Embriyo tohum kabuğundan çıkıntı yapar.
Evre 3	Protokorm safhası. Embriyo tohum kabuğundan kurtulur.
Evre 4	Rizoit safhası. Protokorm yüzeyinde rizoitler görülür.
Evre 5	Sürgün safhası. Protokormdan sürgün farklılaşır.

Çimlenme yüzdeleri, aşağıdaki formül (1) kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Çimlenme (\%)} = \frac{\Sigma \text{Tohum sayısı (Evre 2-5)} \times 100}{\Sigma \text{Tohum sayısı (Evre 0-5)}} \quad (1)$$

Tartılan 1 mg *S. vomeracea* tohumunda yaklaşık 180-200 ayrı tohum bulunmaktadır. Her bir kültür kabında 5 protokorm kültüre alındı ve her tekrarda 3 kültür kabı kullanıldı. Her deney üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi. Veriler "ortalama \pm standart sapma (SS)" olarak verildi. Ortalamalar Duncan veya Tukey çoklu karşılaştırma testleri kullanılarak $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde karşılaştırıldı. İstatistiksel analiz için IBM SPSS Statistics 22 yazılımı kullanıldı.

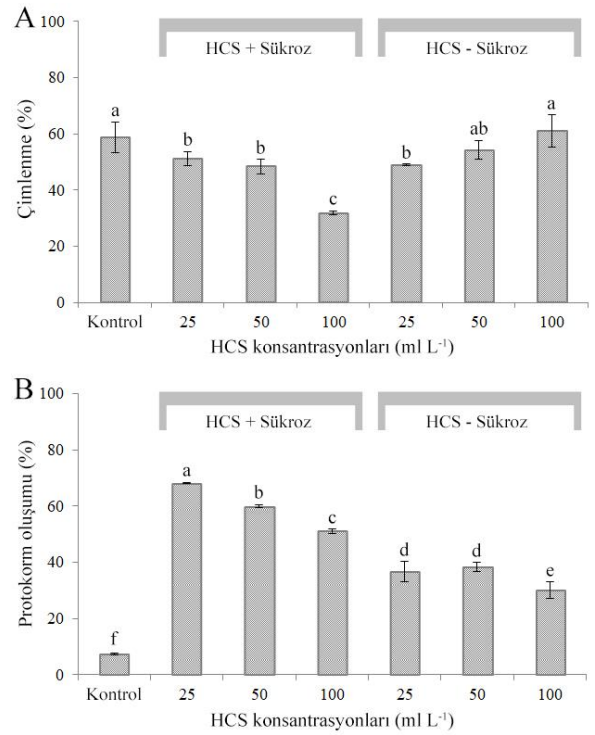
3. Bulgular ve Tartışma

Uygulanan TTC testi sonunda *S. vomeracea* tohumlarına ait canlılık oranı %54,67 \pm 4,16 oranında bulundu. İnkübasyon süresinin sonunda ise tohum çimlenme oranı kontrol ortamından %58,77 \pm 5,51 olarak kaydedildi. Artan HCS konsantrasyonlarının ortamdaki sükröz varlığında tohum çimlenme oranını kademeli olarak azalttığı belirlendi (Şekil 1A). Sükröz yokluğunda ise çimlenme oranında artan HCS konsantrasyonlarıyla birlikte kademeli bir artış görüldü dahi ulaşılan en yüksek çimlenme oranının kontrolden istatistiki olarak farklı olmadığı belirlendi. Besiyerinde eşzamanlı olarak sükröz ve HCS mevcudiyeti kontrol grubuna oranla protokorm oluşumunu çarpıcı şekilde artırdığı bulundu (Şekil 1B).

Bununla birlikte sükröz ortamdaki çıkarıldığında protokorm oluşum oranı kontrol grubundan yüksek bulunsada dahi kademeli olarak azaldı. Denenen HCS uygulamalarının protokorm oluşumunu kontrole kıyasla 4 ila 8 kat arasında artırdığı kaydedildi. En yüksek protokorm oluşum oranları HCS ve sükröz ilaveli besiyerinde gözlemlendi için sonraki deneylere bu ortamla devam edildi.

Besiyerinde HCS ve sükrözün eşzamanlı varlığında çimlenme oranının artan HCS konsantrasyonlarıyla birlikte azalmasının nedeni besiyerinin osmotik potansiyelinin düşmesine bağlı olarak tohumların su alımının sınırlanması olabilir [10]. Nitekim besiyerinin osmotik potansiyeli üzerine etkili olan sükrözün ortamdaki çıkarıldığında tohum çimlenme oranının artmaya başlaması bu çıkarımı doğrulamaktadır. Bitki doku kültüründe kullanılan farklı karbon kaynaklarının bitki hücrelerini, doku ve organ gelişimini çeşitli şekillerde etkilediği gösterilmiştir [11]. Bitki doku kültüründe sükröz, mannitol, fruktoz glukoz, maltoz ve laktöz gibi mevcut olan alternatiflerin arasında birincil karbon kaynağı olarak kabul edilmiştir [12]. Bununla birlikte bu çalışmadaki çimlenme sonuçları,

HCS'nin yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığında *S. vomeracea* tohumlarının çimlendirilmesinde sükröz yerine kullanılabilir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Sükröz varlığında HCS uygulamalarından sonra azalan protokorm oluşum oranları, HCS ve sükrözün birlikte besiyerinin osmotik potansiyelini azaltabileceğini ve bunun su ve besin alımını sınırlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bazı çalışmalarda sükrözün bitki hücrelerinde hipoksi ve etanol birikmesine neden olmasından dolayı tamamen veya kısmen başka bir karbon kaynağı ile değiştirildiği rapor edilmiştir [13]. Çimlenme ve protokorm oluşumundaki birbirinin karşıtı olan bulgular ve tartışmalar bitkinin her gelişim aşamasında beslenme ve fizyolojik ihtiyaçlarındaki değişiklikleri işaret etmektedir. Bektaş ve Sökmen [14] *S. vomeracea*'da sükröz ilavesiz KN besiyerinden protokorm oluşum oranını %52,22 \pm 2,9 olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise sükröz ilavesiz KN kültür ortamına 25 ml L⁻¹ HCS ilavesinin *S. vomeracea*'da %60'ın üzerinde protokorm oluşum oranları verebileceğini gösterilmiştir.



Şekil 1. Hindistan cevizi suyunun *Serapias vomeracea*'de tohum çimlenme (A) ve protokorm oluşum oranlarına (B) etkisi. Veriler ortalama \pm SS'yi temsil etmektedir. Aynı üst karakterlere sahip olan ortalamalar arasında Duncan çoklu aralık testine göre önemli ölçüde fark yoktur ($p < 0.05$).

Çalışmadan elde edilen veriler incelendiğinde kontrole kıyasla sürgün uzunluğunun besiyerindeki HCS konsantrasyonuna paralel şekilde arttığı gözlemlendi. *S. vomeracea*'de organ gelişimi üzerine HCS uygulamalarının konsantrasyona bağlı etkileri Şekil 2'de gösterilmektedir. Buna rağmen 25 ve 50 ml L⁻¹ HCS içeren

besiyerlerinden alınan sonuçlar arasında istatistiki fark bulunmadı (Şekil 3A). HCS uygulamalarının konsantrasyondan bağımsız olarak *S. vomeracea*'de kök gelişimi üzerine olumsuz etki yaptığı bulundu.

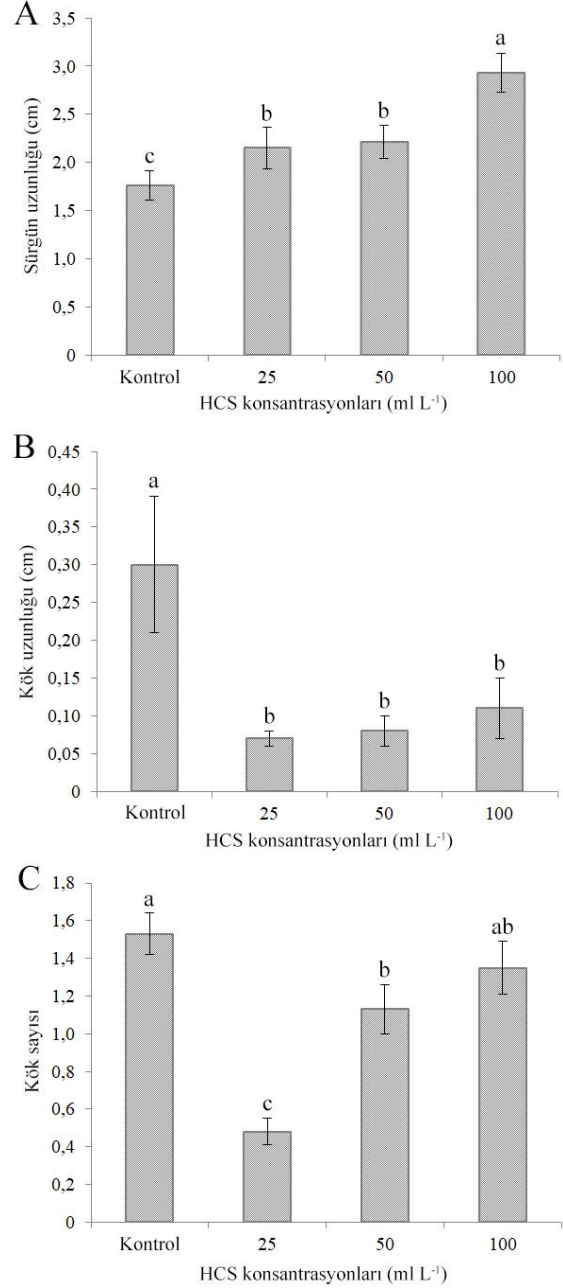


Şekil 2. Hindistan cevizi suyunun *Serapias vomeracea*'de *in vitro* bitki gelişimi üzerine konsantrasyona bağlı etkileri. Kontrol (A), soldan sağa doğru “25, 50 ve 100 ml L⁻¹” Hindistan cevizi suyu uygulamaları (B). Ölçek çubukları her şekil için 1 cm uzunluğu temsil etmektedir.

Ortalama kök uzunlukları kontrole oranla 3 ila 4 kat arası azalırken uygulanan HCS konsantrasyonları sonucunda alınan sonuçlar arasında istatistiki fark bulunmadı (Şekil 3B). Bununla birlikte artan HCS konsantrasyonları ortalama kök uzunluğu üzerinde oldukça sınırlı bir olumlu etki gösterdi. Ortalama kök sayısının uygulanan en düşük HCS konsantrasyonu ile birlikte çarpıcı şekilde azaldığı ve artan HCS konsantrasyonlarıyla birlikte yükseldiği bulundu. Buna rağmen ortalama kök sayısının kullanılan en yüksek HCS konsantrasyonunda dahi kontrol grubundan elde edilen değere ulaşamadığı kaydedildi (Şekil 3C).

Hindistan cevizi suyu, sitokin olarak işlev gören difenil üre dâhil büyümeyi ve hücre bölünmesini teşvik eden birçok besinsel ve/veya hormonal madde içerir [15]. *Dendrobium lasianthera* kültürlerinde Vacin & Went [16] besiyerine %15 (v:v) oranında HCS eklenmiş ve bunun sürgün, kök ve yaprak gelişimini artırdığı bildirilmiştir [6]. Çeşitli *Phalaenopsis* [17] ve *Calathea* [18] hibritlerinde ayrıca bazı süs bitkilerinde de [19] HCS'nin sürgün gelişimi ve bitki rejenerasyonunu artırdığı rapor edilmiştir. *S. vomeracea* kültürlerinde ise HCS kullanımının etkilerine ait daha önce bildirilmiş bir veri bulunmamaktadır. Tropik orkidelerde *in vitro* bitki kök ve sürgün uzamasının sağlandığı, tohumların çimlendirilmesi sonrasında kullanılan besiyerlerinde HCS yaygın olarak

kullanılmaktadır [20]. Bunun nedeninin HCS'nin yüksek nitrojen ve zeatin içeriğinden kaynaklandığı öne sürülmüş ve bu bilginin teyit edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [21]. *S. vomeracea* üzerinde yapılan bu çalışmada ise besiyerinde sükröz yerine kullanılan HCS'nin bitkinin gelişimi için ihtiyaç duyduğu karbon kaynağı olarak yetersiz kaldığını göstermektedir.



Şekil 3. Hindistan cevizi suyunun *Serapias vomeracea*'de sürgün uzunluğu (A), kök uzunluğu (B) ve kök sayısı (C) üzerine etkileri. Veriler ortalama±SS'yi temsil etmektedir. Aynı üst karakterlere sahip olan ortalamalar arasında Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre önemli ölçüde fark yoktur ($p < 0.05$).

4. Sonuçlar

Sonuç olarak *S. vomeracea* tohumlarının *in vitro* asimbiyotik çimlendirilmesinde sükröz yerine HCS'nin kullanılabilceği gösterilmiştir. Ayrıca *S. vomeracea*'nin *in vitro* gelişiminde protokorm oluşumu ve sonraki organogenez aşamalarında ise HCS'nin besiyerinde ancak 100 ml L⁻¹'den daha yüksek bir konsantrasyonda veya sükröz ile birlikte daha düşük konsantrasyonlarda kullanılması halinde olumlu etkiler göstereceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Acemi A., Özen F., 2019. Optimization of *in vitro* asymbiotic seed germination protocol for *Serapias vomeracea*. The EuroBiotech Journal **3(3)**, 143–151.
- [2] Acemi A., Çobanoğlu Ö., Türker-Kaya S., 2019. FTIR-based comparative analysis of glucomannan contents in some tuberous orchids, and effects of pre-processing on glucomannan measurement. Journal of the Science of Food and Agriculture **99(7)**, 3681–3686.
- [3] Molnár Z., Virág E., Ördög V., 2011. Natural substances in tissue culture media of higher plants. Acta Biologica Szegediensis **55(1)**, 123–127.
- [4] George E.F., Hall M.A., De Klerk G.J., 2008. Plant Propagation by Tissue Culture 3rd ed. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- [5] Parthibh S., Rao M.V., Kumar T.S., 2015. *In vitro* regeneration from protocorms in *Dendrobium aqueum* Lindley – An imperiled orchid. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology **13(2)**, 227–233.
- [6] Utami E.S.W., Hariyanto S., Manuhara Y.S.W., 2017. *In vitro* propagation of the endangered medicinal orchid, *Dendrobium lasianthera* J.J.Sm through mature seed culture. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine **7(5)**, 406–410.
- [7] Jevšnik T., Luthar Z., 2015. Successful disinfection protocol for orchid seeds and influence of gelling agent on germination and growth. Acta Agriculturae Slovenica **105**, 95–102.
- [8] Knudson L., 1946. A new nutrient solution for germination of orchid seed. American Orchid Society Bulletin **15**, 214–217.
- [9] Yamazaki J., Miyoshi K., 2006. *In vitro* asymbiotic germination of immature seed and formation of protocorm by *Cephalanthera falcata* (Orchidaceae). Annals of Botany **98**, 1197–1206.
- [10] Borowitzka L.J., 1985. Glycerol and Other Carbohydrate Osmotic Effectors. In: Gilles R., Gilles-Baillien M. (eds) Transport Processes, Iono- and Osmoregulation. Proceedings in Life Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg
- [11] Roycewicz P., Malamy J.E., 2012. Dissecting the effects of nitrate, sucrose and osmotic potential on Arabidopsis root and shoot system growth in laboratory assays. Philosophical Transactions of the Royal Society B **367**: 1489–1500.
- [12] Neto V.B.P., Otoni W.C., 2003. Carbon sources and their osmotic potential in plant tissue culture: does it matter? Scientia Horticulturae **97**: 193–202.
- [13] Yaseen M., Ahmad T., Sablok G., Standardi A., Hafiz I.A., 2013. Review: role of carbon sources for *in vitro* plant growth and development. Molecular Biology Reports **40**: 2837–2849.
- [14] Bektaş E., Sökmen A., 2016. *In vitro* seed germination, plantlet growth, tuberization, and synthetic seed production of *Serapias vomeracea* (Burm.f) Briq. Turkish Journal of Botany **40(6)**: 584–594.
- [15] Teixeira da silva J.A., Chan M.T., Sanjaya Chai M.L., Tanaka M., 2006. Priming abiotic factors for optimal hybrid *Cymbidium* (Orchidaceae) PLB and callus induction, plantlet formation, and their subsequent cytogenetic stability analysis. Scientia Horticulturae **109**: 368–378.
- [16] Vacin E, Went F.W., 1949. Some pH changes in nutrient solutions. Botanical Gazette **110**: 605–613.
- [17] Zahara M., Datta A., Boonkorkaew P., Mishra A. 2017. The Effects of different media, sucrose concentrations and natural additives on plantlet growth of *Phalaenopsis* Hybrid 'Pink'. Brazilian Archives of Biology and Technology **60**: e17160149.
- [18] Baque A., Shin Y-K., Elshmary T., Lee E-J., Paek K-Y., 2011. Effect of light quality, sucrose and coconut water concentration on the microporpagation of *Calanthe* hybrids ('Bukduseong' × 'Hyesung' and 'Chunkwang' × 'Hyesung'). Australian Journal of Crop Sciences **5(10)**:1247-1254.
- [19] Agampodi V.A., Jayawardena B. 2009. Effect of coconut water (*Cocos nucifera* L.) water extracts on adventitious root development in vegetative propagation of *Dracaena purple compacta* L. Acta Physiologia Plantarum **31**: 279–284.
- [20] Arditti J., 2008. Micropropagation of orchids, 2 volume set. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing, United Kingdom.
- [21] Yong J.W.H., Ge L., Ng Y.F., Tan S.N., 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. Molecules **14**: 5144–5164.



Paletli Tip Havai Çalışma Platformunun Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tasarımı ve Üretimi

Investigation Of The General Construction Design Of The Working Platform With Pallet High At The Static Loads

Özcan ÜRGÜN^{1,*} , Ersin Asım GÜVEN² , Hayrettin GÖRGEN³ , Satılmış ÜRGÜN⁴ 

¹ Paktaş Platform Kaldırma ve Taşıma Makineleri Tic. San. A.Ş. Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-1475-7453

² Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0153-6774

³ Paktaş Platform Kaldırma ve Taşıma Makineleri Tic. San. A.Ş. Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3140-3078

⁴ Havaçılık Bilimi ve Teknolojileri ABD, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3889-6909

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 14/09/2019

Kabul Tarihi : 21/09/2019

Anahtar Kelimeler

Yükseltilebilir Seyyar İş Platformu (YSİP)
Paletli Platform
Statik Analiz
Sonlu Elemanlar Yöntemi

Özet

Teknolojinin ve inşaat sektörünün geliştiği, kapalı alanlarda yaşamın hızla arttığı günümüzde insanların yüksekte çalışma ihtiyaçları daha da artmıştır. Hem kapalı hem de açık alanlarda yüksekte çalışabilmek için ihtiyaç duyulan makinelerin çeşitli özelliklerde olması da önem arz etmektedir. Havai çalışma platformları temel olarak ulaşılamayan bölgelere geçici olarak erişim sağlayan taşıma araçlarıdır ve özellikle bir yükü kaldırmak veya ulaşılamayan yüksekliklerde çalışma olanakları sağlamak için kullanılmaktadır.

Havai platformların çalışma mekanizmaları ve yapısal özellikleri gereği belirli bir denge yapısına sahip olmaları gerekmektedir. Bu sebeple platformlarda özellikle kaldırma gruplarının optimum olarak tasarlanması önem arz etmektedir. Hafif ve belirli bir dayanıma sahip konstrüksiyonların tasarlanması için sonlu elemanlar yöntemi gibi hesaplama metotları ile statik veya dinamik analizler yapılması kesit optimizasyonu ve uygun malzeme seçimi en uygun tasarımı yapmak adına ciddi fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmada, TS EN 280 + A1 standardına uygun Paletli Tip Teleskobik Çalışma Platformunun tasarımı yapılmıştır. Belirli çalışma koşulları göz önünde bulundurulup statik yükler altında Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak gerilme analizleri yapılmış ve bu doğrultuda kesit optimizasyonları gerçekleştirilerek en uygun malzeme seçimi yapılmıştır.

Research Paper

Received Date : 14/09/2019

Accepted Date : 21/09/2019

Keywords

Upgradeable Mobile Work Platform (UMWP)
Tracked Platform
Static Analysis
Finite Element Method

Abstract

Today, where technology and construction sector develops and life in indoor areas increases rapidly, the need for working at height has increased. It is also important that the machines required for working at height both in indoor and outdoor areas have various features. Aerial work platforms are basically means of transportation that temporarily provide access to inaccessible areas and are particularly used to lift a load or provide operation at unreachable heights.

Aerial platforms must have a certain balance structure due to their working mechanisms and structural features. For this reason, it is important to design the lifting groups optimally on the platforms. Static or dynamic analysis by means of calculation methods such as finite element method for designing light and certain strength constructions provides significant benefit in order to make optimal design of section optimization and appropriate material selection.

In this study, the design of the Track Type Telescopic Work Platform complying with TS EN 280 + A1 standard has been designed. Stress analyzes were carried out by using the Finite Element Method under static loads considering the specific working conditions and the most suitable material selection was made by performing cross-section optimizations in this direction.

1. Giriş

Üzerinde kurma, tamirat, muayene veya bunlara benzer işlerin gerçekleştirilebildiği ve istenilen çalışma konumuna yüklü olarak da hareket edebilen korkuluklu veya kafesli

platformlara iş platformları denmektedir. Havai çalışma platformları ise kumanda edilebilen; bir iş platformu, bir uzantı yapısı ve bir şasiden oluşan araçlara denir. Şasi üzerinde ya da zemin seviyesinde bulunan, sadece erişim konumlarındaki kişilerin iş platformuna binmesi ve inmesi planlanan, işlerini üzerinde durarak gerçekleştirdiği

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ozcanurgun@gmail.com



çalışma konumlarına kişilerin taşınması amaçlanan seyyar makinelerdir[1].

Başlangıcı 1940'lı yıllara giden sonlu elemanlar yöntemi değişik disiplinlerdeki, genellikle analitik yöntemlerle çözülemeyen karmaşık birçok fizik ve mühendislik problemlerinin çözümü için geliştirilmiş sayısal bir yöntemdir.

Üretim firmaları, büyük tasarım ofisleri ve AR-GE merkezleri genellikle kendi bünyelerinde geliştirdikleri sonlu eleman yazılımlarını ya da ticari amaçlı geliştirilmiş genel amaçlı sonlu eleman yöntemleri (SEY) tabanlı yazılımlar kullanmaktadırlar. Mühendislik bakış açısından SEY; gerilme analizi, ısı iletimi, akışkan akımı ve elektromanyetik gibi mühendislik problemlerini bilgisayar simülasyonu ile çözmek için kullanılan bir yöntemdir[2].

Yuan ve ark. (2009), mobil hidrolik iş platformların gelişmiş kontrol şeması yoluyla verimliliği ve havai çalışma platformu güvenliğini giderme konusunda çalışmıştır. Sistemin kontrolü için bir kapalı döngü oluşturulmuştur[3].

Hu ve ark.(2010), yaptıkları çalışmada araç üstü eklemli platformun çalışma esnasında dengelemeyi etkileyen unsurlardan biri olan titreşim üzerinde durmuşlardır. Sistemin denklemlerini cisim dinamiği teorisi ve Lagrange denklemi yardımı ile elde etmişler; ardından sistemin simülasyonunu yapmışlardır[4].

Hongxia ve ark. (2012), mobil hidrolik iş platformlarının sepet uzvunda genellikle insanların çalıştığı için sepet uzvunun yatayla dengeleme hareketini oldukça hassas ve titreşimsiz olması için çalışmalarda bulunmuşlardır[5].

Dengiz ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, 500 kg yükü 2 m yüksekliğe kaldıran makaslı bir kaldırma sisteminin tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilmiştir[6].

Bu çalışmada, TÜBİTAK TEYDEB projesi kapsamında desteklenen ve Türkiye'de üretimi ilk kez tasarımı yapılan Paletli Yürüyüşlü Teleskopik Platform detaylıca şekilde anlatılmış ve analiz edilmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde detaylı literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümünde havai platformun genel konstrüksiyonu incelenmiştir. Üçüncü bölümde sepet, 5.bom, kule ve şasi gruplarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmıştır. Son olarak ise sonuçlar bölümünde ortaya çıkan bulgular paylaşılmıştır.

2. Üretilen Havai Platformun Genel Konstrüksiyonu

Şekil 1 de tasarımı yapılan paletli tip havai çalışma platformu gösterilmektedir. Paletli tip havai platformlar sahip oldukları kauçuk yürüyüş paletleri ve egzoz

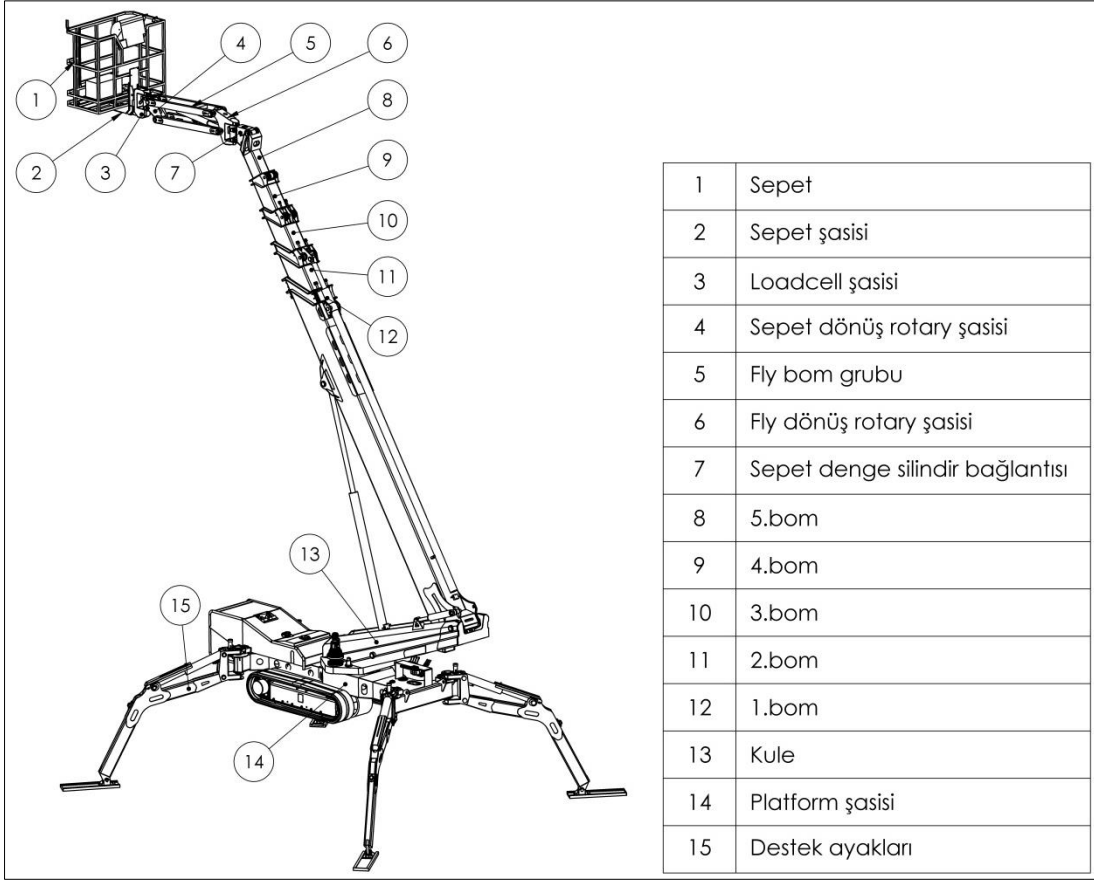
salınımına sebep olmayan elektrik motorları sayesinde AVM, Havalimanları, Hastane ve Spor Salonları gibi kapalı alanlarda özellikle tercih edilmektedirler. Üretimi yapılmış olan platform teleskobik bom yapısı sayesinde farklı kesit ve et kalınlığı bulunan 5 adet bom ile 30m çalışma yüksekliği, 14m yanal mesafeye erişebilmektedir. Bu çalışma sınırları içerisinde 200kg sepet kapasitesi bulunmaktadır. Platform devrilmesine sebep olabilecek yanal kuvvetlerin ve yapısal yüklerin istenilen sınırlar içerisinde kalabilmesi amacıyla çeşitli uzunluk, aç, mekanik siviç ve yük sensörleri ile donatılmıştır. Birbirinden bağımsız olarak çalışan örümcek ayak yapısı ve otomatik dengeleme özellikleri, farklı eğimlerde ve farklı yüksekliklerdeki zeminlerde platformun kurulmasına olanak sağlamaktadır.

Platformda yanal yüklerin ve toplam kütleinin azaltılması amacıyla sepet ve fly bom grubu tamamen yüksek kalite Alüminyum malzemeden tasarlanarak üretilmiştir. Platformun hassas zeminlerde destek ayakları üzerinde kurulması gerektiği durumlarda özel olarak tasarlanan teflon tabanlıkları sayesinde basınç alanı artırılarak zeminde oluşturulan basınç azaltılmıştır.

3. Üretilen Havai Platformun Statik Yükler Altında Gerilme Analizi

Bu çalışmada Solidworks katı çizim programında tasarımı yapılan Paletli Teleskobik Platformun statik yükler altında analizleri yapılacaktır. Şekil 1 de görülen konstrüksiyon genel olarak ele alındığında 15 farklı yapının montajlanması ile elde edilmiş olup, bu çalışmada sepet ve fly grubu, beşinci bom, kule ve şasi analizleri yapılmıştır. Platform tasarımında en önemli husus belirlenen emniyet katsayısının sınırları içerisinde kalarak en hafif konstrüktif yapının elde edilmesidir. Yapılacak olan analizler sonucunda her bir grup analiz için 2 farklı görsel sunulacaktır. Sunulacak olan görsellerden biri yapılan analiz çalışmasında gerilmenin yoğunlaştığı bölgeleri renk farkı ile gösterecek, diğer görsel ise maksimum gerilmenin olduğu hacimlerin daha net görülmesini ve anlaşılmasını sağlayacaktır. Genel yapı ve gerilme özelliklerinin bulunacağı bir tablo da her çalışma sonrasında oluşturulacaktır.

Sonlu elemanlar yönteminde yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen düğüm noktalarında tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler düğüm noktalarındaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır[7].

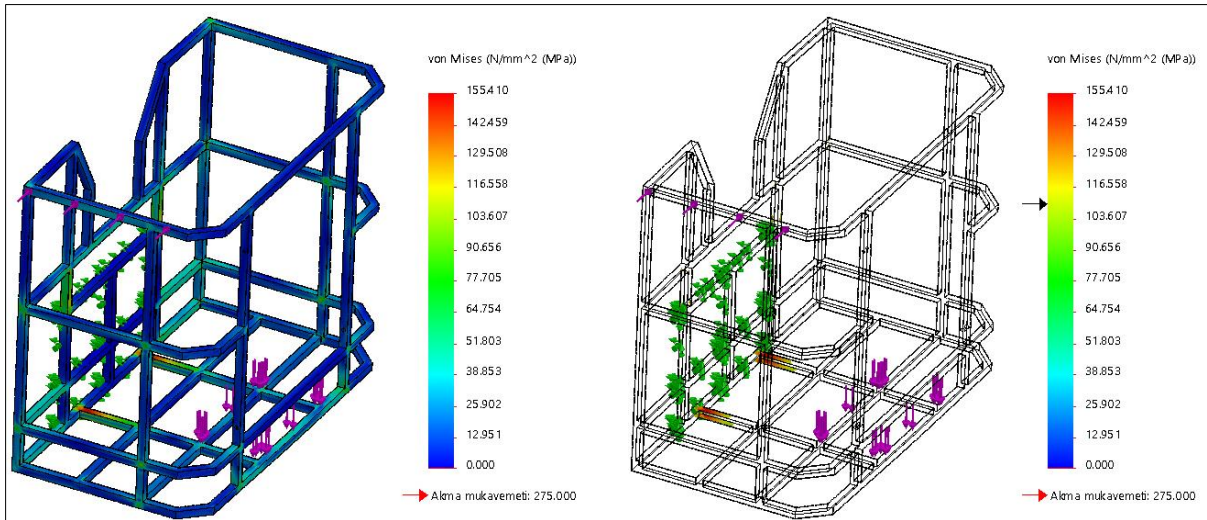


Şekil 1. Tasarlanan havai platformun genel konstrüksiyonu

SEA programları fiziksel modelin CAD sunumunu kullanmaktadır. Program bu parçayı alt parçalara ayırır bunlar sonlu eleman olarak adlandırılır. Alt parçalara ayırma işlemine mesh ağlara bölme denmektedir. Daha iyi ağ (daha çok eleman) fiziksel modelin matematik olarak daha iyi ifade edilmesi demektir. Bir elemanın birincil amacı iki nodu yayla birbirine bağlamaktır. Eleman tipi problemin tipine göre değişmektedir[8].

Şekil 2 de görülen çalışma sepetinin 40N yanal ve

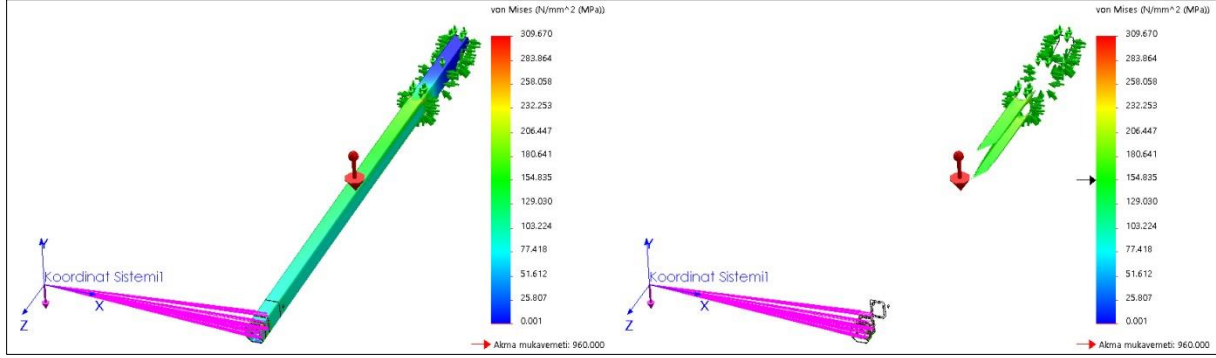
3000N yapısal kuvvet altında analizi yapılmış ve ortalama maksimum gerilme 154 MPa olarak bulunmuştur. Kullanılan 6061 – T6 serisi özel Alüminyum malzemenin 275 MPa akma değeri bulunmakta ve bu doğrultuda tasarımı yapılan sepetin 1.7 kat emniyetli olduğu görülmektedir. Alüminyum malzeme kullanılması çelik konstrüksiyon ile kıyaslandığında platforma ciddi bir hafiflik sağlamıştır.



Şekil 2. Sepet gerilme analizi

Şekil 3 de beşinci bomun analiz sonuçları gösterilmiştir. Bu bom fly bom grubunun dönüş hareketi yapabilmesi özelliğinden dolayı hem eğilme hem de burulma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Statik olarak analizi yapılan bom 400N yanal, 5000N ise burmaya çalışılan kuvvete maruz kalmış, yapılan analiz neticesinde

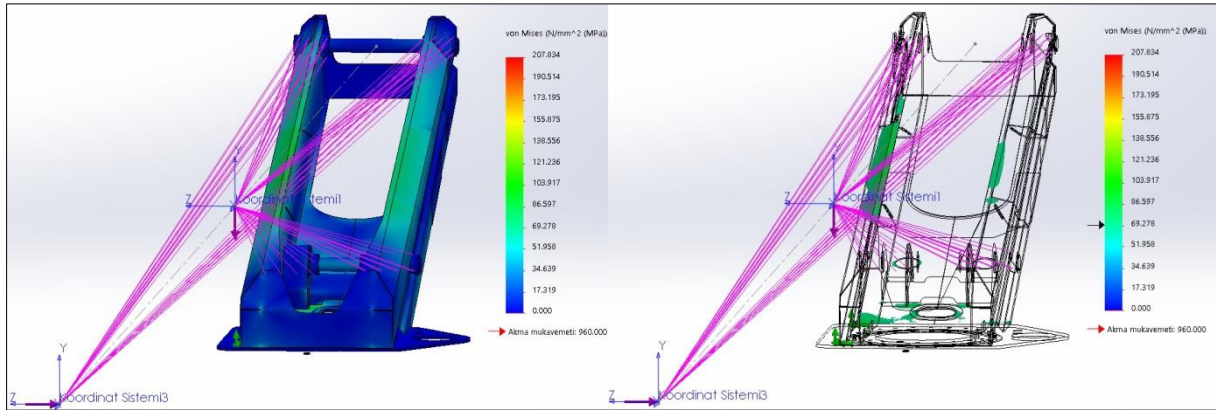
ortalama maksimum gerilme değeri 310 MPa olarak bulunmuştur. Bom grubunda hafifliğin önem arz etmesi sebebiyle akma mukavemeti 960 MPa olan özel alaşımlı çelik kullanılmış ve yaklaşık olarak 3 kat emniyetli olarak üretilmiştir.



Şekil 3. 5.bom gerilme analizi

Şekil 4 de görülen, bom ve sepet grubunun yatakladığı kule, bağlantı mafsallarından toplamda 2200N üst grup yüküne ve 400N yanal kuvvete maruz kalmaktadır. Bu yükler altında analizleri tamamlanan kulede hesaplar neticesinde maksimum 208MPa gerilme bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda 690MPa akma mukavemeti değeri bulunan özel alaşımlı sac kullanılmış ve emniyet katsayısı yaklaşık 3.3 olarak üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Kule gerilme analizi

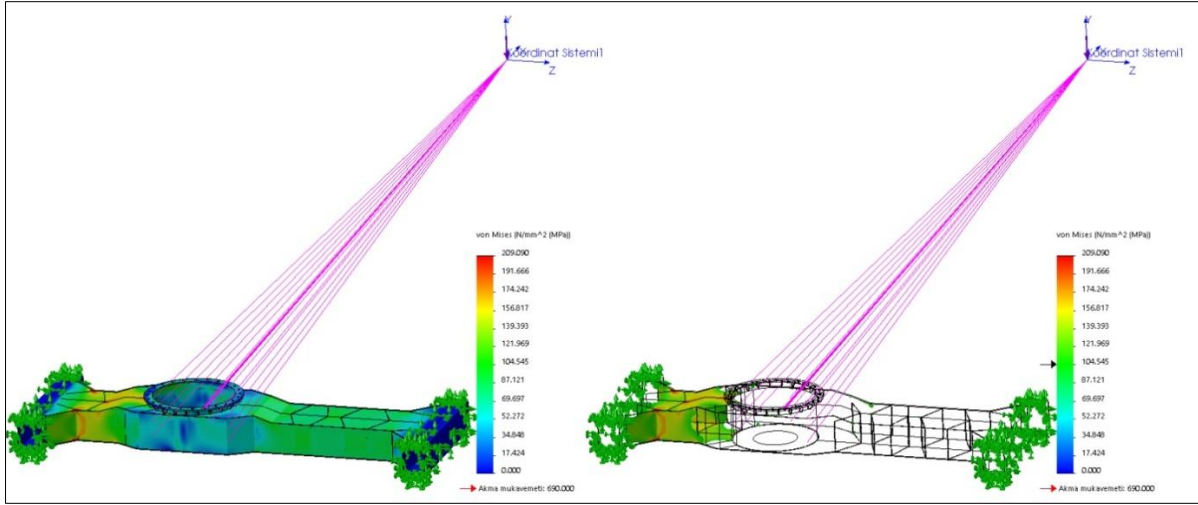
Şekil 5 de görülen üzerine 4 adet destek ayağı bağlanan ve platformun bütün yükünün uygulandığı şasi platformun özellikle yanal hareketlerinde ciddi bir burulma kuvvetine maruz kalmaktadır. Toplamda 2500N yanal kuvvete maruz kalan şaside yapılan hesaplamalar neticesinde maksimum 210 MPa gerilme bulunmaktadır. Şasinin platformun çalışması esnasında sepet yükünün karşısında dengeleyici kuvvet olarak da kullanılması sebebiyle hafifletmek amaçlı özel bir çalışma yapılmamış ve platformun denge hesapları göz önünde bulundurularak optimum tasarım yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde 690 MPa akma mukavemeti bulunan sac kullanılmış ve emniyet katsayısı yaklaşık 3.3 olarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada TÜBİTAK – TEYDEB 1501 projesi kapsamında geliştirilen Paletli Tip Teleskobik Platformun tasarımı, analiz çalışmaları ve üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Proje kapsamında tamamı analiz edilen platformun yalnızca sepet, 5.bom, kule ve şasi analizleri verilmiştir. Yapılan analizlerde Solidworks yazılımının Sonlu Elemanlar Analiz modülü kullanılmıştır. Gerilme analizleri neticesinde platformda genel olarak üst ve yukardaki elemanlarda (sepet, bomlar vb) hafif ve mukavemetli bir yapı elde etmek için (alüminyum gibi) kesit optimizasyonu yapılmıştır. Üretilen prototip üzerinde yürüme, kaldırma vb deneme ve test çalışmaları yapılmış

ve yapılan analizlerin doğruluğu kanıtlanmıştır. İlerleyen çalışmalarda platformun dinamik analizleri ve tasarım

doğrulama amaçlı gerinme pulu (strain gage) ile gerinme ölçümleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 5. Şasi gerime analizi



Şekil 6. Nihai ürün görseli

Kaynaklar

- [1] TS EN 280 + A1, 2015, Yükseltilebilen seygar iş platformları – Tasarım hesapları – Denge kriterleri – Yapım – Güvenlik – Muayene ve deneyler.
- [2] Fish J., Belytschko T., 2017. A First Course İn Finite Elements
- [3] QingHui Y., Jae L., Dam 2009. Motion Control of an Aerial Work Platform. 2009 American Control Conference, (2873-2878). St. Louis.
- [4] Hu. H., Li. E., Zhao. X., Liang Z., & Yu W., 2010. Modeling and Simulation of Folding-Boom Aerial Platform Vehicle Based on the Flexible Multi-body Dynamics. International Conference on Intelligent Control and Information Processing (798-802). Dalian: IEEE.
- [5] Hongxia J., Fumin Z., Vaughan J., 2012. Using Input Shaping to Repress Two-mode Residual Vibration on AerialLifts. 12th International Conference on Control, Automation and Systems (667-671). Jeju Island: IEEE .
- [6] Cengiz Görkem Dengiz., M. C. 2016. Makaslı Kaldırma sistemi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. Uluslararası Malzeme Bilmi ve Teknolojisi Konferansı. Nevşehir: IMSTEC.
- [7] Erdöl T., 2007. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı, Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği. Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Demir, C., Sonlu Elemanlar. Cihan Demir Websitesi (Yıldız Teknik Üniversitesi): http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/sonlu_elemanlar.pdf (Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2019)



Fotovoltaik (PV) - Pompa Güçlü Hidroelektrik Enerji Depolama Sistemleri için Deneysel Bir Performans Karakterizasyonu

Experimental Performance Characterization for Photovoltaic (PV) – Pump Powered Hydroelectric Energy Storage Systems

Özcan ATLAM¹ , Begüm BAY^{2,*} , Gökhan DÜNDAR³ 

¹ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8639-1078

² Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7318-5104

³ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-1028-5161

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 11/12/2019

Kabul Tarihi : 02/03/2020

Anahtar Kelimeler

Hidroelektrik
PV
Sistem Verimi
Yenilenebilir Enerji Depolama

Özet

Bu çalışmada PV(fotovoltaik) pompa hidroelektrik enerji depolama sistemlerinin (PVPHS) performans karakterizasyonları için laboratuvar içi küçük ölçekli bir deney seti hazırlanmıştır. Bu set PV, sabit mıknatıslı fırçasız DC motorlu santrifüj pompa sistemi, farklı basma yükseklik girişlerine imkan veren su haznesi ve depo edilen sudan elektrik enerjisi çevrimi için basit bir sabit mıknatıslı su türbinli jeneratörden oluşmaktadır. Çalışmada sistem elemanlarının performans model ve verim tanımlamaları yapılmaktadır. PV-pompa sistemi için farklı ışınımlarda ve farklı basma yüksekliklerindeki debi performansları, pompanın elektriksel giriş değerlerine göre karakterize edilmektedir. Örneklenen her bir ışınım seviyesine karşılık pompaj veriminin en iyi olduğu kritik bir yükseklik oluşmaktadır. Hidroelektrik depolama için verim değişimleri incelenmektedir. Depolanan sudan hidroelektrik çevrim için farklı düşü yüksekliklerinde performans karakterizasyonu yapılmaktadır. Hidroelektrik enerji çevrim verimi için jeneratör uçlarındaki yük sabit tutularak su türbininin en iyi verimi aldığı kritik bir düşü yüksekliğinin olduğu gözlenmektedir. PV'den pompa motoruna maksimum güç transfer durumu, pompa verimi, seçilecek bir güçteki kritik basma yüksekliği, hidroelektrik sistem için belirli çalışma aralığındaki en uygun su türbin devrinin jeneratöre uygulanacak mekanik güçte etkili olduğu deneysel sonuçlarla tanıtılmaktadır. Çalışma aralığında sistemden elde edilen hidroelektrik güç, doğrusala oldukça yakın azalan eksponansiyel bir karakteristik göstermektedir. Bu çalışmadaki sonuçlar büyük ölçekli PVPHS'lerin performans optimizasyonları bakımından bir referans olabilir.

Research Paper

Received Date : 11/12/2019

Accepted Date : 02/03/2020

Keywords

Hydroelectric
PV
System Efficiency
Renewable Energy Storage

Abstract

In this study, an in-laboratory small scale experimental setup was prepared for performance characterization of PV (photovoltaic) pump hydroelectric energy storage systems (PVPHS). The setup consists of a PV panel, a permanent magnet brushless DC motor run centrifugal pump, a water reservoir with different input heads and DC generator with water turbine. Performance model and efficiency definitions of system elements are derived. For different irradiance conditions and pumping head levels, flow rate values are investigated according to motor electrical inputs. The critical pumping head is observed for a sampled irradiance level in order to maximize hydro storage efficiency. This is important in terms of the efficiency of the PHS, as well as pump efficiency and power transfer cases between PV and pump motor. On the other hand, generated electric power variations are tested at different hydroelectric heads when the generator load is kept. According to hydroelectric test results, there is a critical head at which the hydroelectric conversion efficiency is the highest. For hydroelectric power generation section within the working range, available power shows non-linear decreasing characteristics very close to linear characteristics. The results of this study can be reference in terms of performance optimizations of large-scale PVPHS's.

1. Giriş

Günümüzde, yenilenebilir enerjili elektrik üretim sistemleri, kolay temin edilmeleri, temiz ve sürdürülebilir olmaları nedeniyle güncelliklerini korumaktadır.

Rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerjili elektrik üretim sistemlerine, temiz, doğal ve kolay erişimleri bakımından ilgi artmakta ve bu tür kaynakların kullanımı güncelliğini korumaktadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları doğal olarak kesintili ve değişen güç yoğunluğunda gelmektedir. Bu tür elektrik üretim sistemleri, belirli bir periyotta kararlı

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): begumbay@gmail.com



bir güç üretimi için entegre halde çalışabilecek enerji depolama aygıtlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bataryalar, süper kapasitörler, yakıt pillerinin kullandığı hidrojen depolama, volan, basınçlı hava depolama başlıca depolama aygıtlarıdır [1], [2]. Özellikle yaygın ve ilk akla gelen bataryalar düşünüldüğünde, büyük ölçekli güç sistemleri için enerji depolama aygıtı olarak yüksek kapasiteli ve çok sayıda bataryaya ihtiyaç vardır [3]. Bataryaların kullanım süreleri boyunca şarj, deşarj verimleri düşmekte, üretimlerindeki hammadde temini ve maliyetleri yanında atık problemleri ayrıca zorluk teşkil etmektedir. Alternatif olarak özellikle belirli bir süre aralığında daha büyük ve kararlı bir güç üretimi için, birincil yenilenebilir enerji kaynağıyla çalışan pompalar aracılığıyla uygun bir haznede suya belirli bir potansiyel enerji kazandırılmasına dayanan hidroelektrik enerji depolama, sürdürülebilir bir yöntem olabilir [4]. Kesintili ve değişen güçlü birincil yenilenebilir enerji kaynağının anlık performansına bağlı olarak pompalar belirli bir yükseklikteki hazneye suyu depolar. İstenilen bir güç talebinde su aşağı akıtılarak kazandığı kinetik enerjiyle su türbin/ jeneratörlü hidroelektrik sistem devreye girer. Hidroelektrik eskiden beri bilinen bir enerji çevrim yöntemi olmasına rağmen gerek güç ayarlamasında gerekse istenilen şebeke frekans ve gerilime adapte edilebilmelerindeki esneklik, oldukça işe yarar. Hidroelektrik çıkışındaki su tekrar kaynağına döndürüldüğünde, çevrim yeniden başlar. Hatta yedek su hazneleri ile sürdürülebilirlik daha etkin hale gelebilir. Diğer yandan, nehir yataklarına kurulan bilinen hidroelektrik sistem yapılarının doğal çevrede oluşturabileceği problemler, kıyı bölgelerde doğrudan deniz suyunu kullanan yapay su hazneli hidroelektrik enerji depolama sistemleri ile aşılabılır [5]. Nitekim denizlerdeki dalga ve gelgit enerjili elektrik çevrim sistemleri de suyun anlık kinetik veya potansiyel enerjisini kullanır veya depo eder. Bu bakımdan prensip olarak hidroelektrik çevrimli depolama sistemine benzerlik gösterdiği düşünülebilir. Pompa yolu ile hidroelektrik enerji depolama sistemlerinde rüzgar türbinleri, fotovoltaik güneş panellerini (PV) veya bu tür kaynakların birlikte kullanıldığı hibrit yapılar kullanılabilir. Yenilenebilir birincil kaynak verileri ve sistemin içerdiği ekipmanların çevrim verimlerine göre uygun optimizasyon ve planlama çalışmaları önerilmektedir [6]–[10].

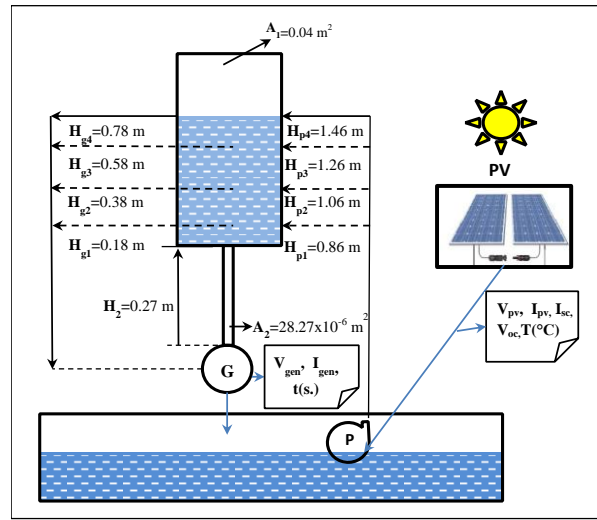
Tipik bir PV pompa hidroelektrik enerji depolama sistemi (PVPHS) için PV 'den başlayan hidroelektrik türbin/jeneratöre kadar, sistem elemanlarının performansları ile ilgili çeşitli parametreler vardır. Her bir alt elemanın performansı böyle bir sistemde çevrim ve depolama veriminde etkili olacaktır. PV kullanıldığı için ışınım enerjisi verileri ve değişen ışınımlardaki sistem performansları en üst düzeyde tutulması amaçlanabilir. Örneğin; hidroelektrik pompa sisteminin yüksekliği ile

depo edilen potansiyel enerji artabilir. Fakat ilgili yüksekliğe su basmak için daha yüksek pompa gücüne de ihtiyaç olacaktır. Böylece öngörülen enerji depolama için, sistem boyutlandırılması değişen geniş bir ışınım aralığındaki performanslar düşünülerek yapılabilir.

Bu çalışmada ise laboratuvar içi örnek deneysel bir set hazırlanarak, PVPHS için bazı performans karakteristikleri incelenerek benzer planlamalarda yardımcı olabilecek çıkarımlar sunulmaktadır. İlgili bölümler aşağıdadır.

2. Deneysel Sistemi

PVPHS'lerin çalışma prensiplerini anlamak ve değişkenlerin (yükseklik, debi, güç, verim vb.) sistem üzerine etkilerini incelemek amacıyla laboratuvar ortamında bir deney seti kurulmuştur. Setin prensip şekli Şekil 1'dedir.



Şekil 1. Deneysel setin prensip şeması

PVPHS sistemlerinin farklı ışınım, farklı su basma yükseklikleri, farklı düşü yüksekliklerine göre performans karakterizasyonları için laboratuvar içi örnek bir set hazırlanmıştır. Bu setin görseli Şekil 2'dedir. Sistem performans model yaklaşımları ölçülen değerlerle uyumludur. Set çok küçük ölçekli ve düşük verimli (iç kayıpları elektrik ve mekanik sürtünme fazla) olmasına rağmen, gerçekte mühendislik uygulamalarında daha yüksek güç kapasiteli ve verimli pompalar, jeneratörler ve türbinlerin kullanılacağı uygulamaların planlanmasında önemli karakterizasyon ve gerekli optimizasyon kriterleri vermektedir.

Deneysel sistemde, uygun bir su rezervuarı farklı yüksekliklerde basılan suyun debi performansını ve farklı yüksekliklerden aşağı akan suyun hidroelektrik sistemdeki performansını araştırmak için kademeli girişler halinde şekillendirilmiştir. PV-pompa hattında suyu pompalamak için 8mm'lik silikon bir boru kullanılmıştır. Güneş ışığını

simüle edecek şekilde ışık şiddeti ayarlanabilen bir halojen lamba ile farklı ışınım şiddetlerinde PV-pompa sistemi çalıştırılabilmektedir. Su rezervuarındaki ölçek belirteçleri ile debi miktarları ve tankın dolma veya bitme süreleri ölçülebilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan ölçü aleti ve sistem elemanlarına ait temel bilgileri Tablo 1’de verilmektedir.



Şekil 2. Deneysel seti görseli

Tablo 1. Sistem elemanlarının teknik verileri

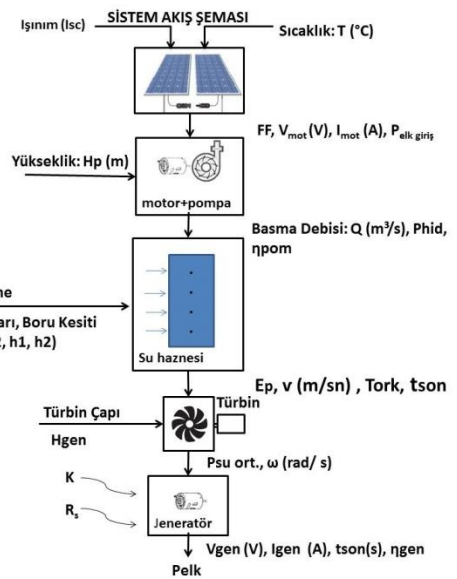
PV Panel	
Panel Adedi	2
Bağlantı Şekli	Paralel
Referans Sıcaklık (T_{ref})(°C)	25 °C
I_{maxpv} (Tek panel için)	0,57 A
V_{maxpv} (Tek panel için)	17,5 V
V_{ocpv} (Tek panel için)	22V
I_{scpv} (Tek panel için)	0,62 A
K_p	18.82
Pompa Motoru	
Nominal Değerler	12 V, 5W, $H_{max}= 300$ cm, $Q_{maxp}= 240$ l/h
Pompa Tipi	Dalgıç Tipi
Pompa Motoru	Fırçasız DC Motor
H_{p1} (suyun basma yüksekliği)	0.86 m
H_{p2} (suyun basma yüksekliği)	1.06 m
H_{p3} (suyun basma yüksekliği)	1.26 m
H_{p4} (suyun basma yüksekliği)	1.46 m

Tablo 1. (Devam) Sistem elemanlarının teknik verileri

Türbin Jeneratörü	
Türbin	Su Tekerli, Yarıçap= 2,5 cm, Derinlik= 15 mm, Genişlik= 15 mm, Kanat Sayısı= 20
R_s	16,8 Ω
K_{gen}	0.0202Nm/A
$\omega=400$ devir/dk için	0,82 V
$\omega=1200$ devir/dk için	2,61 V
H_{g4} (suyun boruya kadar uzunluğu)	0.78 m
H_{g3} (suyun boruya kadar uzunluğu)	0.58 m
H_{g2} (suyun boruya kadar uzunluğu)	0.38 m
H_{g1} (suyun boruya kadar uzunluğu)	0.18 m
H_2 (boru uzunluğu)	0.27
Ölçü Aletleri	
Dijital Multimetre	DC Voltaj: (\pm % 0.8 hassasiyet) DC Akım: (\pm % 1.0 hassasiyet)
Extech AN200 Anemometre ve Kızılötesi Termometre	-10...60°C, 0,1°C çözünürlük, $\pm 3^\circ C$ hassasiyet

3. Modelleme

Sistem performans tanımlamalarında Şekil 3’deki prensip akış diyagramı kullanılmaktadır.



Şekil 3. Sistem akış diyagramı

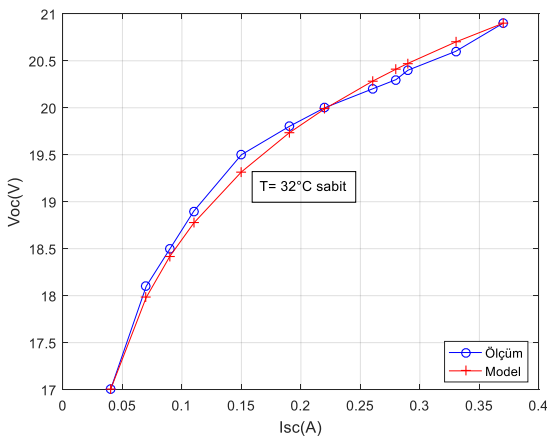
Tipik bir PV'nin elektriksel karakteristikleri ışınım ve sıcaklıkla değişir ve ilgili ışınım için doğrusal olmayan çıkış akım- gerilim karakteristiği gösterir. PV'nin farklı ışınım ve sıcaklıklardaki çıkış akım- gerilim (I-V) modeli için [11]'deki PV model aşamaları çalışmada kullanılan PV modellenmesi için uyarlanmıştır. Buna göre;

$$V_{oc}(I_{sc}, T) = V_{oc}(I_{sc}, T_{ref}) + dvt(T - T_{ref}) \quad (1)$$

$$V_{oc}(I_{sc}, T) = 17 + 1,75 \ln\left(\frac{I_{sc}}{0,04}\right) \quad (2)$$

$$I_{pv} = (I_{sc} - 0,002V_{pv})\left[1 - e^{18,82\left(\frac{V_{pv}}{V_{oc}(I_{sc}, T)} - 1\right)}\right] \quad (3)$$

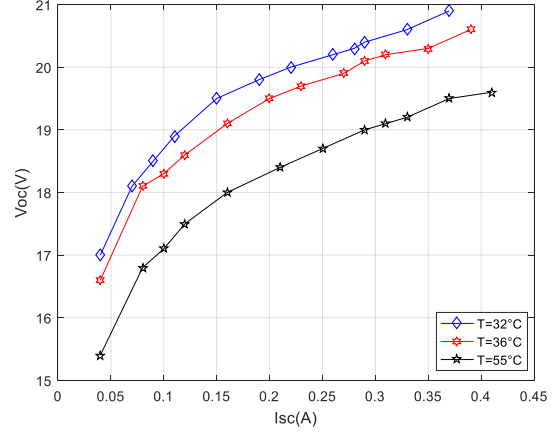
Eş. (1) ve Eş. 2'de T sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), I_{sc} kısa devre akımı (A.), V_{oc} açık devre gerilimi (V.), I_{pv} çıkış akımı (A.), V_{pv} terminal gerilimi (V.), dvt birim sıcaklık değişimi başına gerilimdeki azalma çarpanıdır. Bu çalışmada PV modellenmesinde referans sıcaklık $T_{ref} = 32^{\circ}\text{C}$, $dvt = -0,057$ 'dir. I_{sc} terimi güneş ışınım şiddeti ile doğrusal değişmekte T sıcaklığı ile çok az artış gösterir. Oysa V_{oc} terimi ışınım şiddeti ile (dolayısıyla I_{sc} ile) logaritmik artarken, T sıcaklığı ile doğrusal azalmaktadır. Yapılan çalışmadaki PV çıkış I-V karakteristik profillerinde, ilgili ışınım şartlarında kısa devre bölgesinden akımın devrilme bölgesi arasındaki PV iç direnç yapısı ve kontak dirençleri nedeniyle oluşan eğim için Eş. (3) ile model zenginleştirilmiştir. Şekil 3'te $T=32^{\circ}\text{C}$ 'deki $I_{sc}-V_{oc}$ değişimi deneysel ve model tahmini olarak örnek olarak verilmiştir. Farklı T sıcaklıklarındaki $I_{sc} - V_{oc}$ değişimleri Şekil 4'teki ile benzer karakteristik yapıda fakat daha yüksek sıcaklıklarda daha düşük seviyelerde seyretmektedir. Bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. $T=32^{\circ}\text{C}$ 'deki $I_{sc}-V_{oc}$ değişimi (model ve deneysel)

Sabit mıknatıslı DC motor –merkezkaç pompa mekanik yükü sistemlerinde, pompa mekanik yük torku hızın bir fonksiyonu şeklinde değişir. Bu çalışmada motor pompaya doğrudan bağlantılıdır. Belirli bir elektriksel I akımı ile sağlanan tork değişimlerinde devir logaritmik olarak

değişir. Devir ise, belirli bir pompa pervane yapısı ve basma yüksekliği için boru hat kayıplarının da etkilediği debi ile doğru orantılı olarak kabul edilebilir. Motor-pompa sisteminin sürekli durum tork eşitliği Eş. (4) ile tanımlanabilir.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda ölçülen $I_{sc}-V_{oc}$ karakteristikleri

$$K \cdot I_{mot} = T_0 + b\omega + k_{pom}\omega^n, \quad (n \geq 1) \quad (4)$$

Burada I_{mot} motor akımı (A), $K =$ elektromagnetik tork çarpanı (N.m/A veya V/(rad/s))'dir. T_0 (N.m) ve b (N.m/(rad/s)) sırasıyla statik ve dinamik sistem mekanik sürtünme çarpanları, k_{pom} ise pompa yükü tork çarpanı (N.m/(rad/s) n) ve ω açısal hızdır (rad/s). Diğer yandan Eş. (4)'teki tork ifadeleri kullanılarak motorun herhangi bir koşuldaki giriş I-V ilişkisi Eş. (5) ile tanımlanmaktadır.

$$V_{mot} = I_{mot} \cdot R_a + K \cdot \omega \cong I_{mot} \cdot R_a + K \left[\frac{K \cdot I_{mot}}{k_{pom}} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Su pompa yüklü bir motor Eş. (5)'teki ifadeye göre doğrusal olmayan bir I-V giriş karakteristiğine sahiptir.

$$\begin{aligned} P_{elk.giriş} &= V_{mot} \cdot I_{mot} = I_{mot}^2 \cdot R_a + K \cdot \omega \cdot I_{mot} \\ &= I_{mot}^2 \cdot R_a + \left[T_0 \cdot \omega + b \cdot \omega^2 + k_{pom} \omega^{n+1} \right] \\ &= P_{elk.iç.kayıp} + P_{mek.iç.kayıp} + P_{boru} + P_{hid}. \end{aligned} \quad (6)$$

Yukarıda R_a armatür sargı direnci (ohm), P_{boru} boru hat kaybı, $P_{elk.iç.kayıp}$ iç kayıpları (W), $P_{mek.iç.kayıp}$ mekanik iç kayıpları (W) ve P_{hid} su basmadaki kullanılan statik güçtür (W). P_{hid} Eş. (7) ile ifade edilebilir. Pompa verimi η_{pom} ise Eş. (8)'de yer almaktadır. Eş. (7) ve Eş. (8)'de g yerçekimi ivmesidir (9,81 m/s 2).

$$P_{hid} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_p \quad (7)$$

$$\eta_{pom} = \frac{P_{hid}}{P_{elk.giriş}} = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot H_p}{I_{mot} \cdot V_{mot}} \quad (8)$$

Diğer yandan hidroelektrik sistem için potansiyel enerji E_p (J.) aşağıda yer alan Eş. (9) ile tanımlanmaktadır.

$$E_p = m \cdot g \cdot h_{gen} = (\rho \cdot A_1 \cdot h_1) \cdot g \cdot [h_2 + \frac{h_1}{2}] \quad (9)$$

Burada m su haznesindeki toplam depolanan su kütlesi (kg), A_1 düzgün geometri haznenin kesit alanı (m^2), ρ yoğunluk (kg/m^3), h_1 tankın su dolu olan yükseklik (m) ve h_2 boru uzunluğu (m)dur. Su haznesindeki suyun tamamının bitme süresi teorik olarak t_{son} (s.) Eş. (10)'da ifade edilmiştir.

$$t_{son} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \sqrt{\frac{2h_1}{g}} \quad (10)$$

Verilen tank ve boru boyutları için t_{son} süresi esnasında hidroelektrik güç çevrimi yapılması öngörülmektedir.

Böylece t_{son} süresi içerisinde elde edilebilecek su türbini ortalama giriş gücü P_{suort} (W) Eş. (11) ile tanımlanmaktadır.

$$P_{suort} = \frac{E_p}{t_{son}} \quad (11)$$

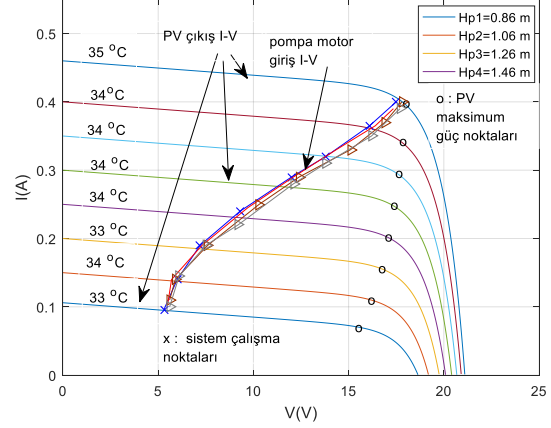
Su türbin verimi, mekanik sürtünme kayıpları ve suyu taşıyan hattaki dirsek ve sapmalardaki hızın düşmesine neden olan kayıplar düşünüldüğünde jeneratör miline aktarılabilir net mekanik güç daha düşük olacaktır. Bu güç ayrıca jeneratör içindeki mekanik ve elektriksel güç kayıpları ile çıkış uçlarında daha da düşer. Ayrıca jeneratörün uçlardaki yük akımına bağlı olarak en uygun çalışma noktalarına ulaşmak için çıkış kesitinde debi ayarlamaları yapılabilmektedir. Böylece hidroelektrik çevrim verimi η_{gen} , jeneratörde dönüşen elektriksel enerji bakımından Eş. (12) ile tanımlanmaktadır.

$$\eta_{gen} = \frac{P_{elk} \cdot t_{son}}{E_p} = \frac{(I_{gen}^2 R_s + V_{gen} I_{gen}) \cdot t_{son}}{E_p} \quad (12)$$

4. Bulgular ve Tartışma

Bir önceki bölümde tanımlanan performans model denklemleri kullanılarak örnek PVPHS seti üzerinde bazı önemli performans karakterizasyonları deneysel olarak çıkarılmaktadır. Kullanılan PV paneli için örneklenen en yüksek ışınım seviyesinin %20 seviyesine kadar farklı ışınım şiddetlerinde, PV- pompa motor sistemi çalışma noktaları ($V_{mot}-I_{mot}$) ölçülmüştür. Bu ölçümler örneklenen her farklı pompa yüksekliği seviyesindeki çalışma esnasında kayıt altına alınmıştır. Böylece Eş. (5) ile karakteristik bakımdan uyumlu giriş $V_{mot}-I_{mot}$ karakteristikleri her su basma yüksekliği örneği için Şekil 5'te verilmektedir. Çalışma noktaları PV çıkış I-V eğrileri ile kesişen noktalar. Deney esnasındaki sıcaklık dalgalanmaları nedeniyle çok az sapmalar görülebilmektedir. Bu çalışma noktaları PV'den motora aktarılabilir Eş. (6)'daki $P_{elk.giriş}$ elektriksel gücü tanımlar. Belirli bir ışınım şartları altında, çalışma

noktalarının PV maksimum güç noktalarına yakınlık derecesi PV'den daha etkili faydalanma imkanı vermektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi motor giriş $V_{mot}-I_{mot}$ karakteristikleri (çalışma noktaları karakteristikleri) örneklenen basma yüksekliklerinde çok az değişme göstermektedir.

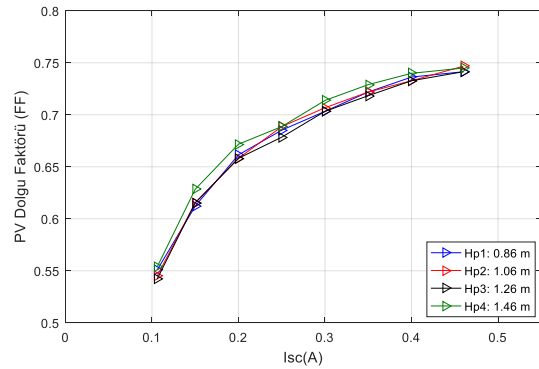


Şekil 6. PV çıkış ve pompa motoru çalışma noktaları

Ayrıca deney esnasında, aşağıdaki Eş. (13)'te tanımlanan PV'nin dolgu faktörü (FF) değerlerinin, değişen ışınım enerjisi koşullarındaki değişimleri her bir su basma yükseklikleri için Şekil 7'de belirlenmiştir.

$$FF = \frac{V_{pv(m)} \cdot I_{pv(m)}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (13)$$

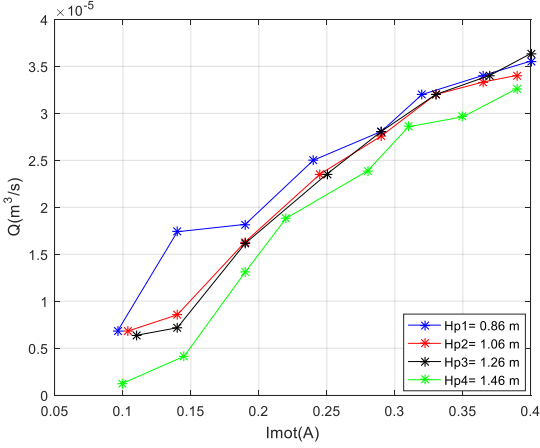
Eş. 13'te (m) indisi maksimum güçteki değerleri belirtir.



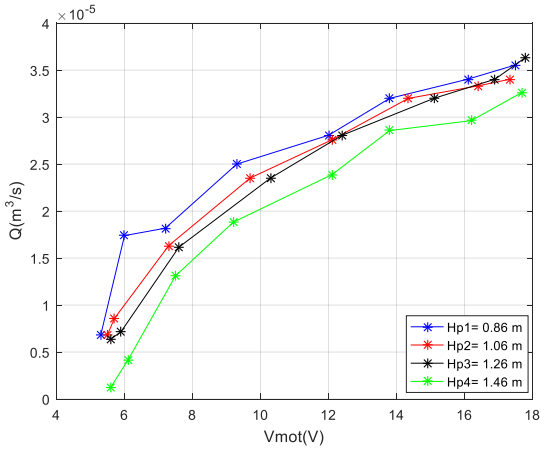
Şekil 7. PV'nin farklı ışınım koşullarında ve farklı su basma yüksekliklerindeki FF değişimleri

Deney setinde örneklendirilen her bir su basma yükseklikleri için, debi değerleri PV ile beslenen su pompa motorunun giriş akım, gerilim ve elektriksel giriş güçlerine göre her ışınım örnekleme için ölçülerek karakterize edilmiştir. Bu karakteristikler Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'dadır. Bu değişimler model denklemlerinin karakteristik yapıları ile uyumlu olarak logaritmiktir. Gerilim ile debinin logaritmik artışı ise motorun doğrusal olmayan giriş I-V karakteristik fonksiyonundan kaynaklanmaktadır. Güçlere göre debi değişimindeki

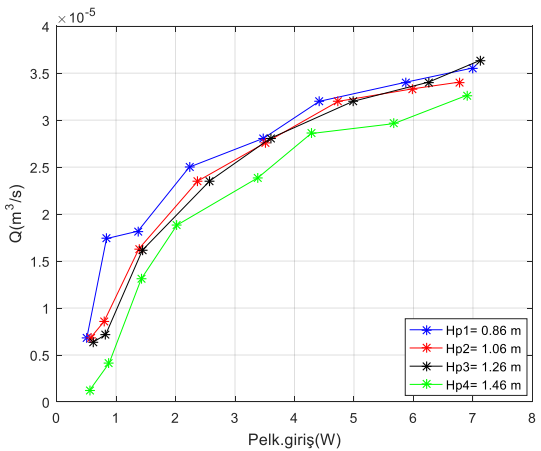
logaritmik özellik doğal olarak (akım ve gerilim bileşenlerinin çarpımı) daha belirgindir. Bu eğriler verilen bir elektrik bileşeni (akım, voltaj, giriş gücü) için öngörülen yükseklikte ne kadar debi ile su basılarak depolanabileceği konusunda önemli bir referans vermektedir.



Şekil 8. Pompa motoru giriş akımına göre debi değişimleri

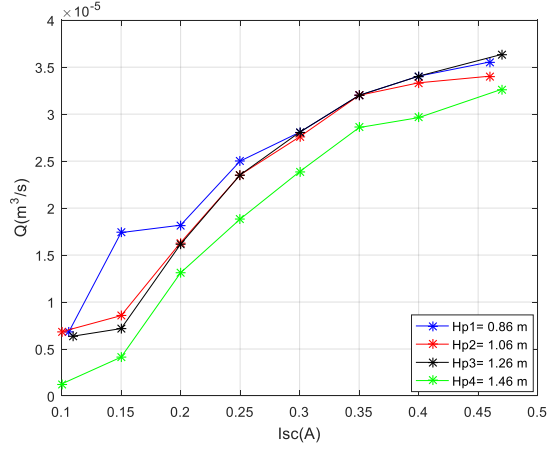


Şekil 9. Pompa motoru giriş gerilimine göre debi değişimleri



Şekil 10. Pompa motor giriş elektriksel güce göre debi değişimleri

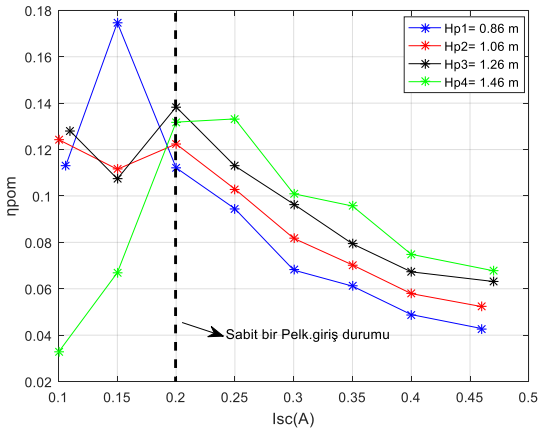
Benzer şekilde ışınım seviyelerine göre farklı yükseklikler için örnek sistemin debi karakteristikleri de Şekil 11'dedir. Ayrıca karakteristiklerden görüldüğü gibi artan yüksekliklerde daha düşük debiler alınmaktadır.



Şekil 11. Farklı ışınım seviyeleri ve basma yükseklikleri için debi değişimleri

Eş. (8) ile tanımlanan pompa verimi η_{pom} , ölçüm verileri kullanılarak farklı ışınım şiddetlerinde Şekil 12 ile karakterize edilmiştir. Şekil 12'e dikkat edildiğinde değişen ışınımlarda belirli bir basma yüksekliği için pompa veriminin en yüksek olduğu kritik bir ışınım değeri vardır. Düşük ışınım şiddetlerinin değişiminde debide yüksek değişiklikler meydana gelirken ışınım şiddetinin yükselmesi ile debideki değişim miktarı azalmakta ve yaklaşık %60 değerlerinden sonra platoya yakın bir eğilim göstermektedir. Şekil 11 incelendiğinde yaklaşık %40 ışınım şiddetine kadar ışınım şiddetinin iki katına çıkarılması debinin de iki katına çıkmasına sebep olurken %40 ışınım şiddetinin üzerinde bu artış miktarı azalmaktadır (logaritmik artış). Normalde tipik bir pompada tipine göre de değişen sabit bir giriş elektrik gücünde bir Q-h karakteristiği vardır. Bu karakteristik üzerinde Eş. (7) ile ifade edilen faydalı su basma gücünü maksimum yapan kritik debi ve yükseklik değerleri vardır. Bu sabit giriş elektrik gücünde artan yükseklikle debi düşme karakteristiği göstermektedir. Bu durum örneğin Şekil 10'da aynı ışınım şiddeti koşullarına karşılık gelen değişen yüksekliklerde debi değiştiği görülmektedir. Bu konuda aynı ışınım şiddeti koşulları sabit giriş gücü olarak kabul edilebilir. Herhangi bir pompa ilgili söz konusu sabit giriş gücünde en iyi verimi gösterdiği bir noktaya sahiptir. Bu çalışmada değişen ışınım ile bağlantılı olarak giriş güçleri değişmektedir. Bu güçlere karşılık gelen optimum yükseklik ve debi değerleri değişecektir. Böylece örneklenen yüksekliklerin bu sözü edilen belirli giriş gücündeki kritik yükseklik ve debi değerlerine yakın olanları daha yüksek verim gösterecektir. Şekil 12 incelendiğinde verimin ışınım şiddetiyle ters orantılı bir şekilde düştüğü görülmektedir. %10 ışınım şiddeti

azalmasına karşı yaklaşık %3 seviyesinde bir verim kaybı olduğu görülmektedir. Her ne kadar düşük ışınım şiddetleri verim açısından iyi gibi gözükse de istenen yüksekliğe suyu basamadığı sürece sistemin çalışması için asgari şartları sağlayamayacaktır. Bu durumun görülmesi bakımından sabit güçteki Q-h karakteristikleri testi yapılmamıştır. Fakat böyle uygulamalarda belirli giriş gücüne ve pompa tipine karşılık gelen kritik en iyi verimli debi ve yükseklik ayarlaması (optimizasyon) planlamalarda yapılırsa ön görülen şartlarda çok daha yüksek verim elde edilecektir. Böylece geniş bir ışınım aralığı bandında bu verimleri optimize edilmesi önemli olacaktır. Örneğin daha fazla potansiyel kazandırmak adına basma yüksekliği büyük seçilir ise bu durumda ilgili pompa sistemi düşük ışınım enerjilerinde su basamayabilir veya aktif su basabileceği aralık daralır. Bu enerji depolama performansı için önemli olacaktır.

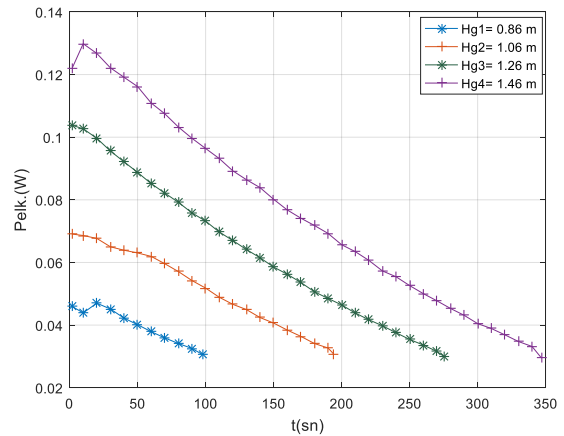


Şekil 12. Farklı yüksekliklerde ışınımlara göre pompa motorunun verimleri

Hidroelektrik kısmında ise depo edilmiş su farklı yüksekliklerden (Hg_1, Hg_2, Hg_3, Hg_4) düşürülerek su türbin jeneratör kısmına uygulanmaktadır. Deneyde kullanılan jeneratör yaklaşık iç direncinden biraz daha büyük ohmik yükte örnek olarak yüklenmiştir. Gerçekte böyle uygulamalarda talep edilen yüklenme durumlarına göre sabit hızda su girişleri ayarlanır. Bu çalışmada jeneratör yükü direnci karakterizasyonu için sabit tutulmuştur. Böylece belirli bir yük koşullarında farklı seviyelerde boşalan suyla sistemin nasıl davrandığı incelenmektedir. Belirli bir yükseklikteki haznedeki su bitme süresi aralığında jeneratörde dönüşen elektriksel güç değerleri kaydedilmiştir. Bu gücün bileşenleri olan akım ve gerilim değerlerinin zamana göre aldığı değerler kullanılarak Eş. (12)'de P_{elk} güç değerleri karakterize edilmiştir. Karakteristikler hidroelektrik sistemin kayıplarına bağlı olarak akım ve gerilim yaklaşık zamanla doğrusal azaldığı için bunların oluşturduğu elektriksel güç P_{elk} polinomsal bir karakteristiktir. Deney seti için Şekil 13'te görüldüğü gibi yaklaşık hazne boşaldıkça zamanla doğrusal bir

azalma gösterir. Şekil 13'te gösterilen sonuçlar deneyin başlangıcında yapılan ön görüler ile örtüşmektedir. Burada görülebileceği gibi güç ve haznenin boşalma süresi (enerji depolama süresi) yükseklik ile doğrusal şekilde artmaktadır ancak artış düşük yüksekliklerde daha fazla iken yükseklik arttıkça azalmaktadır. Örnek olarak 0,86 m için yaklaşık 100 saniye deşarj süresi varken 20 cm düşü yüksekliği (yaklaşık %25 düşü yüksekliği artışı) deşarj süresini neredeyse iki katına çıkarmıştır. Ancak 1,26 m için deşarj süresi yaklaşık 270 saniye iken 1,46 m için yaklaşık 350 saniye olarak görülmektedir, bu grafikten anlaşılacağı üzere güç doğrudan yüksekliğin bir fonksiyonu iken deşarj süresi ise Eş. (10)'dan da görüleceği üzere yüksekliğin karekökü (logaritmik) ile artmaktadır. Aynı zamanda belirli bir yükseklik için deşarj süresi tank yüzey alanının boru kesit alanına oranı (A_1/A_2) ile doğru orantılı şekilde artmaktadır.

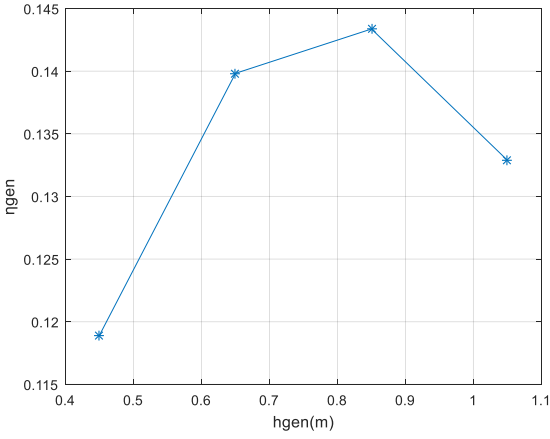
Şekil 13 incelendiğinde belirli bir yükseklikte tanktaki suyun boşalma süresi aralığında elektriksel güç (P_{elk}) değişimleri diğer türbin ve jeneratör kayıp parametrelerinden bağımsız değerlendirildiğinde karakteristik yapı bakımından türbine giren mekanik giriş gücü ile bir benzerlik gösterdiği söylenebilir. Şöyle ki; zamanla su seviyesi azaldıkça türbin girişindeki suyun çizgisel hızı logaritmik olarak azalır ($v \approx (2gh)^{0.5}$). Bu yüzden tanktaki suyun bitme süresine yakın seviyelerde güçteki azalma biraz daha yavaşlarken başlangıç yüksekliklerinde güçteki azalma daha hızlı gerçekleşmektedir. Rezervuar kapasitesinin sınırlı olması ve su seviyesinin değişken olması sebebi ile bu sonuç değişken yükseklikli PVPHS uygulamaları için önem arz etmektedir.



Şekil 13. Farklı düşü yüksekliklerindeki jeneratör elektriksel gücünün zamanla değişimi

Diğer yandan Eş. (12) kullanılarak farklı düşü yüksekliklerine göre sistemin verim değişimi Şekil 14'te verilmiştir. Jeneratör yük direnci sabit tutulduğu için su pompa sistemindeki verim değişimlerine benzer şekilde öngörülen elektriksel yüklemeye için verimin en iyi olduğu

kritik bir h_{gen} düşü yüksekliği oluşmuştur. Bu düşü yüksekliği ile hidroelektrik sistemin kullanımı enerji bakımından diğerlerine göre daha yüksek verimli çalışma imkanı vermektedir. Çünkü deneyde tankın çıkış kesiti, boru yüksekliği, su türbin, jeneratör ve yüklenme koşulları sabit tutulmuştur. Bu jeneratör yüküne göre verimin en iyi olduğu kritik yükseklik oluşmaktadır. Sabit bir yükte daha fazla yüksekte akan su daha fazla momentum ve elektriksel akım oluşturacaktır. Fakat bu durumda hızın bir fonksiyonu olan sistem iç sürtünme kayıpları ve su türbininin en iyi verimi sağladığı devir yakalanamayabilir. Benzer şekilde düşü yüksekliği çok düşerse de türbinin maksimum mekanik gücün alındığı devirden daha düşük noktaya gelebilir. Her iki durumda sistem verimsiz olmaktadır. Bu durum tipik olarak Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. Farklı düşü yüksekliklerine göre hidroelektrik sisteminin verimi

5. Sonuçlar

Belirli bir yükseklik için hidroelektrik çevrimde kullanılacak su depolama performansının en iyi olduğu kritik bir ışınım ve bu ışınım karşılık gelen kritik bir basma yüksekliği vardır. Bu kritik noktaların belirlenmesi, pompa sisteminin seçiminde önemli rol oynamaktadır ve yapılacak seçim ile sistemin genel verimi oldukça belirgin şekilde iyileştirilebilir. Pompaya ait motorun en verimli çalıştığı nokta ile PV'nin değişen ışınımlardaki maksimum güç noktaları çakıştırılması durumunda pompanın verimi kadar PV'nin de en verimli şekilde kullanılması sağlanacak ve bu sayede sistemin genel verimi daha da iyileştirilecektir. Maksimum güç noktasında çalışan entegre bir PV-motor sistemi belirli bir basma yüksekliğindeki hazneye daha fazla debi ile su depolama imkanı verir. Böylece bir pratik yaklaşım olarak, ele alınan bir bölgenin ortalama ışınım enerjisine (günlük, sezonluk, yıllık vb.) karşılık gelen seçilen PV sisteminin maksimum güç noktasında çalışacak şekilde bir PV- motor sistem ayarlaması yapıp, bu giriş gücü koşullarında çalışacak

pompanın ilgili çıkış Q-h karakteristiğindeki Eş. (7)'deki P_{hid} maksimum yapan kritik H_p değeri hazneye basma yüksekliği olarak seçilirse, hidroelektrik sistem için en iyi verimde suya potansiyel enerji kazandırılabilir. AC motorlar da inverter yardımıyla sisteme bağlanarak pompada kullanılabilir ve bu sayede basma (enerji depolama) verimi daha da artırılabilir. Sistemin PV-pompaj kısmı için mümkün olduğu kadar geniş bir ışınım aralığında pompa motorunun PV'nin ışınım ile değişen maksimum güç noktalarında veya yakınında çalıştırılmasının performans için en önemli kriter olduğu görülmüştür.

Benzer şekilde hidroelektrik çevrim için akım-gerilim ve elektriksel güç karakterizasyonu farklı düşü yüksekliklerinde bu set üzerinde yapılmıştır. Seçilen su türbini ve jeneratör için türbine maksimum mekanik güç aktarılacak bir devirde jeneratör yüklendiğinde en iyi verimi elde edilmektedir. Enerji üretilmeye başlayınca hazneye kalan su miktarı doğal olarak azalacaktır. Böylece bilinen diğer hidroelektrik çevrim sistemlerinden farklı olarak hazırlanan haznedeki seviye değişmesi performansı değiştirdiğinden, belirli bir kullanım süresi için jeneratöre uygun bir elektrik yük seçimi ya da ilgili yüke göre su türbin girişlerinde debi ayarlaması yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür. Sabit yükseklikli PVPHS sisteminin coğrafi kısıtlar sebebi ile kurulamaması durumunda bu çalışmada incelenen hususlar ve elde edilen veriler ışığındaki tekliflerin uygulanması durumunda değişken yükseklikli PVPHS uygulamalarının da mümkün olabileceği ve bu konuda daha fazla araştırma imkanı doğabileceği görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Twidell J. and Weir T., 2015. *Renewable Energy Resources*, 3rd ed. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- [2] Farret F. A. and Simões M. G., 2006. *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Dunn B., Kamath H., and Tarascon J. M., 2011. Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science (80-.)*, 334(6058), pp. 928–935.
- [4] Rehman S., Al-Hadhrani L. M., and Alam M. M., 2015. Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 44, pp. 586–598.
- [5] McLean E. and Kearney D., 2014. An evaluation of seawater pumped hydro storage for regulating the export of renewable energy to the national grid. *Energy Procedia*, 46, pp. 152–160.

- [6] Ekoh S., Unsal I., and Maheri A., 2016. Optimal sizing of wind-PV-pumped hydro energy storage systems. *4th Int. Symp. Environ. Friendly Energies Appl. EFEA 2016*, pp. 1–6.
- [7] Chaudhary P., and Rizwan M., 2018. Energy management supporting high penetration of solar photovoltaic generation for smart grid using solar forecasts and pumped hydro storage system. *Renew. Energy*, 118, pp. 928–946.
- [8] Lingamuthu R. R. and Mariappan R., 2019. Power flow control of grid connected hybrid renewable energy system using hybrid controller with pumped storage. *Int. J. Hydrogen Energy*, 44(7), pp. 3790–3802.
- [9] Ma T., Yang H., Lu L., and Peng J., 2014. Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. *Renew. Energy*, 69, pp. 7–15.
- [10] Papaefthymiou S. V. and Papathanassiou S. A., 2014. Optimum sizing of wind-pumped-storage hybrid power stations in island systems. *Renew. Energy*, 64, pp. 187–196.
- [11] Atlam O., 2009. An experimental and modelling study of a photovoltaic/proton-exchange membrane electrolyser system. *Int. J. Hydrogen Energy*, 34(16), pp. 6589–6595.



Çarpan Hava Jetiyle Altıgen Kanatçıklı Soğutma Plakasının Akış Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Belirlenmesi

Experimental and Numerical Determination of the Flow Characteristics of the Hexagonal Finned Cooling Plate with Impingement Air Jet

Rıdvan YAKUT^{1,*} , Kenan YAKUT² 

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kafkas Üniversitesi, Kars, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-4145-7280

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7822-2445

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 18/01/2020

Kabul Tarihi : 29/04/2020

Anahtar Kelimeler

Basınç Katsayısı
Çarpan Jet
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)
Türbülans Modeli

Özet

Günümüzde paket programlarının gelişmesiyle birlikte Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleriyle elde edilen veriler deneysel verilere çok yaklaşmış böylece deneysel sürecin neden olduğu; zaman, maliyet, hassasiyet ve tekrarlanabilirlik gibi dezavantajları ortadan kaldırmıştır. Yapılan bu çalışma ile türbülans akışta sayısal olarak modellemesi zor olan çarpma bölgesindeki akış karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Hava jetinin, önceden rüzgâr tüneline Taguchi yöntemiyle $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal diziniyle optimize edilen, ASP-1 altıgen soğutma plakasına çarptırılmasıyla elde edilen deneysel ve sayısal verilerle akış karakteristikleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sayısal analizler ANSYS Fluent HAD paket programı ile yapılmıştır. Sayısal analiz sürecinde dönümlü akışlardaki üstünlüğünden dolayı türbülans modeli olarak k-ε relizable türbülans modeli kullanılmıştır. Üç farklı kanatçık boyuna sahip soğutma plakaları için deneysel ve sayısal çalışmalar; sabit lüle ve Y/R oranında, altı akış hızında yürütülmüştür. $C_{p_{x,y}} - L/(L_0/2)$ grafikleri deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların merite olarak birbiriyle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Research Paper

Received Date : 18/01/2020

Accepted Date : 29/04/2020

Keywords

Pressure Coefficient
Impingement Jet
Computational Fluid Dynamics (CFD)
Turbulence Model

Abstract

With the development of package programs, the data obtained by the Computational Fluid Dynamics (HAD) analysis are very close to the experimental data and thus the disadvantages eliminate such as time, cost, accuracy and reproducibility caused by the experimental process. In this study, the flow characteristics in the impingement zone, which are difficult to model numerically in turbulence flow, are determined and compared experimentally and numerically. The flow characteristics were determined by experimental and numerical data obtained by the air jet impinge to the ASP-1 Hexagon cooling plate. The cooling plate was optimized by using Taguchi method in the wind tunnel according to $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ orthogonal array in earlier study. Numerical analyses were performed with ANSYS Fluent HAD package program. The k-ε reliable turbulence model was used as turbulence model due to its superiority in rotational flow during the numerical analysis process. Experimental and numerical studies were carried out for three different fin heights; for constant nozzle and Y/R ratio, for six flow rates. $C_{p_{x,y}} - L/(L_0/2)$ graphs were obtained and compared experimentally and numerically. The numerical and experimental results were observed to be in a good agreement exponentially.

1. Giriş

Çarpan jetle soğutma en verimli ve ekonomik ısı transferi sağlayan yöntemlerden biridir. Bununla birlikte, bu tür soğutma yöntemlerinde karşılaşılan basınç düşümleri, mikro gaz türbinlerine, soğutma güneş panellerine, yüksek yoğunluklu elektronik çiplere vb. uygulandığında önem kazanmaktadır [1].

Günümüzde çarpan jet konusunda birçok deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır. Fakat bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gelişen analiz programlarıyla birlikte sayısal simülasyonlarıyla elde edilen veriler deneysel verilere yaklaşmış hatta bazı çalışmalarda deneysel verilerden daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece tasarımlar daha hızlı, ekonomik hassas çözülebilmekte ve sistem üzerindeki değişikliklere daha kolay adapte edilebilmektedir. Kullanılan analiz programları içerisinde HAD analizleri önemli bir yer tutmaktadır.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ryakut@kafkas.edu.tr



HAD ile yapılan analizlerde türbülans akışın kararsızlığı ve düzensizliği akış sisteminin modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle birçok türbülans modeli bulunmakta ve akışın fiziği, durumu ve uygulandığı bölgeye göre bu modellerden biri tercih edilerek problemin çözümü gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışma ile deneysel ve sayısal olarak kanatçıklı soğutma plakaları için akış karakteristiği belirlenmiş ve birbiriyle uyumu karşılaştırılmıştır.

Literatürde genellikle soğutma uygulamalarında kullanılan çarpan jetler üzerine birçok deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Farklı kesitteki lüleden çıkan akışkanın yüzeye çarptırılmasıyla elde edilen çarpan jet uygulamalarında, akışkan hızı arttıkça çarpma bölgesinde sınır tabaka kalınlığı azalır buna bağlı olarak yerel konveksiyon katsayısı artar. Ayrıca kanat açıları, dizilimleri değiştirilerek ve farklı geometriler kullanılarak ısı transferi iyileştirilebilir. Bu değişken geometrik özelliklere sahip soğutma plakalarının türbülans akışın etkisiyle çarpma bölgesinde oluşan dönümlü, kararsız akış sayısal olarak modellenmesini zorlaştırmaktadır. Aşağıda çarpan jetle yapılan literatürdeki bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Angiolletti *vd.* [2], laminar ve batık geçiş ile ısı transferi hedef düzlem üzerinde serbest gaz jeti sıkışması ile sayısal olarak analiz etmişlerdir ve buna ek olarak ilişkili ölçümler yardımıyla yorumlamışlardır. Üç farklı rejim için nitel ve nicel karşılaştırmalar, geçiş rejimi içinde (başlangıçta laminar veya düşük türbülans çarpan jetler) $Re=100-4000$ arasında sunmuşlardır. Birleştirilen deneysel yaklaşımdan ilk kez faydalanmışlardır. Parçacık Görüntü Hızı (PIV) kullanarak, anlık akış alan verisi ayıklanmış, doğru etki ve dağılım için, serbest jet arayüzü ve yol boyunca akış alanındaki değişikliklere odaklanmak için ortalamışlardır. Ayrıca, boyutsuz yerel ısı transferi Nu yerel bir naftalin filmin erime derinliğini mikrometrik ölçümleri ile değerlendirmişlerdir. Son olarak konu, yapılandırma geçerliliğini değerlendirmesini sağlayan, ticari bir CFD koduyla modellemişlerdir. Bu çalışmada üç türbülans modeli kabul edilmiş, tam hız haritaları ve yerel Nu dağılımları gösterilmişlerdir. Ortalama veya anlık deneysel akış alanı ve ısı transferi verilerine göre kabul modellerin göreceli yararların anlaşılmasında yardımcı olmuşlardır. Re 1000 olduğunda $k-\omega$ SST türbülans modelinde gelişmekte olan çekirdek bölgenin genişlemesinin daha düzgün azaldığı gözlenmiştir. Re sayısı 4000 olduğunda model performansları tamamen değişmiştir. $k-\epsilon$ RNG ve RSM modellerinin performansları tüm çarpan jet bölgesinde çok iyi olduğunu gözlemişlerdir.

Yue-Tzu *vd.* [3], üniform olmayan kanatçıklı tasarımların soğutucu performanslarını çarpan soğutma ile sayısal incelemişlerdir. Ana denklemler dikey üniform olmayan kaydırılmış tablo üzerinde güç şeması ile kontrol

hacim-sonlu farklar yöntemini kullanılarak ayırtmışlardır. Hız ve momentum denklemlerinin basınç şartları ile bağlantısını SIMPLEC algoritmasını kullanarak çözmüşlerdir. Bu iki denklemi $k-\epsilon$ türbülans modelinin çalkantılı yapısı ve davranışlarını tanımlamak için kullanmışlardır. Değişken parametre olarak beş Reynolds sayısı ($Re=5000-25000$), üç kanatçık yüksekliği ($H=35, 40, 45$ mm) ve beş kanatçık tasarımı (Tip-1, Tip-5) kullanmışlardır. Bu çalışmada, kanatçık şeklinin soğutma performansına etkileri incelemişlerdir. Sonuç olarak Nusselt sayısı Reynolds sayısı ile artmıştır. Yüksek Reynolds sayılarında kanatçık boyutlarının Nusselt sayısı üzerindeki etkilerinin daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Levy *vd.* [1] yaptıkları çalışmada 29×29 mm²'lik alana sahip çarpma plakası ve 0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 mm'lik nozul çaplarını kullanarak deneysel çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Çeşitli Reynolds sayılarındaki çarpan jet akışını modellemek için, iki denklem türbülans modelleri ($k-\epsilon$, $k-\omega$) ve laminar akış modelleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile ayrıntılı akış yapısı (kütleli debi dağılımı, jetlerin hız profilleri ve dizi boyunca akış yönünde akışkan boşaltma katsayısının değişimi) elde edilmiştir. Bu simülasyonlar, çoklu çarpan jet sistemi içindeki fiziğin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Deneysel sonuçlar ile sayısal simülasyonlar arasında makul karşılaştırmalar yapılmıştır. Basınç düşümünü hesaplamak için geliştirilen yöntem, çarpan jet dizisinin geometrik parametrelerini bu tür sistemlerin pnömatik güç tüketimine göre optimize etmek için kullanılabilir.

Yakut *vd.* [4], çarpan hava jeti ile soğutma uygulamasında Taguchi $L_{18}(2^1 \times 3^6)$ deney optimizasyonu yöntemine göre optimize etmiş ve Genel-1 ve Genel-2 olarak adlandırılmış altıgen kanatçıklı ısı alıcıların ısı transferi ve basınç karakteristikleri incelemiştir. Deneylerde sabit nozul çapı ($d_n=42$ mm) ve nozul yüksekliğinin – nozul çapına oranı $h/D_n=4$ mesafesi, 6 farklı akış hızı (4-9 m/sn) ve üç farklı kanat boyu (100-150-200mm) değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak; elde edilen veriler $Nu-Re$ ve $C_{px}-1/(l_0/2)$, $C_{py}-1/(l_0/2)$ grafikleri şeklinde sunulmuştur. Deneyler sonucunda Genel-1 için; $Nu=0,66.Re^{0,52}Pr^{1,62}.(h_k/d)^{0,58}.(h/D_n)^{-0,95}$ ve Genel-2 için; $Nu=0,87.Re^{0,49}.Pr^{33,94}.(h_k/d)^{-0,60}.(h/D_n)^{7,6}$ korelasyonlarını elde etmişlerdir. ısı alıcılar için Nusselt sayısı, artan Re sayısı ile artmakta ve h/D_n mesafesi arttıkça azalmıştır. Ayrıca, basınç katsayılarının Re sayısı ve kanat boyu arttıkça azaldığı gözlenmiştir.

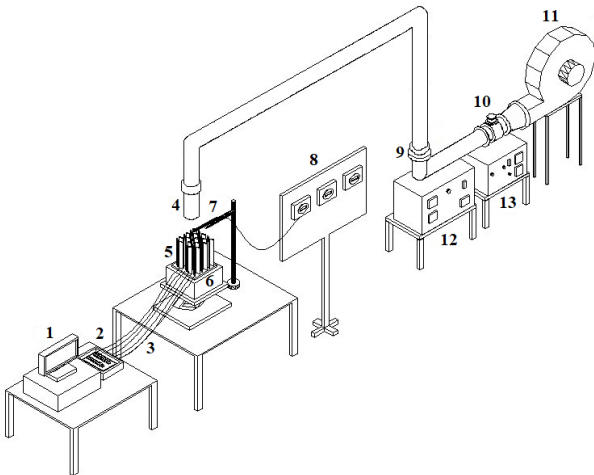
Penumadu ve Rao [5], düşük Reynolds sayılı çarpan jet uygulamalarının fiziği üzerine yoğunlaşmışlardır. Ayrıca bu çalışma ile çarpan jetlerin çarptığında meydana gelen basınç düşümünün karakteristiği hakkında bazı önemli bilgiler sunmaktadır. Bir dizi çarpan jetin sayısal simülasyonunda, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes

(RANS) ve Büyük Girdap Simülasyonları (LES) gibi çeşitli türbülans modelleri kullanılmıştır. Bu simülasyonlardan elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır. Çoklu çarpan jet dizisindeki akış fizikini daha iyi anlamak için LES simülasyonlarını kullanmışlardır. Simülasyonlar, sistemdeki ana basınç kaybının nozul girişindeki daralma ve viskoz kayıplara bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca simülasyonlar, bu dizilerin pratik mühendislik uygulamalarında gereken üretim toleranslarında basınç düşümü ve ısı transfer karakteristiklerinin hassasiyetini belirlemek için yürütülmüştür.

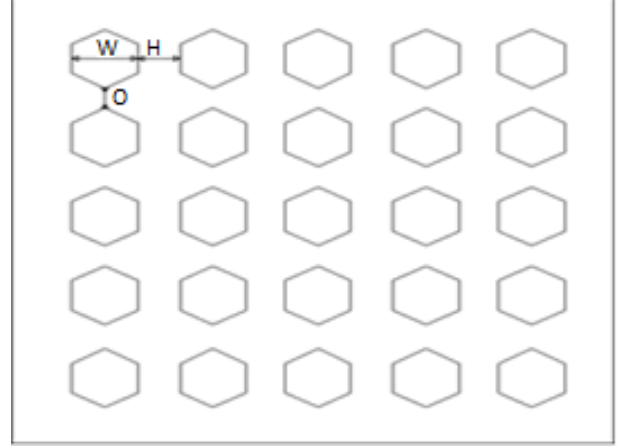
2. Deneysel Çalışma

Akış karakteristikleri, kanal akışında Taguchi $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizini kullanılarak optimize edilen altıgen kanatçıklı ASP-1 soğutma plakasında, 50 mm lüle çapı ve $Y/R=1$ oranı için, 100 – 150 – 200 mm kanatçık boylarında ve 4 – 9 m/s aralığındaki hızlar için gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile soğutma plakası üzerinde x ve y yönlerindeki basınç katsayıları hesaplanarak $C_{p_x}-(L_0/2)$, $C_{p_y}-L/(L_0/2)$ grafikleri elde edilmiştir.

Deneysel çalışmanın yürütüldüğü deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmektedir. Deneylerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Soğutma plakası ve kanatçıklar alüminyumdan imal edilmiştir. Basınç değerleri basınç transmitterleri ve pitot tüpü vasıtasıyla dijital olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü. (1) Bilgisayar, (2) Veri ölçüm kartı, (3) Termokupullar, (4) Dairesel lüle, (5) Soğutma plakası, (6) Isı kaynağı, (7) Hız ölçer, (8) Basınç – hız transmitterleri, (9) Redüksiyonlar, (10) Sürgülü vana, (11) Fan, (12) Ayarlı transformatör (Varyak), (13) Hassas voltaj regülatörü



Şekil 2. Altıgen Soğutma plakası.

50 mm çapındaki lüle, $305 \times 305 \text{ mm}^2$ ölçütlerindeki soğutucu plakanın tam orta noktasına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Test elemanları için 14 mm genişliğine sahip altıgen kanatçıklar kullanılmıştır. Altıgen kanatçıklar, plaka üzerinde kendileri için açılan 5 mm derinliğindeki kanallara ısı transfer macunu sürülerek yerleştirilmiştir.

Çalışmada dinamik basınç dağılımının belirlenmesi için pitot tüpü kullanılmıştır. Aksiyel akışın gerçekleştiği “duvar jeti” bölgesinde kanatçıklardan gelen periyodik yapıya yakın akışın anlık basınç değeri, akış doğrultusunda meydana gelen küçük sapmaların ve ısıtılan soğutma plakasından kaynaklı sıcaklık değişimlerinin, ölçümü etkilemediği, pitot tüpü kullanılarak ölçülmüştür.

Çalışmada incelenen deney değişkenleri Tablo 1’de verilmiştir. Tasarım değişkenlerine uygun altıgen soğutucu plaka, çarpan jet deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deneyler üç farklı kanatçık boyunda ($h_k=100-150-200$ mm), altı farklı akış hızında (4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 m/s) ve sabit Y/R oranı için yapılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilerle $C_{p_x}-L/(L_0/2)$, $C_{p_y}-L/(L_0/2)$ grafikleri verilmiştir.

Tablo 1. ASP-1 soğutma plakasında incelenen parametreler ve değerleri

Parametreler		Optimum elemanlar ASP-1
A	Kanat yüksekliği, h_k [mm]	100-150-200
B	Kanat genişliği, W [mm]	14
C	Kanatçıklar arası yatay uzaklık, H [mm]	20
D	Kanatçıklar arası dik uzaklık, O [mm]	20
E	Lüle çıkışı akış hızı, V [m/s]	4-5-6-7-8-9

2.1. Hesaplamalar

Kararlı hal akış koşullarında plaka üzerinde x ve y yönlerindeki basınç katsayıları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır:

$$c_{px} = \frac{\Delta P}{\left(\frac{1}{2}\rho U_{ort}^2\right)} \quad (1)$$

$$c_{py} = \frac{\Delta P}{\left(\frac{1}{2}\rho U_{ort}^2\right)} \quad (2)$$

Türbülanslı akışta lüle kesiti boyunca hız ortalaması hesaplanırken lüle merkezinde ölçülen hız değerinden yararlanılır. Hızın kesit içerisindeki ortalaması aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$U_{ort} = 0,817U_0 \quad (3)$$

Boyutsuz sayılardan Reynolds sayısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır. Eşitlikte akışkanın lüle kesitindeki ortalama hızı U_{ort} ve termo-fiziksel özellikleri akışkanın lüle çıkışındaki bölge dikkate alınarak belirlenmiştir.

$$Re = \frac{D_h U_{ort}}{\nu} \quad (4)$$

Belirsizlik analizi Kline ve McClintock tarafından önerilen yöntem kullanılarak yapılmıştır [6]. Çalışmada kullanılan boyutsuz parametrelere ait belirsizlikler; Basınç katsayısı için %11.18 ve Reynolds sayısı için %5.00 olarak bulunmuştur. Deney esnasında ölçülen ve elde edilen boyutsuz sayıları etkileyen fiziksel büyüklükler ve her birinin hata katkı oranları Tablo 2’de verilmiştir.

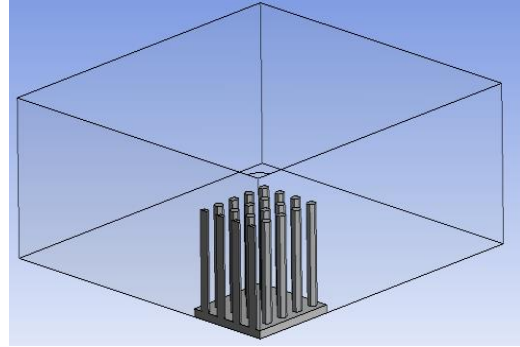
Tablo 2. Ölçülen parametrelerdeki belirsizlikler

Değişkenler	Belirsizlik (%)
Havanın hızı, U	5
Basınç, P	5
Hidrolik çap, D_h	0.1
Havanın dinamik viskozitesi, μ	0.048
Havanın yoğunluğu, ρ	0.008

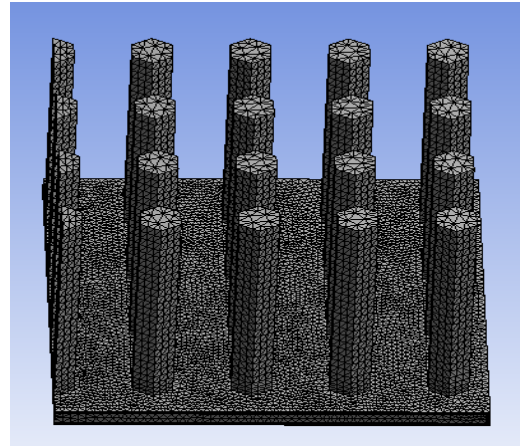
3. Sayısal Modelleme

Sayısal modelleme ile ASP-1 soğutma plakası üzerindeki akış karakteristiği belirlenmiştir (Şekil 3). Y/R=1 oranı ve 100 – 150 – 200 mm kanatçık boyları için sayısal modeller oluşturulmuştur. 50 mm çapındaki lüle, yüzeye dik bir şekilde 4 – 9 m/s aralığındaki altı farklı hız için modellenmiştir. Türbülans modeli olarak çarpma bölgesinde iyi sonuçlar veren k- ϵ reliable türbülans modeli kullanılmıştır. Simetrik modelle uygulanarak daha sıkı ağ oluşturulmasına olanak sağlanmıştır. Türbülans modelinin daha doğru sonuçlar verebilmesi için duvara yakın

bölgelerin daha sıkı ağ ile oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle çarpma plakasına yakın bölgelerde sayısal ağ sıkılaştırılmıştır (Şekil 4). Kütle korunumu, momentum ve enerji denklemleri uygun sınır şartları verilerek ANSYS Fluent paket programı ile çözülmüştür. Sayısal analizde, sayısal ağ ve iterasyon için optimum değerler belirlenmiştir. Sayısal analizlerde, modeli tanımlamak için ortalama 1.000.000 sayısal ağ için, 500 iterasyon uygulandığında sonuçların, deneysel sonuçlara merteye olarak yaklaştığı görülmüştür.



Şekil 3. Sayısal model



Şekil 4. Oluşturulan sayısal ağ

Sayısal çalışmalarda oluşturulan ağın kaliteli ve düzgün olması elde edilen verilerin doğruluk oranını yükseltmesi açısından önemlidir. Ancak oluşturulan ağın kalitesi, analizi yapılacak olan geometrinin karmaşıklığı arttıkça düşmektedir. Oluşturulan meshin kalitesini değerlendirmek için bir çok parametre olmasına rağmen en boy oranının ve diklik oranının 1'e yakın olması, keskinlik oranının 0'a yakın olması istenmektedir. Ağ kalitesinin yükseltmek için daha küçük elemanlar kullanmak, analizi yapılacak geometriye uygun ağ elemanlarının seçmek, test bölgesindeki elemanların daha küçük olması, en büyük ve en küçük elemanlar arasındaki boyut farkının az olması ve bu elemanlar arasındaki geçişin düzgün olması gerekmektedir. Oluşturulan yapı elemanlarının boyutları düşürülerek daha kaliteli sayısal ağ elde edilmesine

rağmen, bunun sonucunda problemin çözüm süresi artmakta ve süper bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşturulan sayısal ağın sonuçlara etkisini belirlemek için ASP-1 soğutma plakasında, Y/R oranının 1, kanat uzunluğunun 150 mm olduğu, 4 m/s akış hızı için oluşturulan 3 ağ yapısı karşılaştırılmış ve optimum ağ kalitesine sahip II. Ağ yapısı kullanılarak sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Ağdan bağımsızlık analizi sonuçları

	Ağ Yapısı	I. Ağ Yapısı	II. Ağ Yapısı	III. Ağ Yapısı
Ağ Özellikleri	Eleman Sayısı	1078697	1278334	1819567
	Düğüm Sayısı	261346	298856	399950
Ağ Kalitesi	En Boy Oranı	4.7201	4.0695	3.5519
	Keskinlik	0.283	0.26916	0.26089
	Diklik Kalitesi	0.71564	0.72955	0.73799
Etkin Parametre	Basınç Katsayısı	0.181	0.185	0.186

3.1. Korunum Denklemleri

Üç boyutlu, sıkıştırılamaz akış için uygun sınır şartları altında süreklilik, türbülanslı momentum ve türbülanslı enerji denklemleri ANSYS Fluent ile çözülmüştür. Kartezyen koordinatlarda türbülanslı akış için korunum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilmektedir [7-8].

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

Momentum denklemi

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (6)$$

Enerji denklemi

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_l}{\sigma_t} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] \quad (7)$$

k (türbülans kinetik enerjisi) için aktarım denklemi

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (8)$$

ε (yutulma oranı) için aktarım denklemi

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\mu} \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{2\rho} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (9)$$

Denklemlerde kullanılan deneysel sabitlerin değerleri aşağıdaki şekildedir:

$$C_1=1.44, C_2=1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k=1.0, \sigma_\varepsilon=1.3$$

Katı için süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (10)$$

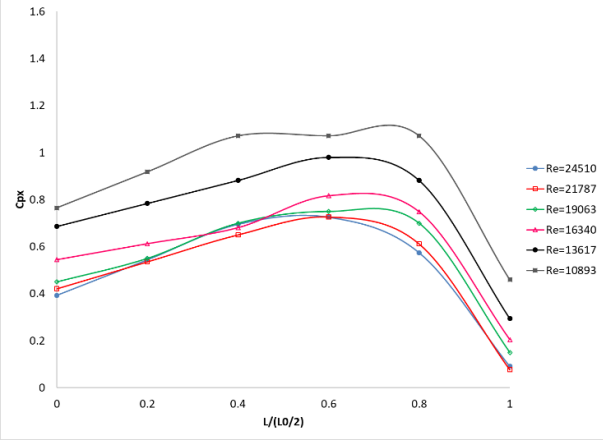
Çarpan jet için Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Re = \frac{|U_{ort}|R}{\nu} \quad (11)$$

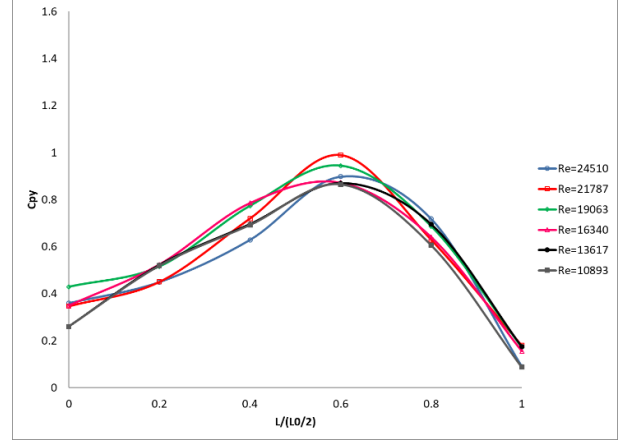
4. Araştırma Bulguları

Çalışma sonucunda farklı kanat boyları için deneysel ve sayısal olarak $C_p-L/(L_0/2)$ grafikleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmada $Y/R=1$ için en büyük C_{p_x} ve C_{p_y} değerleri 100 mm kanat boyu için, en küçük değerler 200 mm için elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen x ve y yönündeki basınç katsayıları kanat uzunluğunun artışıyla birlikte azalmıştır. X yönünde basınç katsayıları 0.6 istasyonunda pik yapmıştır ve 0.8, 0.4 hatta 0.2 istasyonundaki değerlerle arasında büyük farklılıklar yoktur. Fakat y yönündeki basınç katsayı 0.8 istasyonunda pik yapmıştır ve diğer istasyonlardaki değerlerle arasındaki fark daha büyüktür. Ayrıca deneysel çalışmada x ve y yönünde her üç kanat boyu içinde en büyük basınç düşümü 4 m/s için elde edilirken, en düşük basınç düşümü 9 m/s için elde edilmiştir ve Reynolds sayısındaki değişiminin basınç katsayısı üzerindeki etki net bir şekilde gözlenmektedir.

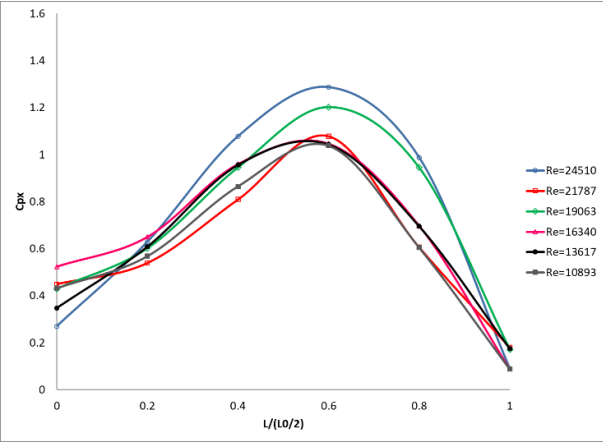
Sayısal çalışmada iki yönde de, üç kanat boyundaki değişim hemen hemen aynıdır, bu nedenle belirli bir artan azalan sıralaması elde edilememiştir. Basınç katsayısı değerleri her iki yönde de 0.6 istasyonunda pik yapmıştır ve grafiklerin eğimleri çok benzerdir. Sayısal çalışmada x ve y yönünde en büyük basınç düşümü 9 m/s için elde edilirken, en düşük basınç düşümü her üç kanat boyu içinde 4 m/s için elde edilmiştir. Reynolds sayısının basınç katsayıları üzerindeki etkisi değerler birbirine çok yakın olduğu için net bir şekilde gözlenememiştir.



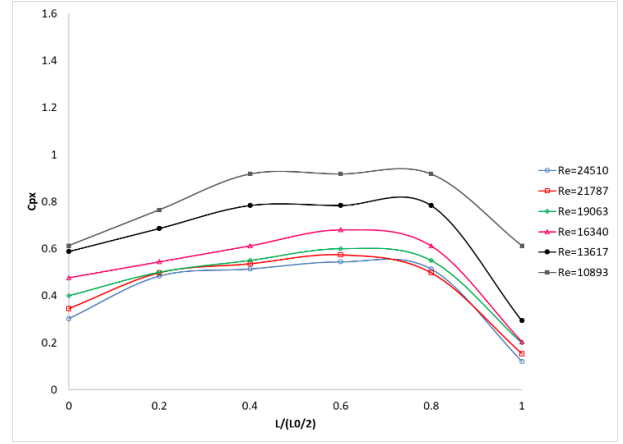
Şekil 5. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 100 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi



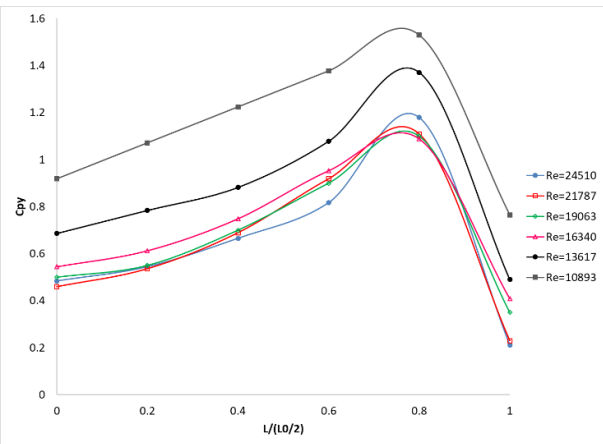
Şekil 8. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 100 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi



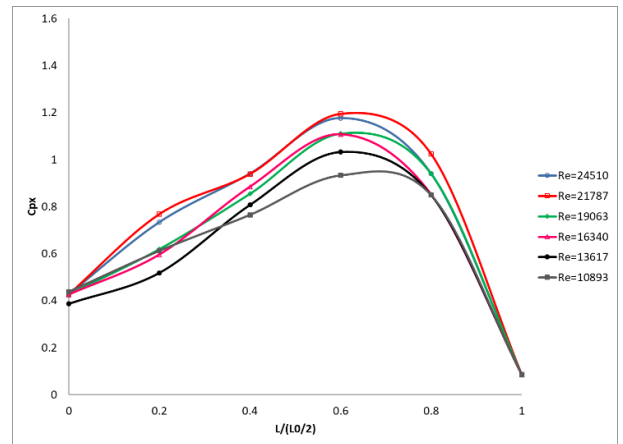
Şekil 6. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 100 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi



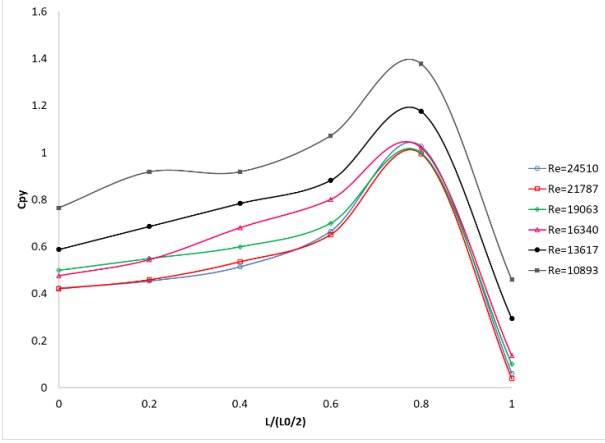
Şekil 9. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 150 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi



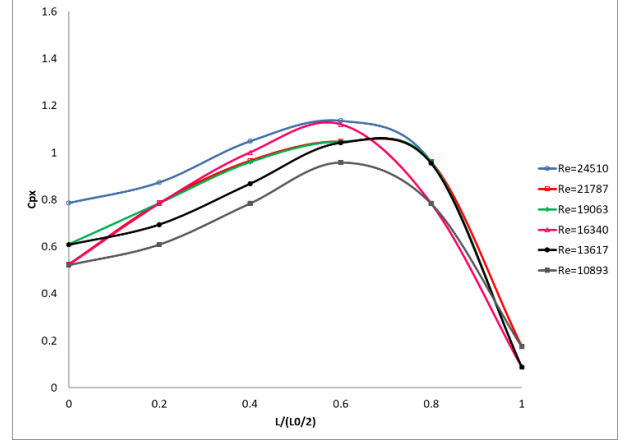
Şekil 7. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 100 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi



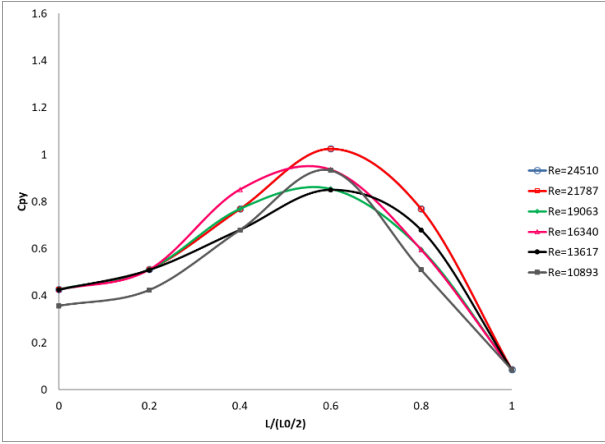
Şekil 10. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 150 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi



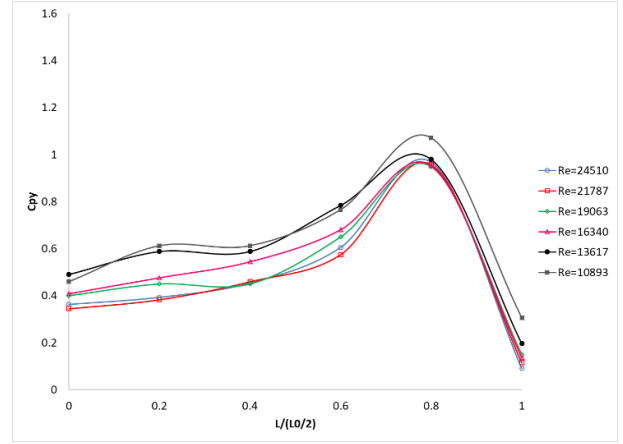
Şekil 11. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 150 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi



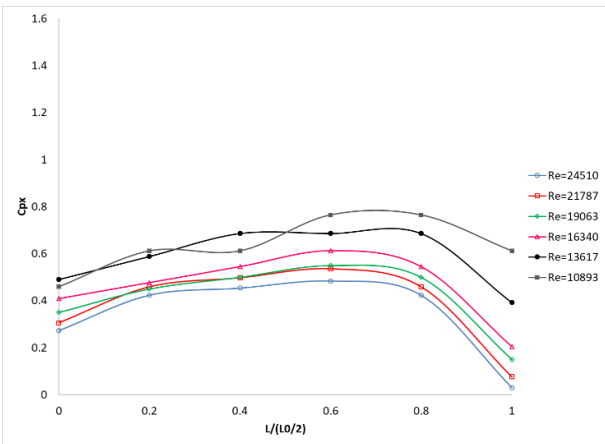
Şekil 14. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 200 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi



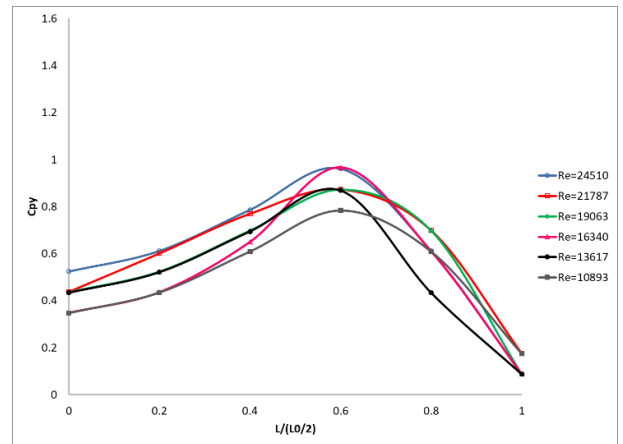
Şekil 12. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 150 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi



Şekil 15. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 200 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi

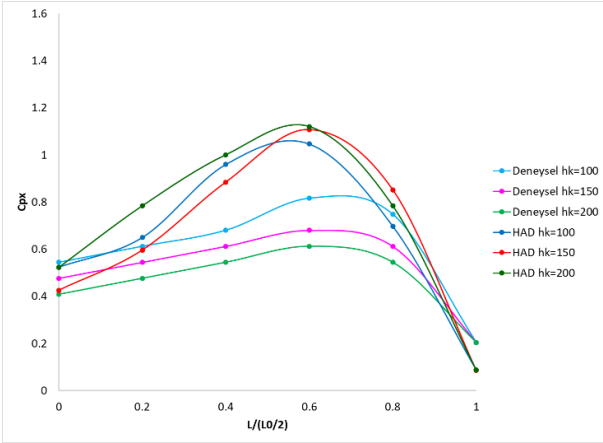


Şekil 13. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 200 mm kanat boyu için C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin deneysel analizi

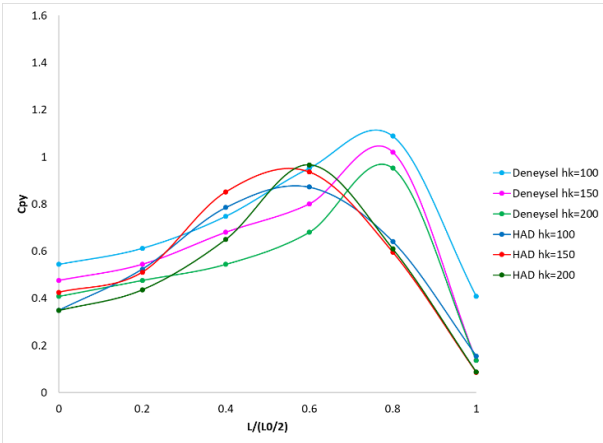


Şekil 16. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde 200 mm kanat boyu için C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişiminin sayısal analizi

Yapılan çalışma sonunda deneysel ve sayısal verilerin merteye olarak uyuştuğu görülmüştür. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki fark, x yönünde en fazla 0.4 ve 0.6 istasyonlarında gerçekleşirken, y yönünde 0.8 istasyonunda gerçekleşmiştir. Deneysel verilerle elde edilen grafiklerde kanat yüksekliğinin ve hızın etkisi daha net gözlenirken, sayısal analizle elde edilen grafiklerde bu parametrelerin basınç düşümüne etkileri net olarak gözlenememiştir. Ayrıca sayısal analizler sonucu elde edilen grafiklerde x ve y yönündeki basınç düşümünün benzer eğrilere sahip olduğu gözlenirken, deneysel verilerle elde edilen grafiklerin eğiminde farklılık olduğu gözlenmiştir.



Şekil 17. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde, Re=16340 için deneysel ve sayısal C_{p_x} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişimi



Şekil 18. Altıgen ASP-1'de Y/R=1 mesafesinde, Re=16340 için deneysel ve sayısal C_{p_y} değerlerinin istasyon mesafesi ile değişimi

5. Tartışma

Yürütülen deneysel ve sayısal çalışmaların sonunda x ve y yönünde C_p - $L/(L0/2)$ grafikleri elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal grafiklerin merteye olarak örtüştüğü görülmüştür. Deneysel ve sayısal verilerdeki bu

farklılıkların birçok nedeni olabilir. Bu farklılıkların nedenleri ve elde edilen çıkarımlar aşağıda sıralanmaya çalışılmıştır.

1. Çalışmada çarpma bölgesinde kullanılan ısı alıcılar sayesinde yüzey kararsızlığı artırılıp türbülans akışın gerçekleşmesi sağlanmıştır. Fakat akışın gerçekleştiği Reynolds sayılarında türbülans şiddeti düşük olduğu için türbülans modelleri yetersiz kalmaktadır. Çalışmada Reynolds sayısı arttıkça deneysel ve sayısal verilerin birbirine yaklaşması ve en yakın değerlerin 9 m/s hız için elde edilmesi bu olasılığı güçlü kılmaktadır.
2. Literatürde türbülans modelleme için kullanılan birçok yöntem olmasına rağmen çarpma bölgesindeki kararsızlıklar ve dönümlülük akışın modellenmesini zorlaştırmaktadır. Farklı geometriye sahip yapılar bu bölgedeki akışın modellenmesini daha da zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışma ile literatürde kullanılan paket programlarla türbülans modellemelerinin hala çok iyi seviyede analizler geliştiremediğini ortaya koymuştur.
3. Her ne kadar sayısal modelleme optimize edilmiş olsa dahi (oluşturulan sayısal ağın yetersizliği, sınır şartlarının eksik tanımlanması, uygun türbülans modelinin seçilmemesi, doğru y^+ değerinin saptanamaması, yanlış model varsayımları ve kullanılan iterasyon sayısının yeterli gelmemesi gibi) hata yada eksiklikler verilerin uyuşmamasına neden olmuş olabilir.
4. Deneysel çalışmada ortam koşullarının değişken olması, ölçüm yapılan cihazların hassasiyetinin yeterince yüksek olmaması deneysel verilerin hatalı olmasına neden olmuş olabilir.
5. Hız ve basınç ölçümlerinin yapıldığı pitot tüpünün çarpma bölgesindeki akışı etkilemesi, yüzeye çarpan akışkanın geri dönmesi sonucu negatif vakum etkisi oluşturarak gerçek değerlerin altında sonuçlar elde edilmesi deneysel ve sayısal sonuçlar arasında farkın oluşmasına sebep olmuş olabilir.

Semboller

C_p	Sabit Basınçta Havanın Özgül Isısı (J/kgK)
C_{p_x}	x Yönündeki Basınç Katsayısı
C_{p_y}	y Yönündeki Basınç Katsayısı
R	Lüle Çapı
D_h	Lüle Hidrolik Çapı (m)
ε	Isı İletim Katsayısının Yutulma Oranı
k	Tübülans Kinetik Enerjisi
Y/R	Lüle-Kanat Arası Mesafe (m)
L	İstasyon Mesafesi (m)
L_0	Test Elemanı Uzunluğu (m)
P	Basınç (Pa)
Re	Reynolds Sayısı
u_{ort}	Lüle Çıkışındaki Jet Ortalama Hızı (m/s)
u_0	Lüle Çıkışında Jet Ekseninde Mak. Hız (m/s)
$u_{i,j}$	x ve y Yönündeki Hız Bileşenleri
μ	Akışkan Dinamik Viskozitesi (m^2/s)
ν	Akışkan Kinematik Viskozitesi (m^2/s)
ρ	Akışkan Yoğunluğu (kg/m^3)
σ	Prandtl Sayısı
T	Sıcaklık (K)
Alt İndisler	
t	Türbülans
l	Laminer

Kaynaklar

- [1] Levy, Y., Rao, A.G., Erenburg, V., Sherbaum, V., Gaissinski, I., Krapp, V., 2012. Pressure losses for jet array impingement with crossflow. Proceedings of the ASME Turbo Expo 2012 June 11-15, Copenhagen, Denmark.
- [2] Angioletti, M., Nino, E., Ruocco, G., 2004. CFD turbulent modelling of jet impingement and its validation by particle image velocimetry and mass transfer measurements. Science Direct, 349-356.
- [3] Yue-Tzu, Y., Huan-Sen, P., 2009. Numerical study of the heat sink with un-uniform fin width designs, International Journal of Heat and Mass Transfer, 3473-3480.
- [4] Yakut, K., Yıldız, N., Kabakuş, A., Yeşildal, F., 2013. Optimize edilmiş altıgen kanatçıklı ısı alıcıların çarpan jetle ısı transferinde ısı ve akım karakteristiklerinin belirlenmesi, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi.
- [5] Penumadu, P.S., Rao, A.G., 2017. Numerical investigations of heat transfer and pressure drop characteristics in multiple jet impingement system. Applied Thermal Engineering 110 (2017) 1511–1524.
- [6] Kline, S.J., McClintock, F.A., 1953. Describing uncertainties in single-sample experiments. Mech Eng., 75, 3–8.
- [7] Fluent Inc., 2012. Fluent 14.5 User's Guide. Canonsburg.
- [8] Yang, Y. T., Peng, H. S., 2009. Numerical Study of the Heat Sink with Un-Uniform Fin Width Design. International Journal of Heat and Mass Transfer, 52, 3473-3480.



8 Katlı Yapının Dinamik Yükler Altında Titreşim Kontrolü

Vibration Control of an 8-Storey Building Under Dynamic Loads

Mürüvvet BATI^{1,*} , Kemal BEYEN² 

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9370-0780

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8878-0985

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 16/01/2020

Kabul Tarihi : 05/05/2020

Anahtar Kelimeler

Yapısal Kontrol
Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD)
Pasif Kontrol
Aktif Kontrol

Özet

Son yıllarda yapıların davranışını orta ve şiddetli depremler önemli ölçüde etkilemektedir. Sismik hareketler önceden nasıl olacağı tahmin edilemez ve doğa gereği önlenemez. Yapıların sismik tepkisini azaltmak amacıyla çeşitli yapısal kontrol sistemleri uygulanmaktadır. Aktif ayarlı kütle (TMD) ve pasif ayarlı kütle (PTMD) sönümleyiciler yapıların görece kat ötelemelerinin minimize edilmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada 8 katlı betonarme bir yapının dinamik yüklerin oluşturduğu tepkileri azaltmak amacıyla pasif ayarlı kütle (PTMD) ve aktif ayarlı kütle sistemleri (ATMD) ile kontrol sistemlerinin etkileri araştırılmıştır. Matlab makro kodlamayla yazılan analiz programı kullanılarak yürütülen simülasyon çalışmaları ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçlara göre yapı kat seviyelerindeki yer değiştirme ve ivme değerlerinin ATMD sisteminde sonuçların kat tepkilerini önemli ölçüde düşürürken, PTMD kat tepkilerini azaltmada daha az etkisi olmuştur.

Research Paper

Received Date : 16/01/2020

Accepted Date : 05/05/2020

Keywords

Structural Control
Tuned Mass Damper (TMD)
Passive Control
Active Control

Abstract

In recent years, significant affects have been observed on the behavior of structures in moderate and severe earthquakes. Seismic movements are unpredictable and cannot be prevented naturally. However, various structural control systems can be applied in engineering practice to limit the seismic response of the structure. Active tuned mass damping (ATMD) and passive tuned mass (PTMD) systems among them that are currently used for minimizing the relative storey offset of the structures. In this study, 8-storey reinforced concrete (RFC) structure is designed to control with passive tuned mass (PTMD) and active tuned mass systems (ATMD), which, as expected, should reduce the responses generated by the earthquake type dynamic loads. The results obtained by simulation studies carried out using Matlab macro coding analysis program were discussed in detail. According to the results, maximum displacement and acceleration values at the floor levels are significantly minimized. It is seen that the floor responses are effectively reduced in the ATMD system, while PTMD had less effect on reducing floor response.

1. Giriş

Yer kabuğu üzerinde Dünyanın oluşumundan bu yana gerçekleşen yırtılma veya kırılmalar sebebiyle pek çok deprem meydana gelmiştir. Yer kabuğundaki bu hareketler ortaya çıkan enerji hareketiyle can ve mal kaybına neden olan depremler meydana gelebilmektedir. Bu yüzden yapıları deprem gibi dinamik yüklere karşı koyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Günümüzde dinamik yüklere karşı yapının performansını iyileştirip tepkilerini azaltmak amacıyla pek çok yapısal kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Yapısal titreşimleri önlemek amacıyla en yaygın kullanılan sistemlerden biri Ayarlanmış kütle sönümleyicileridir (Tuned Mass Damper). Bir kütle, yay ve sönümleyiciye sahip TMD yapıya sonradan ilave edilerek istenmeyen titreşimleri azaltır

TMD yapıyla beraber hareket edebilir. TMD kütlesi yapı kütlelerinin %1'i kadar olup yay kütle sisteminin frekansı yapının birinci modunun frekansına ayarlanır. Ayarlı kütle sönümleyicileri genel olarak yapıya etkiyen dinamik yükleri azaltmak amacıyla yapının en üst katına yerleştirilir.

Titreşim kontrolü kavramı 1900'lere kadar dayanır. İlk olarak Frahm [15] 1909 yılında gemi makinelerinin

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): batimuruvvet@gmail.com



omurgasında titreşim sorununu önlemeye yönelik ortaya çıkmıştır. TMD kullanımı ilk teorik çalışma 1928'de Ormondroyd ve Den Hartog [1] tarafından yapılmıştır.

O zamandan beri, çok fazla farklı dinamik yüklemeler için etkinliğini araştırmak amacıyla çalışmalar yapılmış ve uygulanmıştır. TMD'ler rüzgar kaynaklı titreşimleri engellemek için yüksek yapılarda kullanılmaktadır. Örnekler arasında: Boston'daki 244 m yüksekliğindeki John Hancock Kulesi [2] İki adet 2.7 x 105 kg (300 ton) kurşun ve çelik bloktan oluşan TMD; New York'ta 280 m yüksekliğindeki Citycorp Center Ofis Binası 3.6 x 105 kg (400 ton) beton bloktan oluşan TMD [3]; New York'taki Park Binasının [4] teras kısmında dansın neden olduğu titreşimleri azaltmak için kullanılmıştır.

Sismik bölgede inşa edilen yapılar için titreşimler aşırı olabilir, bu yüzden titreşim kontrolü güvenlik ve insan konforunu sağlamak için gereklidir. Aktif kontrolün inşaat mühendisliği yapılarına nasıl uygulanacağı üzerine fikir Yao [5] 'un çalışmalarıyla açıklığa kavuşmuştur.

Bu çalışmada pasif ve aktif kontrol prosedürleri ile ilişkili detaylar genel kavramları araştıracaktır. PTMD ve ATMD uygulamalarının karşılaştırılması 8 katlı binanın sismik davranışıyla belirlenmiştir. Öncelikle kontrolsüz yapının tepkileri sonra pasif ve aktif ayarlı kütle sistemleri yapıya uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aynı zamanda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de yer alan düzensizlik limitleri kontrol edilecektir.

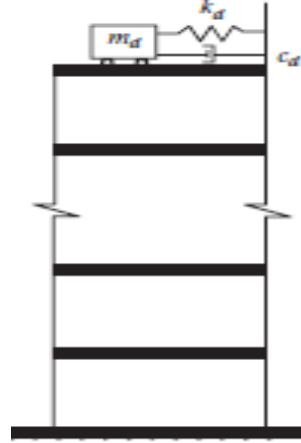
2. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemleri dışarıdan herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan yapıya yerleştirilmiş çeşitli mekanizmalarla dinamik enerjiyi ısıya dönüştürür veya üzerine alır. Bununla birlikte, pasif kontrol cihazları dışarıdan güç kaynağına ihtiyaç duymadığı için doğal olarak stabildir. Başlıca pasif kontrol sistemleri; ayarlı kütle sönümleyici (TMD), ayarlı sıvı sönümleyici (TLD), viskoelastik sönümleyici, viskoz sıvı sönümleyiciler ve metalik sönümleyicilerdir.

2.1. Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici (PTMD)

Şekil 1'de çok serbestlik dereceli bir yapı ve bu yapının en üst katına yerleştirilmiş TMD'nin modeli görülmektedir. Burada k_d , c_d ve m_d ayarlı kütle sisteminin (TMD) rijidlik katsayısı, sönüm katsayısı ve kütlelerini ifade etmektedir. TMD'nin kütlelerinin yapıya göre 180° faz dışı hareketi ile yapıyla aynı frekansta titreşir ve enerji sönümlenir. Pasif TMD'ler yapının genel olarak birinci mod tepkilerini azaltacak şekilde tasarlanır. Diğer modların da kontrolün sağlanması aktif kontrol sistemleri ile mümkün olabilmektedir.

Bir TMD'nin en basit şekli, sabitlenmiş yardımcı bir kütle yay yaylı kumanda cihazından oluşur veya Şekil 1'de gösterildiği gibi ana yapının kat seviyelerine (genellikle üst kat) yerleştirilir. Damperin frekansı belirli bir yapısal frekansa (genellikle ilk doğal frekans) ayarlanır, yapısal hareket ile bu frekans uyarıldığında, damper faz dışı rezonansa girer. Böylece yapıya etki eden kuvvetlerin enerji yayılımı damper ile elde edilebilir.



Şekil 1. Pasif Ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiş yapı

Pasif kontrol sistemi kullanılan yapıların genel hareket denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$(M_{o+} M_p) \ddot{X}_s + (C_o + C_p) \dot{X}_s + (K_o + K_p) X_s = e_s \ddot{x}_g \quad (1)$$

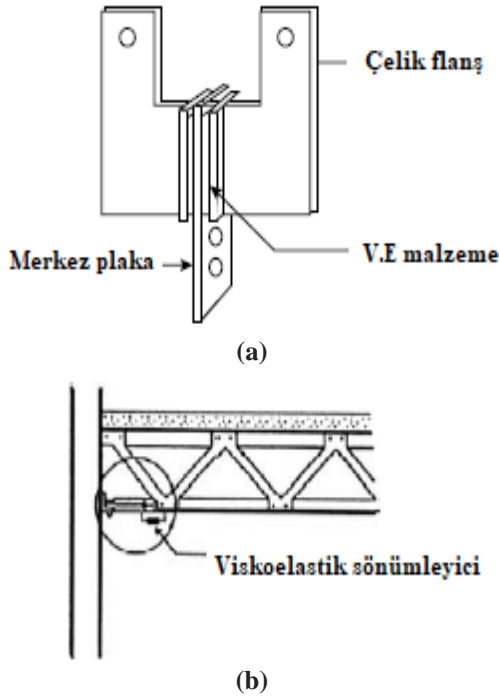
Burada M_o , C_o , K_o sırasıyla orijinal yapının kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, M_p , C_p , K_p pasif kontrol sistemin kütle rijitlik ve sönüm matrislerini ifade etmektedir. X_s pasif kontrol sistemi ilave edildikten sonra yer değiştirme vektörünü ifade etmektedir. e_s depremin yapıya etki vektörünü \ddot{x}_g ise yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

2.2. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler (TLD)

Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler (TLD), yapısal titreşim enerjisini azaltan bir TMD ile aynı temel prensibe sahiptir ve karmaşık mekanizmaları yoktur. TLD'ler de genel olarak yapısal tepkilerin maksimum olduğu en üst katlara yerleştirilir. Bir Ayarlı Sıvı Sönümleyici su veya başka bir sıvı malzeme, kütle gibi yerçekimi tarafından oluşan kuvvetle etkilenir ve sistem çalışır. Dinamik etkilerle oluşan yapısal titreşim TLD'yi harekete geçirir ve hazne içindeki sıvı hareketi ile enerji sönümlenir. TLD'ler ilk olarak gemilere uygulanırken 1980'lerde inşaat mühendisliği titreşim kontrolü olarak kullanılmaya başlanmıştır [10].

2.3. Viskoelastik Sönümleyiciler

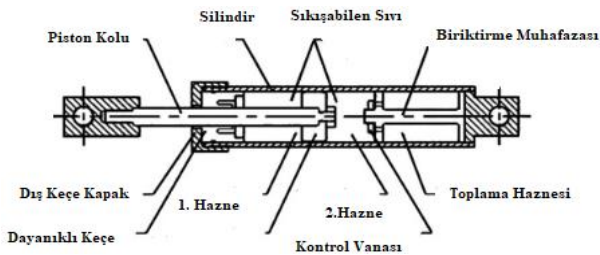
Viskoelastik sönümleyiciler viskoelastik malzemenin kesme deformasyonu yapıdaki titreşim enerjisini dağıtır ve yapı tepkilerini azaltır. Viskoelastik sönümleyicinin histerisis eğrisi eliptir ve bu sayede mükemmel enerji dağıtım kapasiteleri vardır. Viskoelastik sönümleyicilerin avantajları imalatı kolay, dayanıklılığı iyi ve düşük maliyetli olmaları olarak sıralanabilir. Hem deprem hem de rüzgâra karşı yapı kontrolünde kullanılır. Viskoelastik sönümleyicilerin dezavantajları sıcaklıktan etkilenmeleridir.



Şekil 2. (a) Viskoelastik sönümleyici, (b) Dünya Ticaret Merkezinde kullanılan viskoelastik sönümleyici detayı

2.4. Viskoz Sıvı Sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler çelik bir piston içindeki akışkan silikon veya yağ aracılığıyla çalışmaktadır. Viskoz sönümleyicilerin avantajları yoğunluğunun düşük olması, sıkıştırılmaz olması, ısıya dayanıklı olması ve geniş frekans bandında çalışabilmeleridir. Viskoz sıvı sönümleyiciler genellikle ağır sanayi ve askeri alanlarda kullanılır.

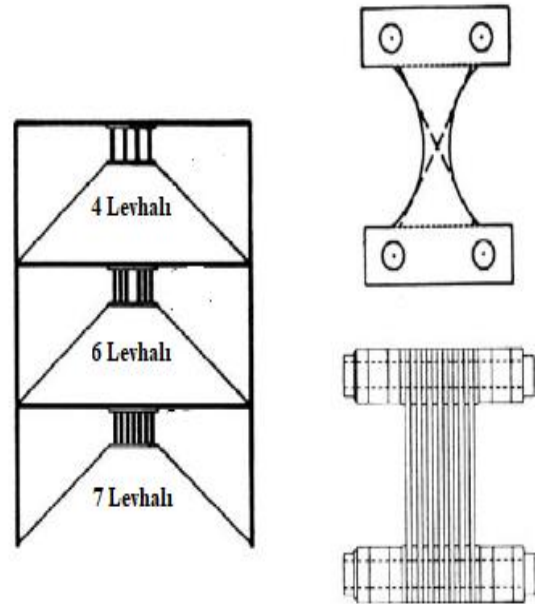


Şekil 3. Viskoz Sıvı Sönümleyici

2.5. Metalik Sönümleyiciler

Yapıya yerleştirilen metalik sönümleyicilerin elastik olmayan deformasyonu enerjiyi dağıtırlar. Bu sönümleyiciler ile enerjinin belli noktalarda yoğunlaşması sağlanır ve böylelikle taşıyıcı sistem zarar görmez. Sönümleyici şekil değiştirmesi halinde sökülebilir yerine yenisi takılabilir. Metalik sönümleyici olarak genel olarak X, üçgen veya dikdörtgen şeklinde yumuşak çelik veya kurşun malzemeler kullanılır.

Şekil 4'deki modelde ADAS olarak adlandırılan X şeklinde metalik sönümleyici yerleştirilmiş yapı ve sönümleyicinin detayı yer almaktadır. Şekilde görüldüğü üzere çelik levhalar birbirine paralel olarak yerleştirilir ve plakalar V şeklinde çelik çubukların arasına yerleştirilir.



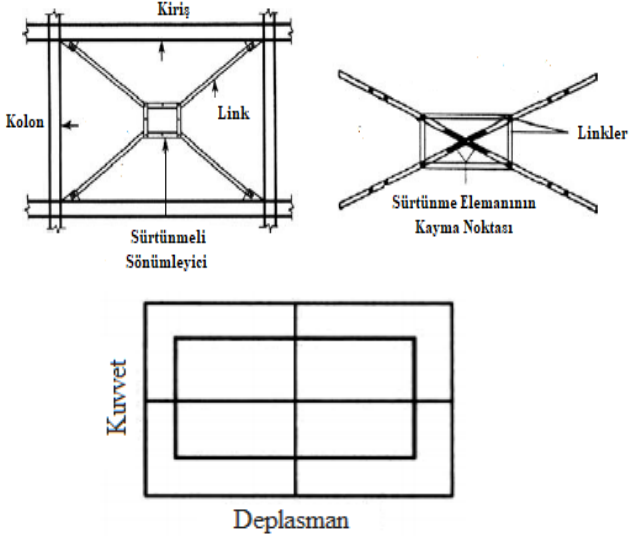
Şekil 4. X Şekilli Metalik Sönümleyici Yerleştirilmiş Yapı ve Sönümleyici Detayı

2.6. Sürtünmeli Sönümleyiciler

Sürtünmeli sönümleyiciler, yapıya eklenen kavramalar arasına yerleştirilen elemanlar aracılığıyla, hareketin kinetik enerjisini ısı enerjisine dönüştürürler. Sürtünmeli Sönümleyiciler hidrolik olarak çalışan araçlardır. Elemanlardaki kayma sürtünmesi aracılığıyla sönüm sağlanır. Sürtünmeli sönümleyicinin en bilinen örneği 1980'lerin başında Pall ve Marsh pasif sürtünmeli sönümleyicilere öncülük etmişlerdir [11]. Pall ve Marsh'ın X şekilli çubuklardan oluşan sistemleri sürtünme prensibini kullanırlar [12]. Şekil 5'de görüldüğü üzere bu elemanlar kavramalar gibi diyagonal yerleştirilmeyip kat kirişlerine paralel yerleştirilmiştir. Sürtünmeli sönümleyicilerin en önemli özellikleri, orta şiddette deprem ve rüzgâr gibi dinamik yer hareketlerinin etkileri

sonucunda kaymaya izin verilmeyecek şekilde tasarlanmış olmalarıdır.

Sürtünmeli araçlar efektif kullanım, güvenilirlik ve ekonomik olmalarından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sönümleyicilerin uzun süre mekanik özelliklerini korumak zordur. Korozyon ve sıcaklık değişimlerinden etkilenirler.



Şekil 5. Pall Sürtünme Tipi Sönümleyici ve Kuvvet Deplasman grafiği

3. Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemleri, pasif kontrol sistemlerinden farklı olarak dışarıdan güç kaynağına ihtiyaç duyar. Bu dış güç kaynağı aracılığıyla kontrol edilen tetikleyici sayesinde yapıya kuvvet uygulanır ve yapının dışarıdan gelen etkiye karşılık verdiği tepkiyi azaltacak kontrol kuvvetleri hesaplanıp uygulanır. Aktif kontrol sistemleri dış ve iç etkilerden oluşacak tepkileri kontrol edebilir.

Aktif kontrolün amacı, yapı kontrolü süresince yapıya geri besleme sisteminden kontrol kuvveti uygulanarak yapının tepkilerinin belirli sınırlar içinde tutmaktır.

Fallah ve Taghikhany (2013), sismik yüklemeye maruz kalan kablo destekli bir köprünün merkezi olmayan kontrol performansını incelemek için zaman gecikmesi H2 / LQG kontrol stratejisini kullanmışlardır [19]. Li ve Adeli (2016) 10 katlı bir yapıda, yapı parametrelerinin belirsizliklerini göz önünde bulundurarak H2 / H ∞ algoritmasını kullanarak aktif ayarlı kütle sönümleyicisiyle (ATMD) yapısal tepe tepkilerinin azaltıp gürbüz kontrol yapmışlardır [20]. Jian ve Adeli yüksek katlı yapılarda geometrik ve malzeme özelliklerinin değişimlerini içeren doğrusal olmayan aktif kontrol modeli sunmuşlardır. Model 3 boyutlu çelik bina yapıları için onaylanmıştır [21]. Pujol ve meslektaşları, histerik sistemlerin hızı dayalı aktif titreşim kontrolü hakkında bir araştırma yaptılar. Bahsedilen histerik model, doğrusal olmayan bir terimin

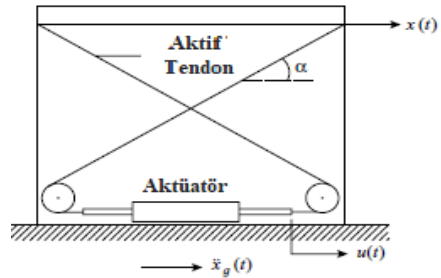
pasif bir fonksiyonla değiştirildiği Bouc-Wen modelinin bir modifikasyonuna dayanıyordu. Bu histerik modelleri kullanarak, histerik temel izolasyon yapıları üzerindeki sismik etkileri azaltmak için hızı dayalı aktif titreşim kontrol şemasının geliştirildiğini gösterdiler [22].

Başlıca aktif kontrol sistemleri; aktif kütle sönümleyicisi, aktif tendon kontrolü, aktif destek kontrolü ve darbe harekete geçirici sistem olarak sıralanabilir.

3.1. Aktif Tendon Kontrolü

Aktif tendon sistemi öngerilmeli tendonlardan ve aktüatörlerden oluşur. Öngerilmeli tendon eğik form ve çapraz formda yerleştirilir. Bu sistem için dört adet tendon ve iki aktüatör kullanılır. Tendonların ikisi yapının bir yüzüne, diğer ikisi diğer yüzüne yerleştirilir. Yapı dinamik yükler altında uyarıldığında aktüatörler tarafından verilen yer değiştirmeye tendonlar gerilme kuvvetlerinin değişimi ile yapı kontrolü sağlanmış olur.

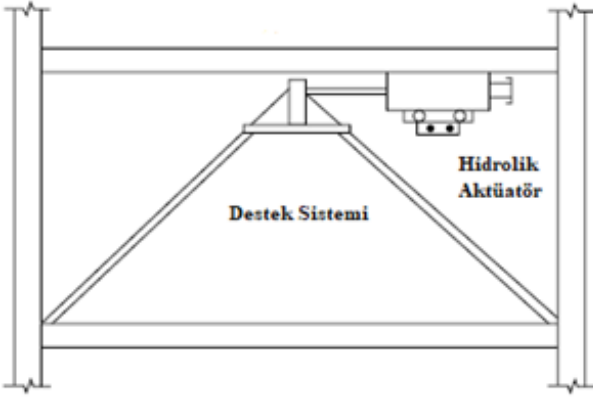
Aktif bir tendon sisteminin 6 katlı tam ölçekli uygulanması, Japonya'nın Tokyo kentinde 600 tonluk bina test edilmiştir [7]. Aktif tendon sistemleri kullanılarak kontrol edilen yapılar üzerinde gerçekleştirilen hem teorik hem de deneysel çalışmaların sonuçları yapıların tepkilerinin önemli ölçüde düşürmüştür. İnşaat mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Aktif Tendon Sistemi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Aktif Tendon Sistemi

3.2. Aktif Destek Kontrolü

Aktif destek sistemi, elektrohidrolik mekanizma tarafından yapıya eklenen öngerilmeli destek kirişleriyle sağlanmaktadır. Bu destek elemanları diyagonal, X ve K şeklinde kullanılır. Yapının çeşitli yerlerine yerleştirilmiş sensörler tarafından kontrol bilgisayarına sinyaller iletilir. Bu sinyaller kontrol bilgisayarı tarafından değerlendirilip dinamik iticiye sinyaller gönderir ve bu sinyaller dinamik itici tarafından yapının tepkilerini azaltacak doğrultuda kuvvet uygulanır. Bu sistemler yüksek katlı ve uzun açıklıklı yapılarda kullanılabilir. Bu sistemde mevcut yapısal elemanlarından yararlanılarak kontrol sisteminin maliyeti minimize edilir.



Şekil 7. Aktif Destek Sistemi

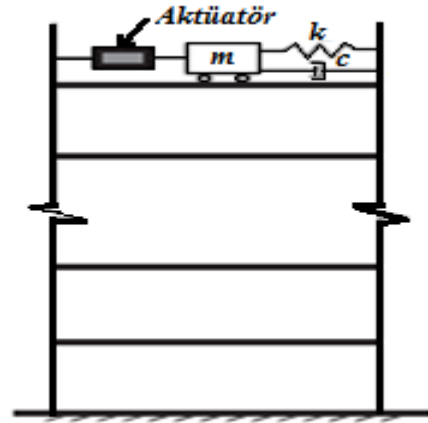
3.3. Darbe Harekete Geçirici

Bir darbe üretme sistemi, hidrolik aktüatör yerine bir darbe üretici kullanır. Darbe üreticileri, aktif bir kontrol kuvveti üretmek için pnömatis mekanizmalar kullanır. Bu mekanizmalar bir darbe tipi çalıştırma kuvveti oluşturmak için basınçlı hava kullanır, yüksek basınçlı sıvı kullanan hidrolik aktüatörlerden farklıdır. Akıllı bir yapı sisteminin çeşitli konumlara darbe yapısı yerleştirilebilir. Bu konumlardan herhangi birinde büyük bir bağıl hız tespit edildiğinde, bu konumda pnömatis aktüatör tetiklenir ve yapıya hız uygulanır. Miller ve arkadaşları altı katlı çelik bir çerçevenin en üst katına darbe üretici yerleştirerek sarma tablasında darbe üreticisiyle testler yaptılar [9] ve test sonuçları darbe üreticilerinin sismik tepki kontrolü için umut verici bir cihaz olduğunu göstermişlerdir.

Bu sistemin dezavantajları sistemi: darbe üreticileri tarafından kullanılan sıkıştırılmış gaz enerjisi ucuz olsa da, tam ölçekli binaları stabilize edecek kadar güçlü olmayabilir ve darbe üretme sistemleri kuvvet olarak yüksek doğrusal olmayan yapıya sahip olmalarıdır.

3.4. Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri

Pasif ayarlı kütle sönümleyici sistemi yapının birinci mod frekansına ayarlandığından dolayı sadece birinci modun hakim olduğu titreşim frekansında etkilidir. Deprem gibi dinamik yüklemeler daha geniş frekans aralığına sahip olduğundan pasif ayarlı kütle sönümleyicilerin eksikleri giderilerek aktif ayarlı kütle sistemleri geliştirilmiştir. Aktif ayarlı kütle sönümleyiciler dinamik yüklerin çok sayıda frekans bandı için projelendirilebilir.



Şekil 8. Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici Yerleştirilmiş Yapı

Aktif ayarlı kütle sönümleyici çalışma prensibi geri beslemeli kontrol sistemi ile çalışır. Geri beslemeli kontrol gerçek zamanlı izleme ile yapılır. Çok serbestlik dereceli sistemlerin çözümünde durum uzay denklemleri kullanılır.

$$M_s \ddot{X}_s + C_s \dot{X}_s + K_s X_s = b_s u + e_s \ddot{x}_g \quad (2)$$

$$u = -\hat{G}_d \dot{X}_s - \hat{G}_v \ddot{X}_s - G_a \ddot{X}_s \quad (3)$$

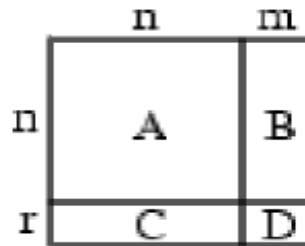
$$Z = \begin{Bmatrix} X_s \\ \dot{X}_s \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$\ddot{X}_s = -M_s^{-1} C_s \dot{X}_s - M_s^{-1} K_s X_s + M_s^{-1} b_s u + M_s^{-1} e_s \ddot{x}_g \quad (5)$$

$$\dot{Z} = AZ + Bu + Ew \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ M_s^{-1} K_s & M_s^{-1} C_s \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M_s^{-1} b_s \end{bmatrix} \quad E = \begin{Bmatrix} 0 \\ M_s^{-1} e_s \end{Bmatrix} \quad w = \ddot{x}_g \quad (8)$$



Şekil 9. Durum Uzay Gösterimi

Burada A (2nx2n) boyutlu kütle, rijitlik ve sönüm katsayılarından oluşan sistem matrisidir. B (2n x m) boyutunda kontrol kuvveti yer matrisi ve E (2n x r) boyutunda dış kuvvet matrisidir. Aktif kontrol sisteminde, kontrol kuvvetinin aktive olabilmesi için gerekli enerji miktarının büyük olması enerji kaynağı sorununu oluşturur. Büyük aktif kontrol sistemlerinin kullanılması ve enerji kaynağının yerleştirilmesi ve bakımı maliyet sorununu oluşturur.

Farklı yapısal güvenlik seviyeleri için aktif kontrol sistemlerinin kullanımı etkili enerji dağıtım sistemlerinin uygulanması için büyük enerji kaynağına ihtiyaç vardır (Enerji kaynağı sorunu). Bu sistemler yapı kullanımına göre kontrol sistemi ve enerji kaynağının yapıya yerleştirilmesi ve sistemin istikrarlı çalışabilmesi için bakımı kaçınılmazdır (Maliyet sorunu). ATMD sayesinde yapısal güvenlik, insanların yaşam konforu ve yapıda önceden belirlenmiş noktada izin verilen sınır değerler sağlanabilir. Ancak ATMD kontrol kullanmasında maliyetin önemli bir kısıtlama olduğu görülmektedir. Bu yüzden klasik en uygun kontrol algoritmasında belirli performans indeksi tanımlanır. Performans indeksi J yapıyı ifade eden Z(t) ve yapıya uygulanması gereken kontrol kuvveti U(t) ye bağlıdır.

$$J = \int_0^t [z^T(t)Qz(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \quad (9)$$

Yapısal kontrol için performans indeksi ikinci derecedir. Denklemde T ifadesi matrisin transpoze edilmesini, Q (2nx2n) boyutlu pozitif yarı tanımlı matris olup güvenliği, R (m x m) pozitif tanımlı matris olup maliyeti ifade eder. R ve Q birbiri ile ters orantılı olarak çalışır. Bu yüzden aynı anda minimize edilemez. Optimal kontrol kazancı:

$$u(t) = -G(t)Z(t) \quad (10)$$

$$G(t) = -\frac{1}{2}R^{-1}B^T P(t) \quad (11)$$

$$u(t) = -\frac{1}{2}R^{-1}B^T P(t)Z(t) \quad (12)$$

Burada G(t) kontrol kazancı matrisidir. Geri besleme kazancı matrisi pozitif tanımlıdır, kapalı döngü sistemi kararlı ve asimptotiktir. Ricatti matrisi olarak bilinen P simetrik matrisi aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\dot{P}(t) + P(t)A - \frac{1}{2}PBR^{-1}B^T P(t) + A^T P(t) + 2Q = 0 \quad (13)$$

Ricatti matrisi büyük ölçüde yapısal özelliklere ve ağırlık matrislerine bağlıdır. Ricatti matris P'nin deprem süresince sabit olduğu önerilir[6]. Kontrol sistemi, Ricatti matrisinin sabit bir matris olduğu varsayılır; dolayısıyla denklem (12)'nin ilk terimi, P't'nin deprem süresinden daha uzun olması koşulu ile sıfır alınabilir [6]. Bu sayede matrisin basitleştirilmesine yol açıp cebirsel denklemler için daha az hesaplama süresi harcanacaktır.

Deplasmanları bulmak için denklem (6) da u(t) denklemi yerine konulduğunda aşağıdaki şekli alır.

$$\dot{Z}(t) = (A + BG)Z(t) + Ew \quad (14)$$

4. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 Yapı Tasarımı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de(TBDY-2018) yapı tasarımında uygulanması gereken temel ilkeler: taşıyıcı sistemin sadeliği ve basitliği, düzenli ve simetrik olarak düzenlenmesi, yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmasının yanı sıra taşıyıcı sistemin yeterli süneklikte tasarlanması vurgulanmaktadır.

TBDY-2018'e göre: sismik hareketler, yapı modelleme ve yapısal elemanlarının davranışlarındaki belirsizlikler yanı sıra analiz ve tasarım metodlarındaki yaklaşımlar sebebi ile yapının deprem davranışının öngörülebilir olmasını sağlamak için taşıyıcı sistemin olabildiğince sade ve basit olması, deprem etkisi altında yapı tasarımının esas kuralıdır [16]. Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken yapılara düzensiz binalar denir. Aşağıda TBDY-2018'e göre yapılarda bulunan düzensizlik türleri ve sınır durumları verilmiştir.

4.1. Deprem Yönetmeliğine Göre Yapılardaki Düzensizlik Türleri

TBDY-2018'de belirtilen deprem etkisi altındaki düzensiz binalar türleri planda ve düşeyde olarak iki türdür. Aşağıdaki tablo 1'de planda düzensizlik durumları verilmiştir.

Tablo1. Planda Düzensizlik Durumları

A-Planda Düzensizlik Durumları

- A1 -Burulma Düzensizliği
- A2-Döşeme Süreksizlikleri
- A3-Planda Çıktılar Bulunması

B-Düşeyde Düzensizlik Durumları

- B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)
- B1-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)
- B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

4.1.1. Burulma Düzensizliği (A1)

A1 tipi düzensizlik, birbirine dik iki doğrultudaki depremden herhangi biri için, bir kattaki maksimum görelî yer değiştirmenin ortalama görelî yer değiştirmeye oranı olarak hesaplanan bir burulma düzensizliği katsayısına bağlı olarak tanımlanmaktadır.

$$(\Delta_i)_{ort} = \frac{1}{2} [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] \quad (15)$$

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{max} / (\Delta_i^{(x)})_{ort} > 1.2 \quad (16)$$

Kendi düzlemleri içerisinde döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması durumunda kullanılacak formül yukarıda verilmiştir. $(\Delta_i^{(x)})_{max}$ binanın i'nci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi, $(\Delta_i)_{min}$ binanın i'nci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi, $(\Delta_i^{(x)})_{ort}$ binanın i'nci katındaki ortalama azaltılmış görelî en düzensizliği katsayısıdır.

4.1.2. Döşeme Süreksizlikleri (A2)

Kat seviyesindeki boşluk alanlarının toplamının brüt döşeme toplam alanının 1/3'ünü geçmesi, deprem yüklerinin aktarımını engelleyecek lokal döşeme boşluklarının olması ve kat seviyesindeki döşemelerde düzlem içi rijitlik ve dayanımlarında azalmaların bulunması döşeme süreksizlikleri durumlarıdır.

4.1.3. Planda Çıkıntılar Bulunması (A3)

Yapı kat planlarında çıkıntı olan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, yapının o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu [16].

4.1.4. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)(B1)

Geçmiş depremlerde dolgu duvarların zemin katlarda üst katlara göre az veya hiç bulunmayan yapılar da büyük hasarlar meydana gelmiştir. Zemin katlarda yapının düşey rijitliğinin az olması yatay deplasmanlara karşı direncinin az olmasına sebep olur. Düşey yönde rijitlik süreksizliği bulunan katlar zayıf kat olarak tanımlanır. Geniş alanlar sağlamak amacıyla ticari amaçlı kullanılan mekanlarda dolgu duvar örülmeyen veya yüksek yapılar da zemin katın kat yüksekliğinin göreceli olarak fazla olması durumlarında yapıların deprem gibi dinamik yükler altında hasar almasına sebep olur.

Betonarme yapılar da Dayanım Düzensizliği, herhangi bir birbirine dik iki deprem doğrultusunun, herhangi bir kat için toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı 0.80'den küçük olması durumudur.

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (17)$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı tanımı :

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i \quad (18)$$

Denklem (17-18)'de yer alan ; η_{ci} Dayanım Düzensizliği Katsayısı , $\sum A_e$ herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki etkili olan kesme alanı, $\sum A_g$ herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının alanlarının toplamı, $\sum A_k$ herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kâgir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı, $\sum A_w$ herhangi bir katta, kolon en kesiti etkin gövde alanlarının toplamını ifade etmektedir [16].

4.1.5. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)(B2)

Rijitlik Düzensizliği, bodrum katlar hariç, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının 2.0'i aşması durumudur.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (19)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (20)$$

Denklem (19-20)'de $(\Delta_i)_{ort}$ binanın i'nci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelenmesi, η_{ki} yumuşak kat düzensizliği katsayısı h_i ise görelî kat yüksekliğidir.

4.1.6. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3)

Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizlik durumları: kolon veya perde elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak guseli kolonların veya kirişlerin üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur. TBDY-2018 binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki

kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

4.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 Açısından Yapısal Kontrol Gerekliliği

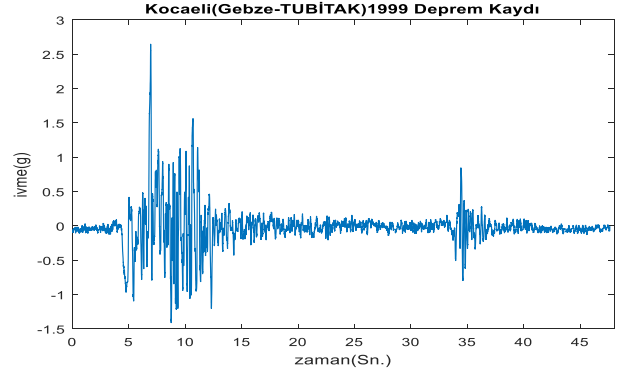
Geçmişteki depremlere bakıldığında tasarım ve yapım aşamasından kaynaklanan kusurlar sebebiyle yapılar ciddi hasarlar almışlardır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre düzensiz binalar ile ilgili yapının hem düşeyde hem yatayda sınır koşullar ile yapının dinamik yükler altında taşıyıcı sisteminin kararlı bir davranış göstermesi amaçlanmıştır. Zayıf kat düzensizliği sınırlaması ile yapının kolon ve perde gibi taşıyıcı elemanların yeterli kesitte tasarlanmasını, yumuşak kat ve burulma düzensizliği sınırlaması ile yapının ötelenme oranlarını kontrol altına almayı amaçlanmıştır. TBDY-2018'in yapı için belirlediği limit durumları aşmamak ve yapı dinamik karakterini geliştirmek amacıyla hem mevcut hem de yeni yapılacak binalara yapısal kontrol sistemleri uygulanabilir.

Düzensiz yapıların karmaşık yanıtlarını, uygun kontrol tasarımıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Yang ve Huang asimetrik plana sahip ve burulma davranışı gösteren düzensiz yapı sistemlerinin sismik izolasyonla iyileştirilmiştir [17]. Goel asimetrik yapıya ilave edilen damperlerin yapı deformasyonlarına etkilerini araştırmıştır [8]. Jangid ve Datta Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyiciler ile yapının burulma davranışını incelemişlerdir [18]. Lin ve Chopra tek katlı asimetrik yapıda ilave viskoz sönümleyici etkilerini araştırmışlardır [14].

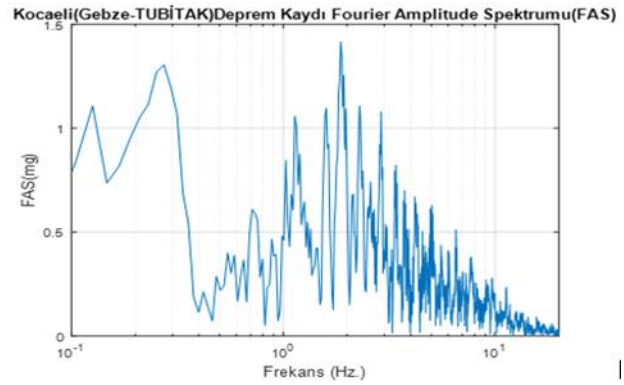
5. Sayısal Çalışma

Yapı kontrol algoritmasının etkinliği 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi'nin Gebze-TUBİTAK izleme istasyonu kayıtları kullanılarak belirlenmiştir. Bina türü konutların deprem sonrası gözlenen hasar dağılımları incelendiğinde, ülkemizde sıklıkla yaşadığımız depremlerin ortak karakteristiği olarak yanal atım fay mekanizmasının tetiklediği bir deprem olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Gebze istasyon kaydı şekil 10' da gözlenen frekans içeriğiyle seçilmiştir. Çalışma depremi Kocaeli Gebze kaydı kaynak mekanizmasının, kırılım, yayılım, yönelim etkilerinin izlendiği frekansları yeterli genlik büyüklükleriyle barındırmaktadır [23, 24]. Öte yandan, şehirlerimizde genelde hâkim olan 6 - 8 katlı betonarme binaların sahip oldukları hâkim frekans bandı (0.5 sn. (2.0 Hz.) – 0.8 sn. (1.25 Hz.) band aralığı Şekil 10(b) 'de gözlenen genlik-frekans içerikleriyle yapı davranışına dikkat çeken mertebelerde etki verdiği önceki çalışmalardan bilinmektedir [23, 24, 25]. Bu çalışmada amaçlanan değişik kontrol benzeşim çalışmalarının

performansları gerçek sına şartlarında test edilmiş olacaktır. Yapı parametreleri ve hem pasif hem de aktif kontrol için yapıya yerleştirilen ayarlı kütle sönümleyici parametreleri tablo 2'de verilmiştir. Simülasyon çalışmaları makro kodlarla Matlab [13] programında yazılarak yürütülmüş ve sonuçları aşağıda tartışılmıştır.



a)



b)

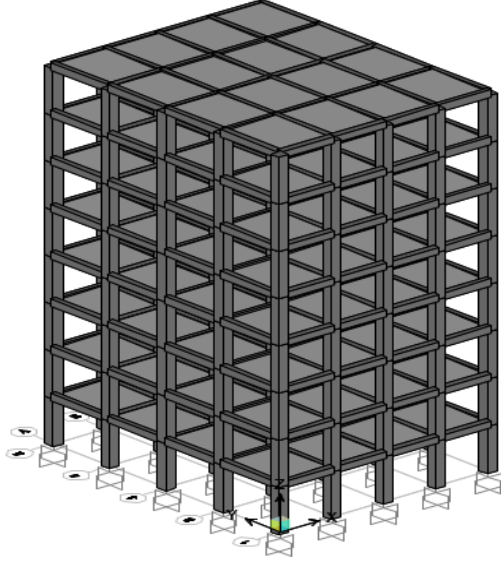
Şekil 10. a)Kocaeli (Gebze-TUBİTAK) 1999 Deprem Kaydı b) Fourier Amplitude Spektrumu (FAS)

$$M = \begin{bmatrix} m1 & & & 0 \\ & m2 & & \\ & & m3 & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & mn \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$K = \begin{bmatrix} k1 + k2 & -k2 & & & 0 \\ -k2 & k2 + k3 & -k3 & & \\ & -k3 & k3 + k4 & \ddots & \\ & & & \ddots & \\ 0 & & & & -kn \\ & & & & -kn & kn \end{bmatrix} \quad (22)$$

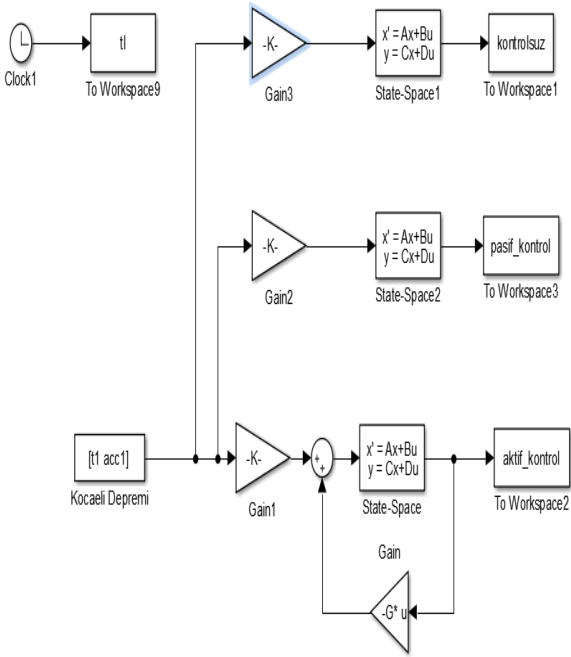
$$C = \begin{bmatrix} c1 + c2 & -c2 & & & 0 \\ -c2 & c2 + c3 & -c3 & & \\ & -c3 & c3 + c4 & \ddots & \\ & & & \ddots & \\ 0 & & & & -cn \\ & & & & -cn & cn \end{bmatrix} \quad (23)$$

M, C, K sırasıyla n serbestlik dereceli yapının kütle, rijitlik ve sönüm matrislerini ifade etmektedir.



Şekil 11. 8 Katlı Yapının Sonlu Eleman Modeli (SEM)

R ağırlık matrisinin köşegen elemanları 10^{-4} ve diğer elemanlar sıfır olarak seçilmiştir. $Q=[1 \ 1 \ 0 \ 0]$ olarak diyagonal oluşturulmuştur. Q matrisine değeri 10^3 seçilen bir çarpım katsayısı uygulanmıştır. Şekil 11’de Matlab-Simulink ortamında 8 katlı yapının kontrolü için kullanılan model yer almaktadır. Yapının kontrolsüz, pasif ve aktif kontrollü durumları makro kodlar kullanarak simülasyon yürütülmüştür.



Şekil 12. Matlab-Simulink Ortamında 8 Katlı Yapının Durum-Uzay(State-Space) Modeli

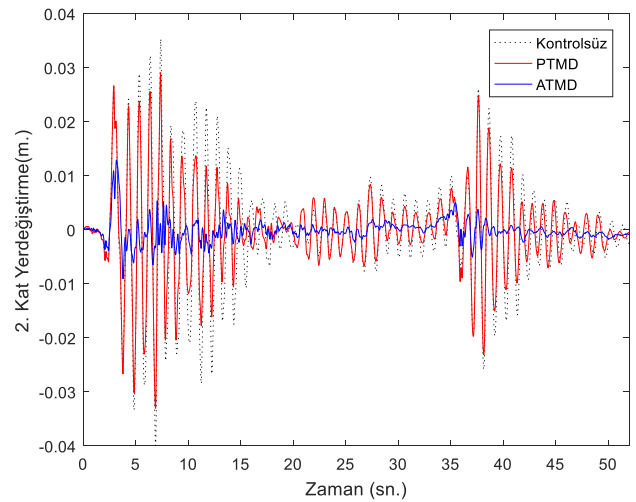
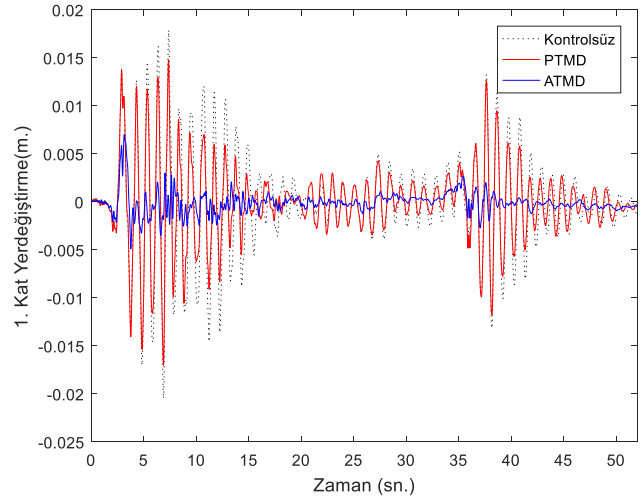
Tablo 2. a) Yapı Parametreleri; b) Ayarlı Kütle Sönümleyici Parametreleri

(a)

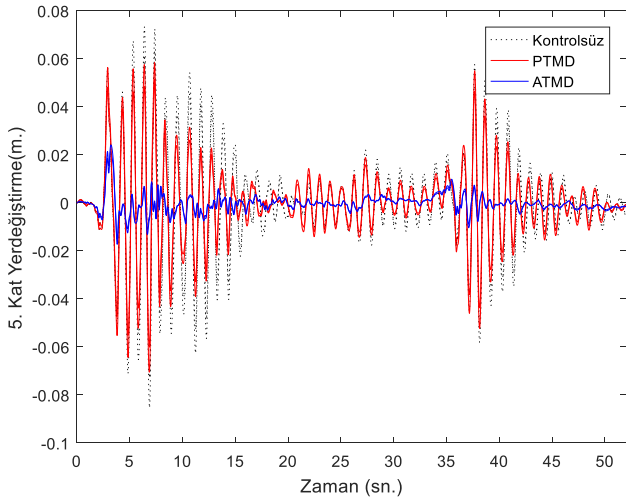
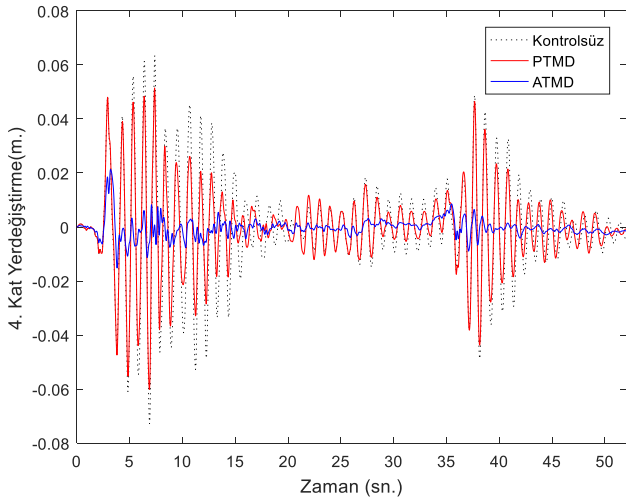
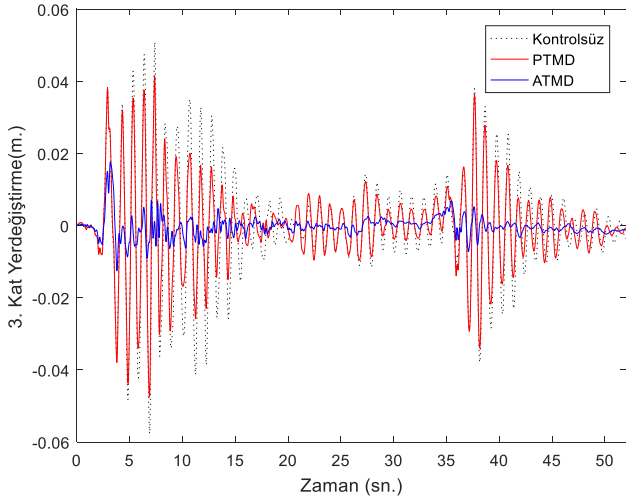
	Kütle(kg)	Rijitlik(kN/m)	Sönüm(kN.s/m)
1. Kat	340000	390500	29400
2. Kat	340000	390500	29400
3. Kat	340000	390500	29400
4. Kat	340000	390500	29400
5. Kat	340000	390500	29400
6. Kat	340000	390500	29400
7. Kat	340000	390500	29400
8. Kat	340000	390500	29400

(b)

	md(ton)	kd(kN/m)	cd(ton.s/m)
PTMD/ATMD	45	980	80

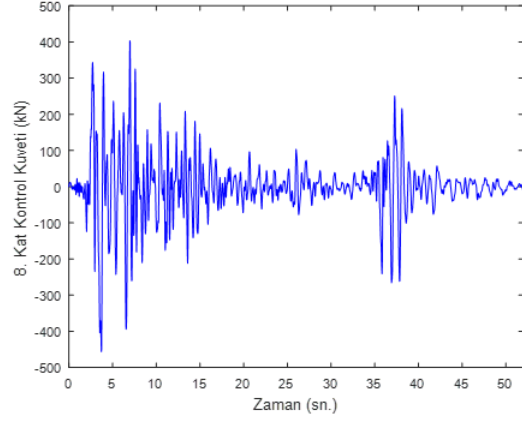


Şekil 13. Deprem etkisi altında kontrolsüz, PTM, ATMD 1. ve 2. kat yer değiştirme grafiği

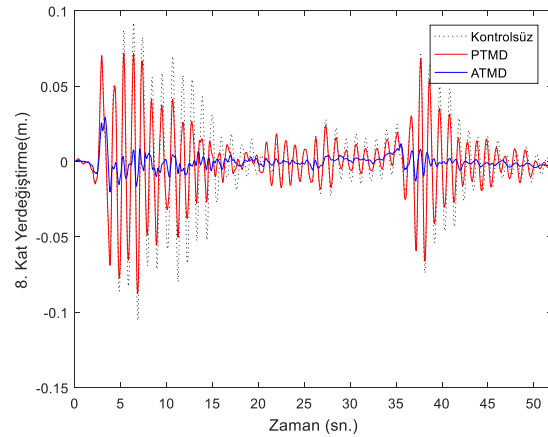
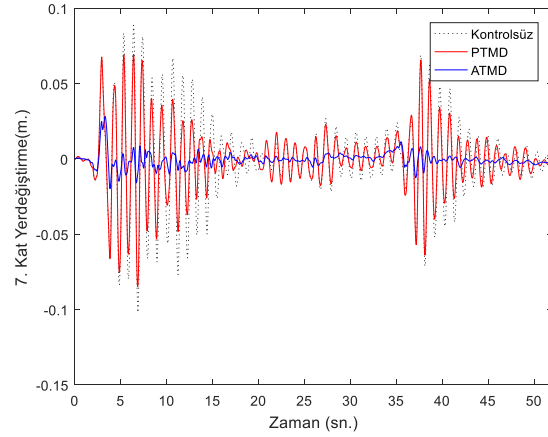
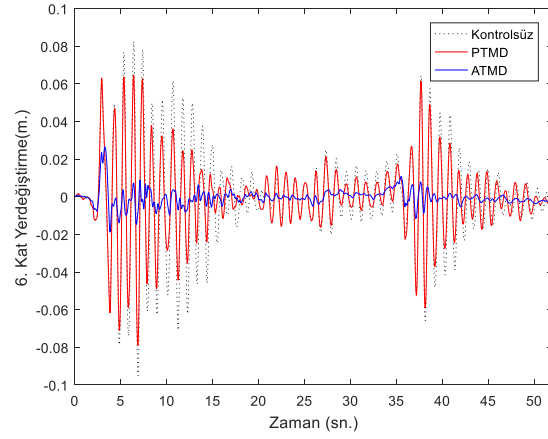


Şekil 14. Deprem etkisi altında kontrolsüz, PTM, ATMD 3. ,4. ve 5. kat yer değiştirme grafiği

Şekil 15'de Aktif kontrol esnasında yapıya gelen deprem kuvvetine karşılık yapı tepkisini azaltacak geri beslemeli kontrol kuvveti grafiği yer almaktadır.

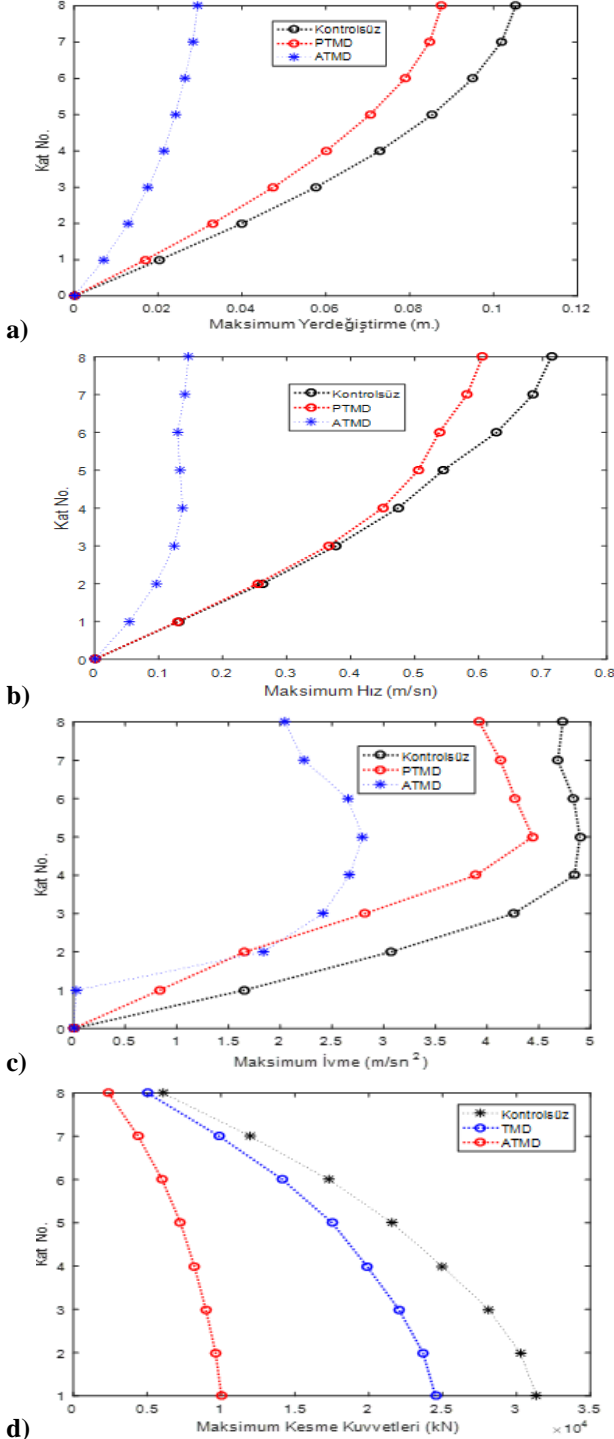


Şekil 15. 8. Kat kontrol kuvvetleri



Şekil 16. Deprem etkisi altında kontrolsüz, PTM, ATMD 6. ,7. ve 8. kat yer değiştirme grafiği

Şekil 13,14,16' da Kocaeli-1999 (Gebze-TUBİTAK) deprem kaydı altında yapının kat seviyelerinin yer değiştirme zaman grafikleri yer almaktadır. Ayarlı kütle sönümleyicinin yapı kat etkilerini nasıl etkilediği en iyi en üst kat tepkileri incelendiğinde anlaşılır. En üst kat seviyesinde yapı PTMD'la kontrol edildiği durumdayken en üst katın yer değiştirme tepkilerinde %21 azalma varken, ATMD'la kontrol edildiği durumda bu azalma %70' tir.



Şekil 17. a) Kat Seviyesi Maksimum Yer değiştirme; b) Kat Seviyesi Maksimum Hız; c) Kat Seviyesi Maksimum İvme; d) Kat Seviyesi Maksimum Kesme Kuvveti.

Şekil 17' de kontrolsüz, pasif ve aktif kontrollü yapının kat seviyelerindeki maksimum yer değiştirme, hız, ivme ve kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Aktif kontrollü durumda pasif kontrollü duruma göre yapının kat seviyesi maksimum tepkilerini azaltmada daha etkili olduğu görülmektedir.

Tablo.3 TBDY 2018'e Göre Yapı Düzensizlikleri ve Görelî Kat Ötelemesi Kontrol Sonuçları

	B2 Düzensizliği	Görelî Kat Ötelemesi
Kontrolsüz	2.ve 8. Kat	5.,6.,7. ve 8. Kat
Pasif Kontrol	8. Kat	7. ve 8. Kat
Aktif Kontrol	X	X

Tablo 3'te Yapıdaki düzensizliği ve görelî kat ötelenmelerinin giderilmesinde aktif kontrolün daha etkili olmuştur.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada 8 katlı bir yapının dinamik yükler altında pasif ve aktif kontrol sistemleri kullanılarak yapının davranışları araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Yapı kontrolü için binanın en üst katına ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiştir. Kocaeli-1999 (Gebze-TUBİTAK) deprem kaydı altında yapı davranış simülasyon çalışmalarında, yapıda aktif kontrolün pasif kontrole göre kat tepkilerinde önemli ölçüde azalma ve yapı düzensizliklerinin giderilmesinde de daha etkili olduğu gözlenmiştir. Q matrisinde büyük değerler seçilmesi durumunda veya R matrisine küçük değerler seçilmesi durumunda maliyetin artmasına sebep olabilir. Kontrolün optimum olması açısından Q ve R ağırlık matrislerinin seçimi konusunda günümüzde çalışmalar sürmektedir. Yapı kontrol sistemleri, hem yeni yapılacak yapılarda hem de mevcut yapıların veya hasarlı yapıların güçlendirilmeleri için de kullanılabilir.

Kaynaklar



- [1] Ormondroyd, J., and Den Hartog, J. P., (1928), "The theory of dynamic vibration absorber," Trans. ASME APM-50-7, pp. 9-22.
- [2] Hancock Tower now to get dampers," (1975), Engineering News Record, Oct. 30, p. 11.
- [3] "Tuned mass dampers steady sway of sky scrapers in wind," (1977), Engineering News Record, Aug. 18, p. 28-29.
- [4] Webster A. C. and Vaicaitis R., (1992), "Application of tuned mass dampers to control vibrations of composite floor systems," Engineering 1., AISC, pp. 116-124.

- [5] Yao, J.T.P., Concept of structural control. J. of Struct. Div., ASCE, 98(ST7), pp. 1567-1 574, 1972.
- [6] Yang, J. N., Akbarpour, A. and Ghaemmahami, P. (1987) New optimal control algorithms for structural control. Journal of Engineering Mechanics Division, Vol. 113, No. 9, pp. 1369-1386.
- [7] Soong, T. T. (1990) Active Structural Control: Theory and Practice, 2nd edn., John Wiley.
- [8] Goel, R. K. (1998). Effect supplementing viscous damping on seismic response of asymmetric-plan systems. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 27: 125-141.
- [9] Miller, R.K. et al., Active vibration control of large civil structures, ASCE Journal of Engineering Mechanics, 114, 1542, 1988.
- [10] Bauer, H.F., Oscillations of invincible liquids in a rectangular container: a new damper for excited structures, Journal of Sound and Vibration, 93, 117, 1984.
- [11] Pall, A.S. and Marsh, C., Response of friction damped braced frames, ASCE Journal of Structural Division, 108, 1313, 1982.
- [12] Pall, A. et al., Friction dampers for seismic control of Canadian Space Agency headquarters, Earthquake Spectra, 9, 547, 1993.
- [13] Matlab Release 2016a of MathWorks Inc., USA, 2016.
- [14] Lin, W. H., and Chopra, A. K. (2003a). Asymmetric one-story elastic system with non-linear viscous and viscoelastic dampers: earthquake response. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 32: 555-577.
- [15] Frahm, H. (1911). Device for damping of bodies, U.S. Patent, No. 989958.
- [16] TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [17] Yang, Y.B. and Huang, W.H., "Equipment Structure Interaction Considering the Effect of Torsion and Base Isolation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 27, 155-171, 1998.
- [18] Jangid, R. S. and Datta, T. K. (1997). Performance of multiple tuned mass dampers for torsionally coupled system. Earthquake Engineering and Structural Dynamics (USA). 26, 307-317.
- [19] Fallah, A.Y., and Taghikhany, T. (2013). "Time-Delayed Decentralized H2/LQG Controller for Cable-Stayed Bridge Under Seismic Loading." Structural Control and Health Monitoring, 20(3), 354-372.
- [20] Li, Z., and Adeli, H. (2016). "New Discrete-time Robust H2/H ∞ Algorithm for Vibration Control of Smart Structures using Linear Matrix Inequalities." Engineering Applications of Artificial Intelligence, 55: 47-57.
- [21] Jiang, X., and Adeli, H. (2008a). "Dynamic Fuzzy Wavelet Neuroemulator for Nonlinear Control of Irregular High Rise Building Structures." International Journal for Numerical Methods in Engineering, 74 (7): 1045-66.
- [22] Pujol, G., Acho, L., Pozo, F., Rodríguez, A. & Vidal, Y. 2011. A velocity based active vibration control of hysteretic systems. Mechanical Systems and Signal Processing, 25, 465-474.
- [23] Beyen, K., 2019. Hanging Wall and Footwall Effects in the Largest Reverse-Slip Earthquake of Turkey, October 23, 2011, M W 7.2 Van Earthquake. Arabian Journal for Science and Engineering, 44, 4757-4781.
- [24] Beyen, K., Erdik, M., 2004. Two Dimensional Nonlinear Site Response Analysis of Adapazari Plain and Predictions Inferred From Aftershocks of The Kocaeli Earthquake, 17 August 1999, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24 (2004) 261-279.
- [25] Beyen, K., Tanırcan, G., 2015. Strong ground motion characteristics of the 2011 Van Earthquake of Turkey: Implications of seismological aspects on engineering parameters. Earthquakes and Structures, 8(6), 1363-1386.



İzmit Körfezinin Güneyindeki Kütle Hareketlerinin Kırık Sistemleri İle İlişkisinin Alos Palsar Verisi Kullanılarak İncelenmesi

Investigation Of The Relationship Of Mass Movements With Fracture Systems Using Alos Palsar Data In South Of İzmit Bay

Ali YAĞIZEL¹ , Aziz ÖZYAVAŞ^{2,*} 

¹ Jeoloji Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3859-0707

² Jeoloji Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4178-2750

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 26/02/2020

Kabul Tarihi : 06/05/2020

Anahtar Kelimeler

Kütle Hareketi
Çizgisellik
ALOS-PALSAR
Kocaeli

Research Paper

Received Date : 26/02/2020

Accepted Date : 06/05/2020

Keywords

Mass Movement
Lineation
ALOS-PALSAR
Kocaeli

Özet

Kütle hareketlerinin büyük veya küçük ölçekte olması fark etmeksizin insanların canlarına ve mallarına büyük ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenle kütle hareketlerini tetikleyen unsurların tespit edilmesi oldukça önemlidir. Çalışma alanı tektonik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle çalışma sahasında oluşan kütle hareketlerini tetikleyen en önemli faktörlerden birisinin depremsellik olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kütle hareketlerinin sık olarak meydana geldiği Kocaeli'nin Gölcük ve Başiskele ilçelerinde yer alan çizgisellikler ileri yer gözlem uydusu (ALOS) ile taşınan aşamalı donanımlı L – bant tipindeki sentetik açıklıklı radar (PALSAR) seviye 1.5 görüntüsü kullanılarak haritalanmıştır. RADAR verisine uyarlanabilir lokal sigma filtreleme işlemi uygulanarak görüntüdeki benekler ortadan kaldırılmış ve yönlü filtreleme işlemi uygulanarak çizgisellikler tespit edilmiştir. Tespiti yapılan çizgisellikler için yapısal jeolojik unsurlar dışında hiçbir yapı dikkate alınmamıştır. Çalışma bölgesinde daha önce belirlenmemiş muhtemel kırık veya kırık sistemleri ilk kez PALSAR uydu verisi kullanarak haritalanmıştır. Belirlenen çizgisellikler ile bölgede daha önce haritalanmış kütle hareketleri arasındaki ilişkiye dayanarak kütle hareketlerini tetikleyen önemli unsurlardan birisinin de malzeme ve geometri özellikleri ile birlikte olası kırık veya kırık sistemlerinin olabileceği sonucuna varılmıştır.

Abstract

Regardless of whether mass movements are large or small, they greatly harm people's lives and property. For this reason, it is quite significant to determine the factors that trigger landslides. The study area is located in an active tectonic region. Therefore, it has been thought that one of the most important factors that trigger mass movements in the study area is the seismicity. In this work, the lineations in Gölcük and Başiskele districts of Kocaeli province where mass movements occur frequently were mapped using the Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) onboard the the Advanced Land Observing Satellite (ALOS) level 1.5 image. The speckles in the radar image were eliminated by applying a local sigma filtering and then, the lineations were determined by implementing a directional filter to the data. Structures other than geological lineations were not taken into account for the detected linearities. For the first time, probable fracture systems in the study area that had not been previously identified were mapped using the PALSAR image. It is concluded that, along with the properties of materials and their geometries, the probable fractures or fracture systems are one of the primary factors that trigger mass movements based on the relationship between the determined linearities and the mapped mass movements in the study area.

1. Giriş

Doğal afetler arasında yer alan kütle hareketleri dünya

üzerinde çok sayıda meydana gelen birçok can ve mal kaybına neden olan doğal afet çeşitlerinden bir tanesidir. Kütle hareketleri ile ilgili analizlerin yapılması, bu alanların

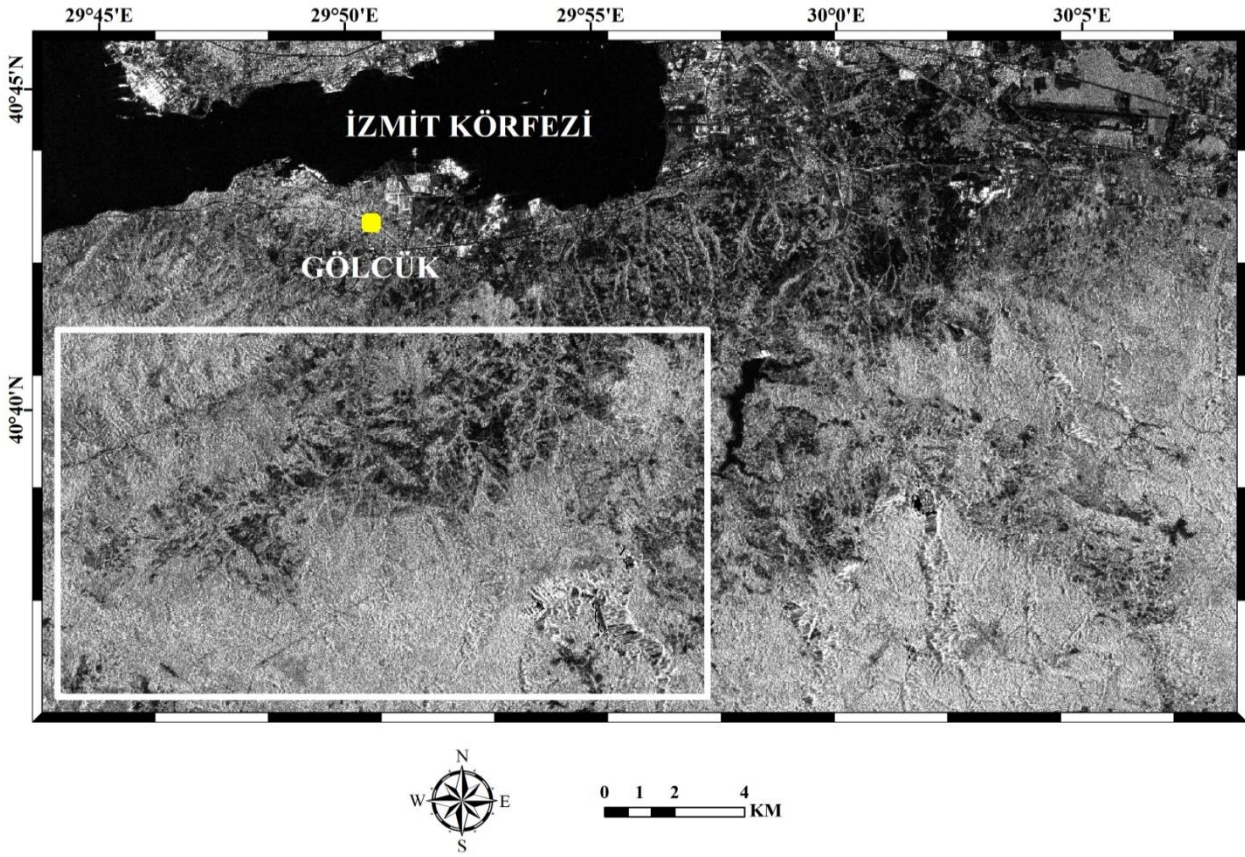
* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): azizozyavas@yahoo.com



tespitinin yapılması, depremselliklerine bakılması ve çizgiselliklerinin (faylar ve kırıklar) belirlenmesi oluşabilecek zararları en aza indirebilir. Ülkemizin bulunduğu coğrafi konumu, jeolojik ve topoğrafik yapısından dolayı doğal afet türlerinden olan kütle hareketleri sık sık görülmektedir. Meydana gelen kütle hareketlerine bakıldığında çoğunluğunun bölgesel olduğu ve can kaybından çok ekonomik olarak zarara neden olduğu görülmektedir [1]. Kütle hareketleri genellikle aşırı yağış, yüksek yamaç eğimi, seyrek bitki örtüsünün varlığı ve deprem gibi faktörlerin tetiklediği gözlenmektedir. Ülkemizde kütle hareketlerinin neden olduğu can ve mal kayıplarını azaltmak ve bu heyelanları mekânsal dağılımını

kontrol eden faktörlerin analizini daha iyi yapmak için kütle hareketi envanter haritaları hazırlanmaktadır. Bu haritalar kütle hareketlerinin çeşitleri ve meydana geldiği bölgenin genel yapısı ile oluşum zamanları hakkında bilgi vermektedir.

İnceleme sahası, Kocaeli ilinin güneyinde Gölcük ve Başiskele ilçelerini içine almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı büyük depremlerin olduğu tektonik olarak aktif bir bölgede yer aldığından dolayı bölgedeki sismik aktivitenin kütle hareketlerini tetiklediği ve aynı zamanda bölgenin jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları bakımından kütle hareketi oluşumuna yatkın olduğu bilinmektedir [2].



Şekil 1. Çalışma alanını gösteren filtre işlemi uygulanmamış RADAR görüntüsü.

Jeolojik araştırmalarda çizgisellik gözlemleri ve analizlerinde radar verisinin kullanımı dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (özellikle bitki örtüsünün olduğu yerlerde). Uzaktan algılama verileri ile çizgisel yapıların tespit edilmesinde özellikle fay zonları ile olan ilişkilerine bakılır. Elbette her tespit edilen çizgisellik jeolojik yapılar ile ilişkili olmayabilir. Kırıklar kendilerini çizgisel yapılar ve kırık izleri olarak gösterebilir. Kırık izlerini çoğunlukla morfolojik çizgisel yapılar olarak görebiliriz. Özellikle çizgisellikleri değerlendirirken bunların kanal, yol, kayaçların dokanak sınırları, sırt, vadi ve tarla sınırlarının vb. ile ilişkili çizgisel yapılar olup olmadığına çok dikkat edilmesi gerekir [3]. Bu nedenle

uzaktan algılama verisinin işlendikten sonra elde edilen çizgiselliklerin iyi bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Bunun dışında verinin işlenmesi sonucu elde edilen çizgisellikler bölgede bilinen mevcut faylar ile karşılaştırılması çalışma açısından oldukça faydalı olur.

Bu çalışmanın temel amacı, ileri yer gözlem uydusu (ALOS) ile taşınan aşamalı donanımlı L – bant tipindeki sentetik açıklıklı radar (PALSAR) seviye 1.5 uydu görüntüsü kullanarak İzmit körfezinin güneyinde kütle hareketlerinin yoğun olarak bulunduğu bölgede jeolojik çizgisel yapıları haritalayarak bunların kütle hareketleri ile ilişkisini belirlemektir. Bölge nispeten yoğun bitki örtüsüyle kaplı olduğundan radar görüntüsü çizgiselliklerin

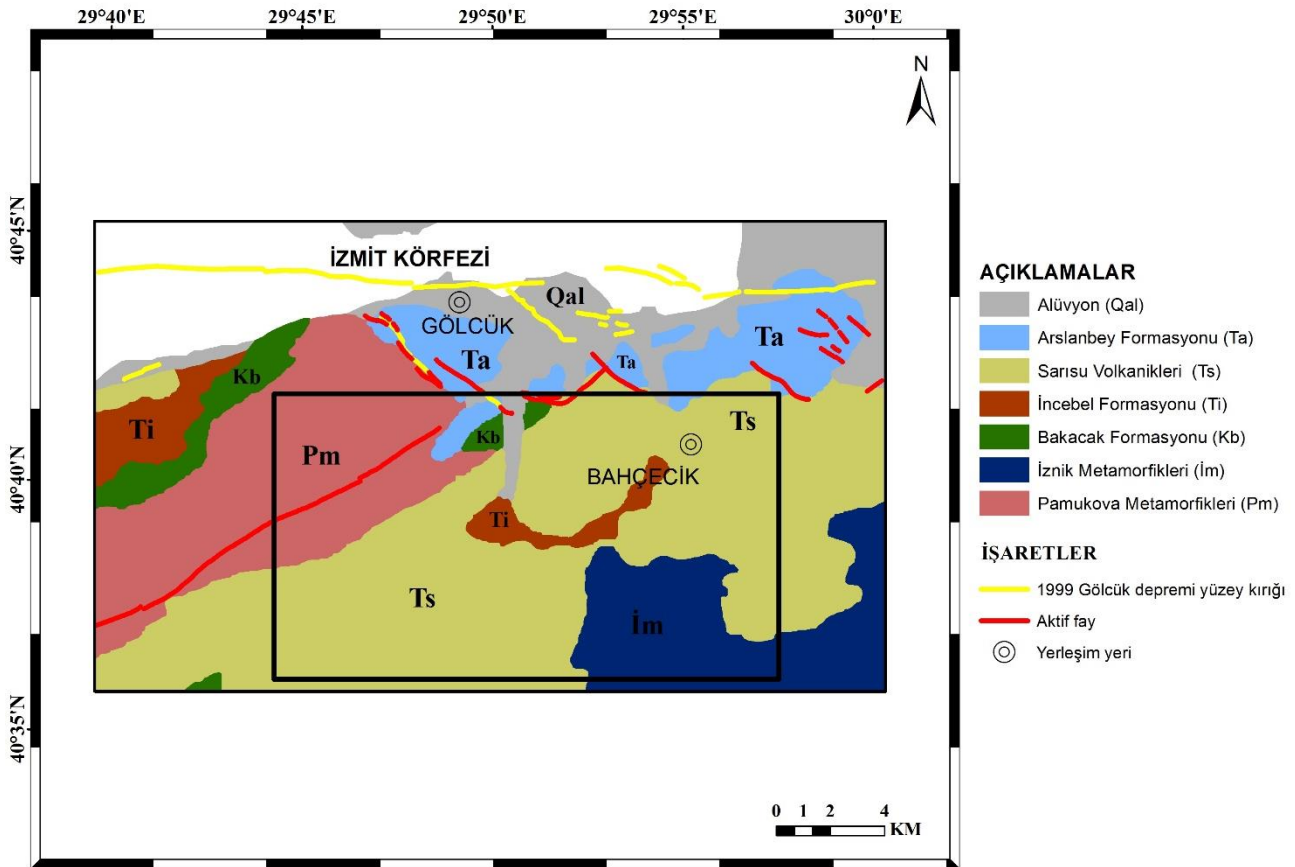
çıkarılmasında uygun bir veridir. Ayrıca bilgimiz dâhilinde bu bölgede daha önce radar verisi kullanılarak çizgiselliklerin haritalanması yapılmamıştır.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Armutlu yarımadasının temelini oluşturan metamorfik kayalar toplulukları Geç Kretase-Erken Tersiyer yaşlı metamorfizmaya uğramamış andezitik volkanik ve sedimanter kayalar ile uyumsuz olarak örtülmüştür [4]. Metamorfik temeli oluşturan ilk birim nispeten yüksek dereceli metamorfizmaya uğramış olan Pamukova metamorfikleri (Pm) olarak adlandırılan birimdir. Başlıca amfibolit ve metagranitler içeren Pamukova metamorfikleri inceleme alanının kuzey batısında bulunmaktadır (Şekil 2). Diğer metamorfik birim ise daha düşük metamorfik kayalardan oluşan İznik metamorfikleridir (İm) [5]. İznik metamorfikleri yaygın olarak İzmit Körfezinin güneyinde (çalışma sahasının güneydoğusu) tepelik alanlarda yüzeylemeler vermektedir (Şekil 2) [6].

Üst Kretase (Mastrihtiyen) yaşlı fliş istifi olan Bakacak formasyonu (Tb) metamorfik grubun en üst üyesi olan meta-volkanikleri veya ofiyolit yüzeylemelerini uyumsuz olarak örtmektedir [5]. Paleosen-Eosen boyunca meydana gelen volkanik aktiviteler sonucunda volkanik kökenli kayalar

inceleme sahasında İzmit körfezi ile İznik gölü arasında geniş bir alanda yüzeylemeler vermekte ve bu bölgelerde tüf ve aglomeralar derin vadileri oluşturmaktadır [4]. Paleosen ve Eosen yaşında kalın bir fliş (İncebel fm (Ti)) çalışma alanının içerisinde bulunan Gölcük ilçesinin güneydoğusunda yer alan Hamidiye ve Bahçecik köyleri civarında bulunup ayrıca lav ve volkanik tüf çakılları içerirler [4, 5]. Çalışma sahasının büyük bir bölümünü kaplayan Eosen yaşlı volkanik kayalar, daha çok andezit, bazalt ve dasit türü kayalardan oluşmuş Sarısu volkanikleri (Ts) olarak adlandırılmıştır [5]. Çalışma sahasında heyelan alanları çoğunlukla Sarısu volkanikleri ve İncebel formasyonunda görülmektedir. Armutlu yarımadasının kuzeyinde Pliyosen yaşlı çökellerden meydana gelen Arslanbey formasyonu (Ta) inceleme alanında daha küçük alanları kaplamaktadır (Şekil 2) [4, 5]. Ayrıca, Armutlu yarımadasının en önemli alüvyon sahaları (Qal) çalışma alanının içerisinde bulunan Gölcük ilçesi çevresi ve bu alan ile Sapanca Gölü arasında uzanan bölgede yer almaktadır (Şekil 2) [5]. İnceleme alanının jeoloji haritası Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı jeoloji haritasından değiştirilerek dijitalleştirilmiştir (Şekil 2) [7].

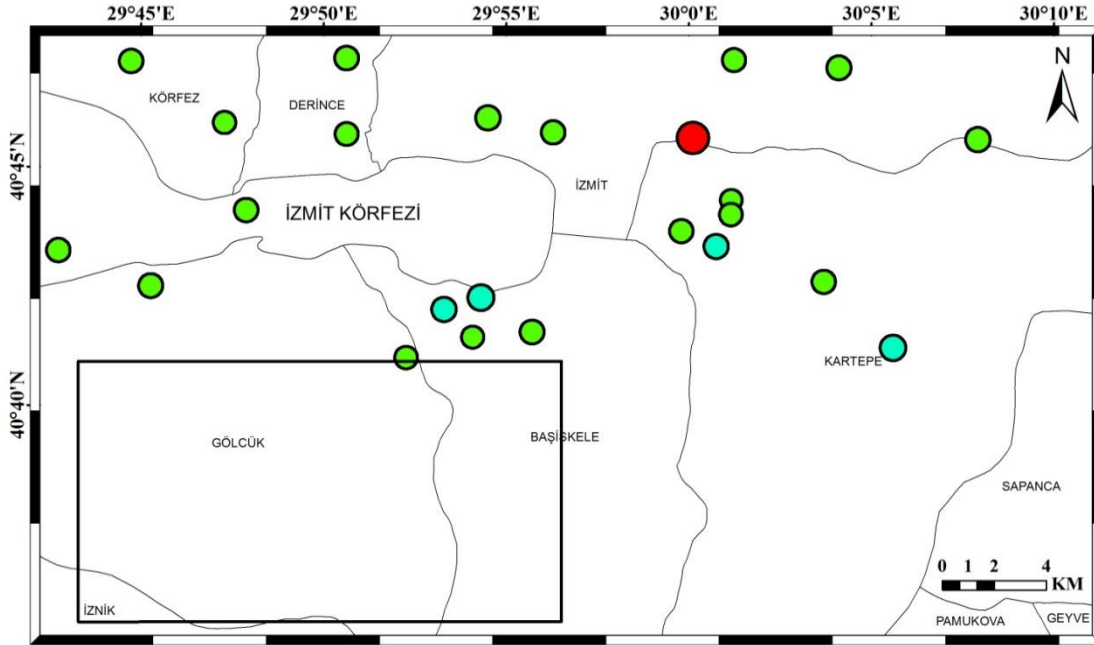


Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası [7].

3. Bölgenin Depremselliği

Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonu bölgesindeki tektonik önemi ve yüksek sismik aktivitesi nedeniyle dünyanın en bilinen doğrultu-atımlı fayından biridir. KAF Karlıova'dan Mudurnu'ya genel olarak tek bir fay izi göstermesine rağmen, Mudurnu'nun batısında 3 ana kola ayrılmaktadır [8-10]. Bu kollardaki deformasyon çok sayıda yıkıcı deprem üretmiş olup, bunlardan en son ikisi 17 Ağustos 1999 Gölcük (Mw 7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw 7.1) depremleridir. Bu iki yıkıcı deprem KAF'ın kuzey kolunun kuzeydoğu Marmara'daki bölümünü kırmıştır. Marmara denizinde önümüzdeki 30 yıl içinde (%90 ihtimalle) İstanbul, Kocaeli ve Bursa gibi büyük şehirleri etkileyecek yıkıcı bir deprem olması beklenmektedir [11]. Ayrıca, GPS ölçümleri, jeomorfoloji, batimetri, havzalardaki sediman kalınlıkları ve tarihsel depremler doğu Marmara'da kuzey kol boyunca kayma hızının güneydeki kollara göre daha

fazla olduğunu göstermektedir [12]. Ayrıca KAF'ın kuzey kolunun diğer iki koldan daha aktif ve yıkıcı olduğu ve dolayısıyla daha yüksek deprem riski taşıdığı belirtilmiştir [13]. Günümüze yakın depremlerin fay düzlem çözümleri KAF'ın kuzey kolunda bölgenin baskın olarak normal bileşene sahip doğrultu-atım faylanmaya maruz kaldığını işaret etmektedir [11]. Çalışma alanı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün kütle hareketleri noktasal yoğunluk haritası ve bu haritanın aktif faylar ile olan ilişkisine bakıldığında bu alanların kütle hareketi riskinin yüksek olduğu bir bölgede kaldığı görülmektedir [14]. İnceleme alanının depremselliğini ortaya koymak ve bu bölgede kütle hareketlerini tetikleyen önemli unsurlardan biri olduğunu belirtmek için çalışma bölgesine ait 1900-2020 yılları arasında meydana gelmiş olan depremler Afet ve Acil Durum yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'ndan (AFAD) uyarlanmıştır ve Şekil 3'de verilmiştir.



AÇIKLAMALAR

■ M ≥ 7 ■ 5 ≤ M < 6 ■ 4 ≤ M < 5

Şekil 3. 1900-2020 yılları arasında çalışma alanında meydana gelmiş büyük depremler (1900-2020 yılları arasındaki depremler AFAD'dan uyarlanmıştır).

4. Çalışma Alanındaki Kütle Hareketleri

Kayaçların türü ve özellikleri (tabakalanma, şistozite, kırık ve çatlaklar) ile birlikte faylar ve yeraltı suyu gibi farklı etkenler farklı hızlarda düzlemsel veya dairesel kütle hareketlerine neden olmaktadır [15]. İnceleme alanını içine alan Samanlı Dağları'nın İzmit Körfezi'ne bakan kuzey yamaçları jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri bakımından kütle hareketlerine oldukça yatkındır [16]. Buna ilave

olarak, bölgede son yıllarda meydana gelen aşırı yağışlar maddi hasara neden olan kütle hareketlerine yol açmıştır. Ayrıca, yağışlar yeraltı su seviyesinin de yüzeye yaklaşmasına ve bölgenin kütle hareketlerine daha da yatkın olmasına olanak sağlamıştır [17]. Çalışma sahasının da büyük bir bölümünü içine alan Gölcük ilçesindeki heyelanların nedenleri ve çevreye verdiği hasarlar detaylı olarak çalışılmıştır (Şekil 4a, b) [2, 18]. Hamidiye köyündeki heyelan volkanik tüflerin alterasyonu sonucunda

üzerindeki marn tabakasının yağışın etkisiyle harekete geçmesi sonucunda meydana gelmiştir (Şekil 4c) [19]. Şekil 5'de çalışma alanında bulunan ve MTA'nın envanterinden

elde edilmiş heyelanlar ile birlikte diri fayları gösteren harita verilmiştir [20, 21].



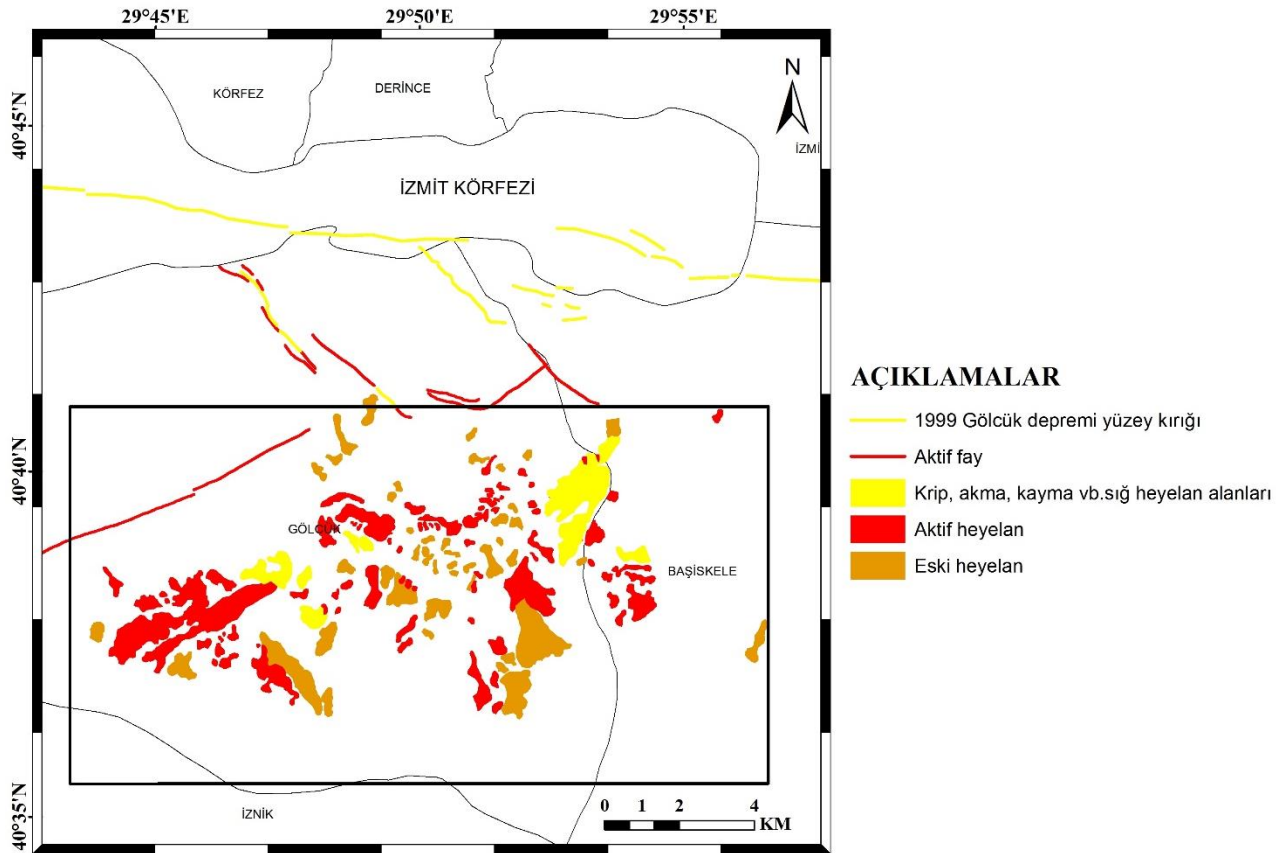
Şekil 4a. Mamuriye köyünde zarar gören yol ve bina [2].



Şekil 4b. Gölcük köylerini birbirine bağlayan yol üzerinde meydana gelen heyelan [2].



Şekil 4c. Hamidiye köy alanı heyelanı [19].



Şekil 5. Çalışma alanının kütle hareketleri ve diri fay haritası MTA tarafından hazırlanmış heyelan envanter ve diri fay haritasının dijitalleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur [20, 21].

5. Materyal ve Yöntem

5.1. ALOS PALSAR

Çalışma alanında bulunan çizgiselliklerin analizi, çalışma bölgesini içine alan ALOS PALSAR seviye 1.5 verisi kullanılarak yapılmıştır. ALOS PALSAR 2006 yılında görevine başlamış ve PALSAR verisi Alaska Satellite Facility (ASF DAAC) tarafından sağlanmaktadır (<https://asf.alaska.edu>). Radar verisinin önemli kullanım alanlarından birisi de haritalamalardır ve haritalama yapılırken mikrodalga sinyallerden yararlanılmaktadır [22]. PALSAR her türlü hava koşullunda, gece ve gündüz olmak üzere görüntüleme yapabilmektedir. PALSAR verileri, jeolojik ve yapısal analiz yapılarak haritalama, kıyı haritalama ve doğal afetlerin oluşumlarının gözlenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

5.2. Veri Ön İşleme Aşaması

RADAR görüntüleri doğal benekli yapılara benzer parazitlere sahiptirler ve bunlar görüntüyü bozduğu bilinmektedir. Herhangi bir görüntüde beneklerin bulunması, yeryüzünde bulunan hedeflerin algılanma oranını azaltır ve görüntü ile elde edilebilecek verilerin analizinin yapılmasında olumsuzluklar çıkarır. Bunu ortadan kaldırmak için benekli görüntüleri içeren verilerin filtrelenerek düzeltilmesi gerekmektedir [23]. Uyarlanabilir filtrelerin (Adaptive filtering), görüntülerin mekânsal özelliklerini önemli oranda etkilemediği ve görüntüde oluşan beneklerin ortadan kaldırdığı gözlenmiştir. Bu nedenle PALSAR seviye 1.5 görüntüsüne farklı uyarlanabilir filtreleme teknikleri uygulanmıştır (Local sigma, Lee, Gamma vb.). PALSAR görüntüsündeki beneklerin giderilmesi ve aynı zamanda verinin kenarlarının ve özelliklerinin korunmasında lokal sigma (Local sigma) uyarlanabilir filtresi tercih edilmiştir. Bu filtrenin tercih edilmesinin nedeni diğer filtrelemelere göre çizgiselliklerin belirlenmesinde daha tatmin edici sonuçlar vermesidir (Şekil 6). Uygulanan lokal sigma filtrelemede 3*3 filtre boyutu tercih edilmiştir. Bu çalışmada görüntü işleme ve analizlerinde ENVI (Görüntü Görselleştirme Ortamı) sürümünün 4.5 yazılım paketi kullanılmıştır.

5.3. Verilerin İşlenmesi

RADAR görüntülerinde çizgiselliklerin daha belirgin olması amacıyla filtreleme işlemi yapılmaktadır. Bu

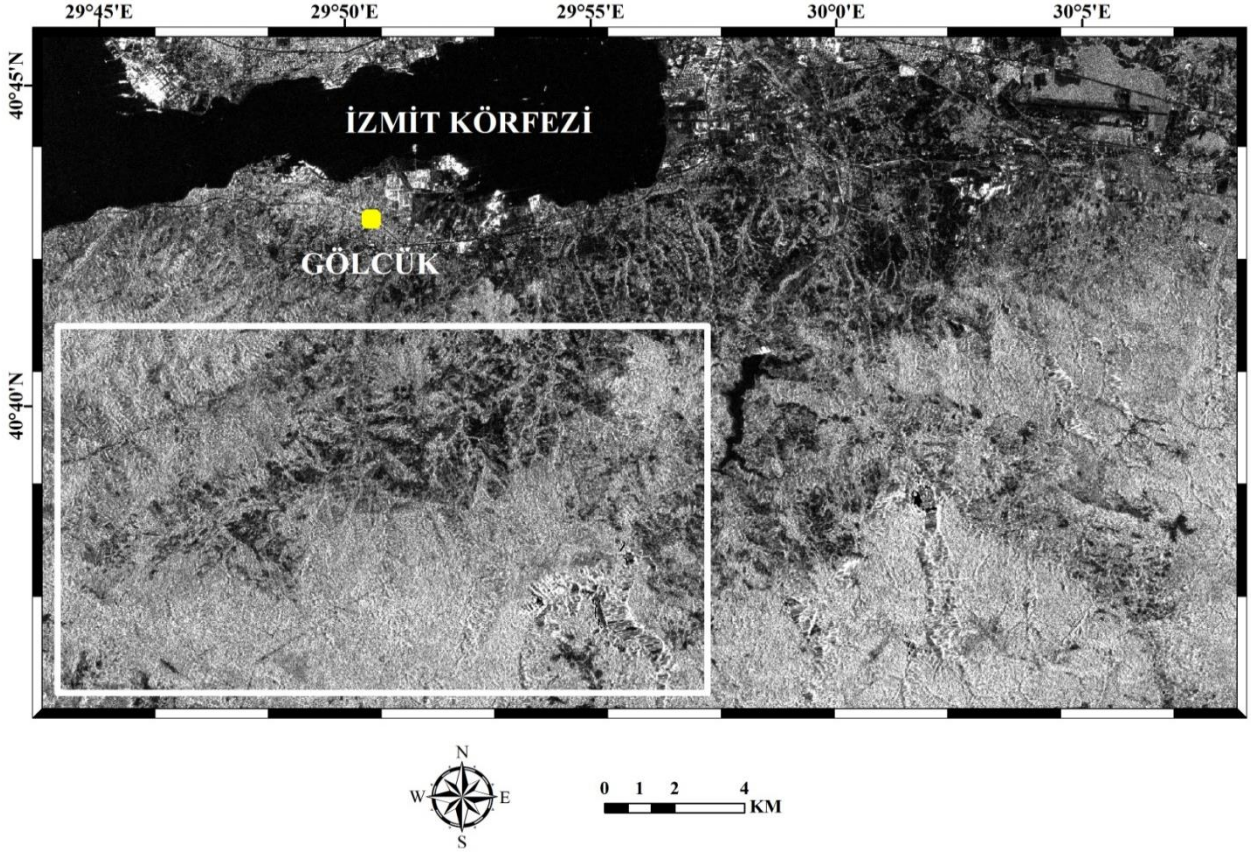
doğrultuda, lokal sigma filtresi ile elde edilen PALSAR seviye 1.5 verisine yönlü filtreleme (Directional Filtering) tekniği uygulanmıştır. Kenar geliştirme kenarları çizerek görüntüyü oluşturan şekillerin ve üzerinde bulunan ayrıntıları daha belirginleştirdiği bilinmektedir. Bu işlemi yaparak yaptığımız çalışmalarda fayların ve çizgiselliklerin analizlerinin yapılabildiği bilinmektedir. Ayrıca yapılan bu işlemlerin sonucunda farklı yönlerde olmak üzere birçok ek kenar geliştirildiği gözlenmiştir [24].

Çekirdek boyutlarının (3*3, 5*5, 7*7, vb.) genellikle görüntülerin kenarlarında artırıldıkça görüntüdeki bulanıklık oranını da artırdığı bilinmektedir. Lokal sigma filtresi uygulanan görüntüdeki spesifik doğrusal eğilimleri arttırabilmek için yön filtreleri kullanılmıştır. Farklı çekirdek boyutuna sahip dört ana yön filtresi (K-G, D-B, KD-GB ve KB-GD) uygulanmıştır. Yön filtreleri İzmit körfezinin güneyindeki heyelanlı alanda bulunan farklı oryantasyona sahip çizgisellikleri belirlemek için kullanılmıştır. Yön filtrelerinin açıları sırasıyla K-G (0°), D-B (90°), KD-GB (45°) ve KB-GD (135°)'dir (Kuzey yönü sıfır derece olarak kabul edilir ve diğer açılar saat yönünün tersine göre ölçümü yapılır). Görüntünün pürüzsüz, yarı pürüzsüz ve pürüzlü özelliklerini geliştirmek amacıyla en uygun çekirdek matrisi 7*7 olarak belirlenmiş ve görüntüye uygulanmıştır. Resim geri ekleme oranı ise %60 olarak seçilmiştir. Bu oran orijinal görüntünün yüzdesidir ve görüntünün bu kısmı uzamsal içeriği koruduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu işlem görüntüyü keskinleştirmek için yapılmıştır.

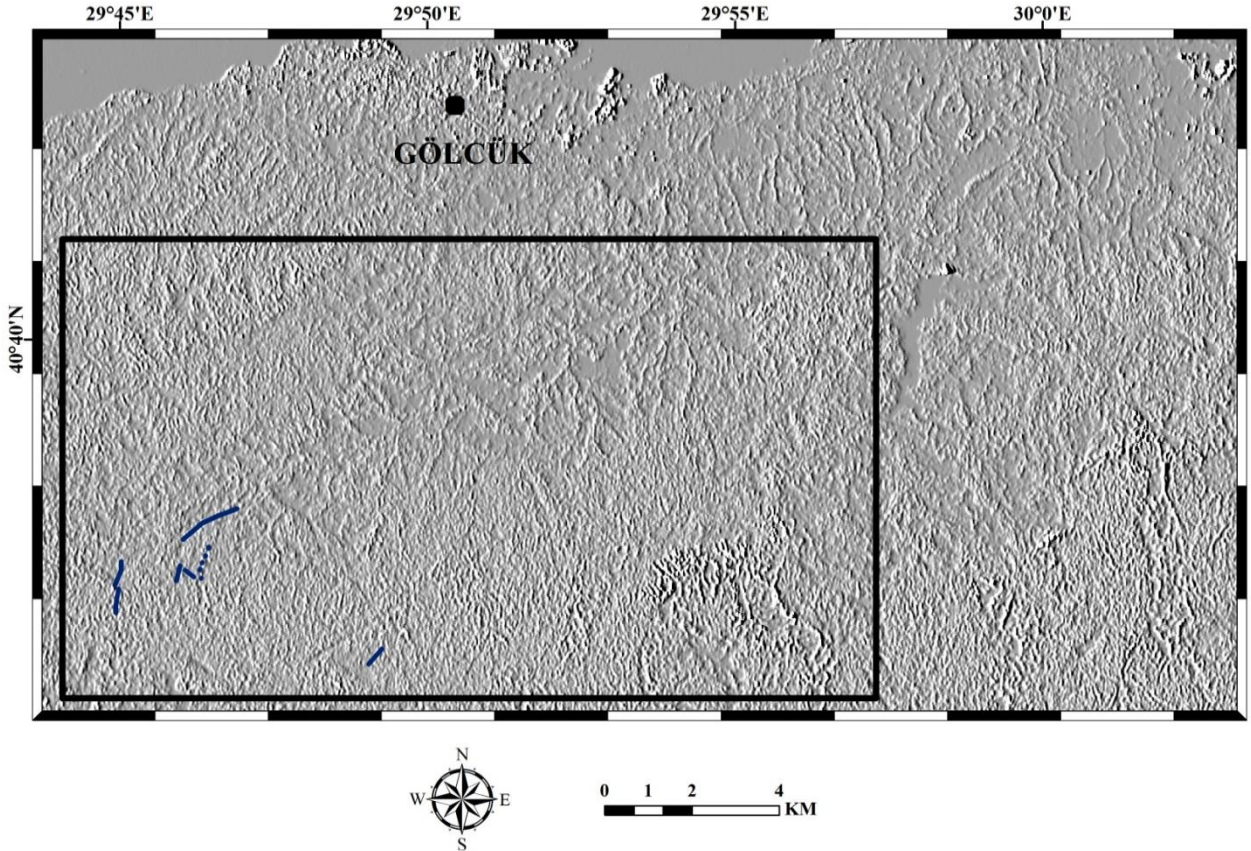
6. Bulgular ve Tartışma

PALSAR seviye 1.5 görüntüsüne uygulanan uyarlanabilir lokal sigma filtreleme işlemi sonucunda görüntünün görsel olarak hem doku analizi yapılmış hem de beneklerin neden olduğu istenmeyen bileşenler ortadan kaldırılmıştır (Şekil 6).

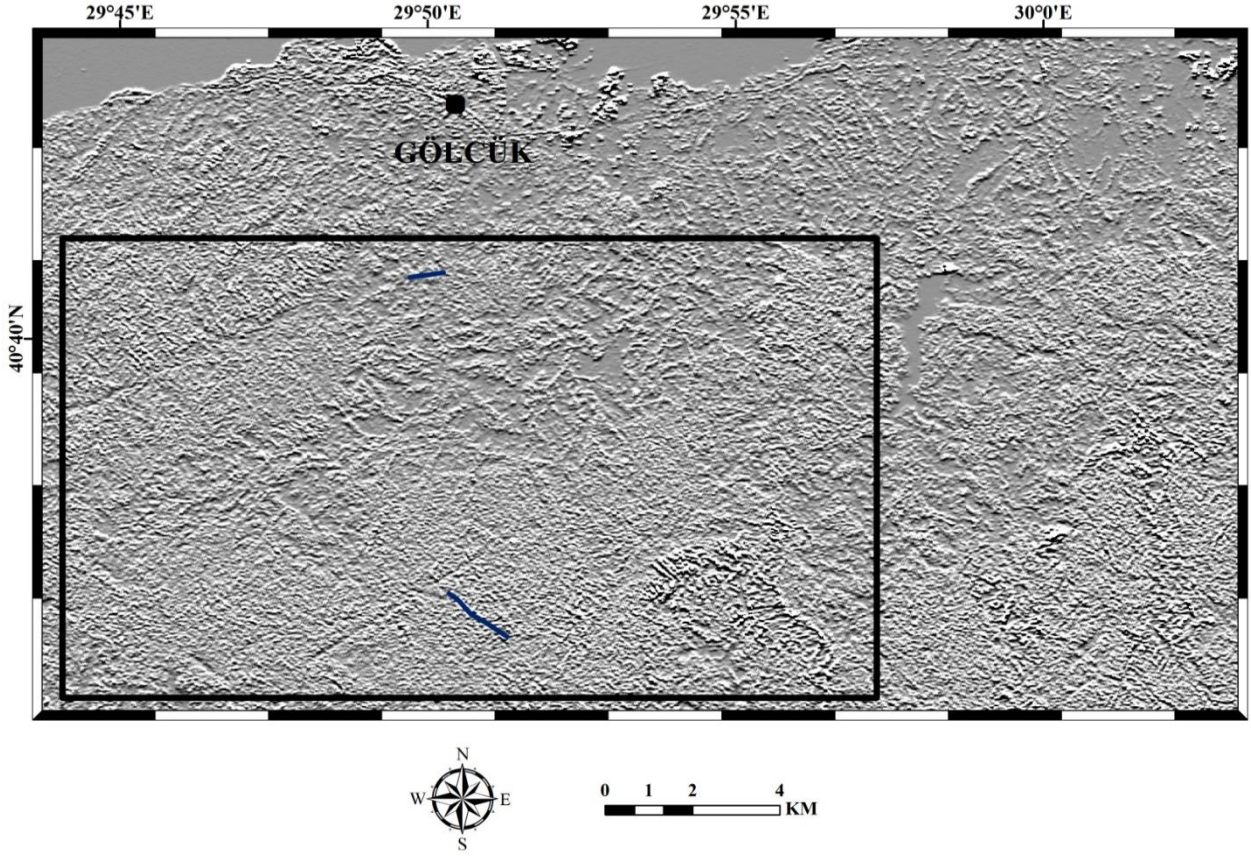
Uyarlanabilir lokal sigma filtresinden geçirilmiş ALOS PALSAR verisine bölgedeki farklı doğrultudaki kırık veya kırık sistemlerinin belirlenmesi için 4 farklı yönde yönlü filtreleme işlemi yapılmıştır. Radar verisine (1) K-G (0°) yönlü filtre işlemi yapılarak çalışma bölgesinde 7 adet çizgisellik (Şekil 7), (2) D-B (90°) yönlü filtre işlemi yapılarak 2 adet çizgisellik (Şekil 8), (3) KD-GB (45°) yönlü filtre işlemi yapılarak 3 adet çizgisellik (Şekil 9) ve (4) KB-GD (135°) yönlü filtre işlemi uygulanarak 6 adet çizgisellik belirlenmiştir (Şekil 10).



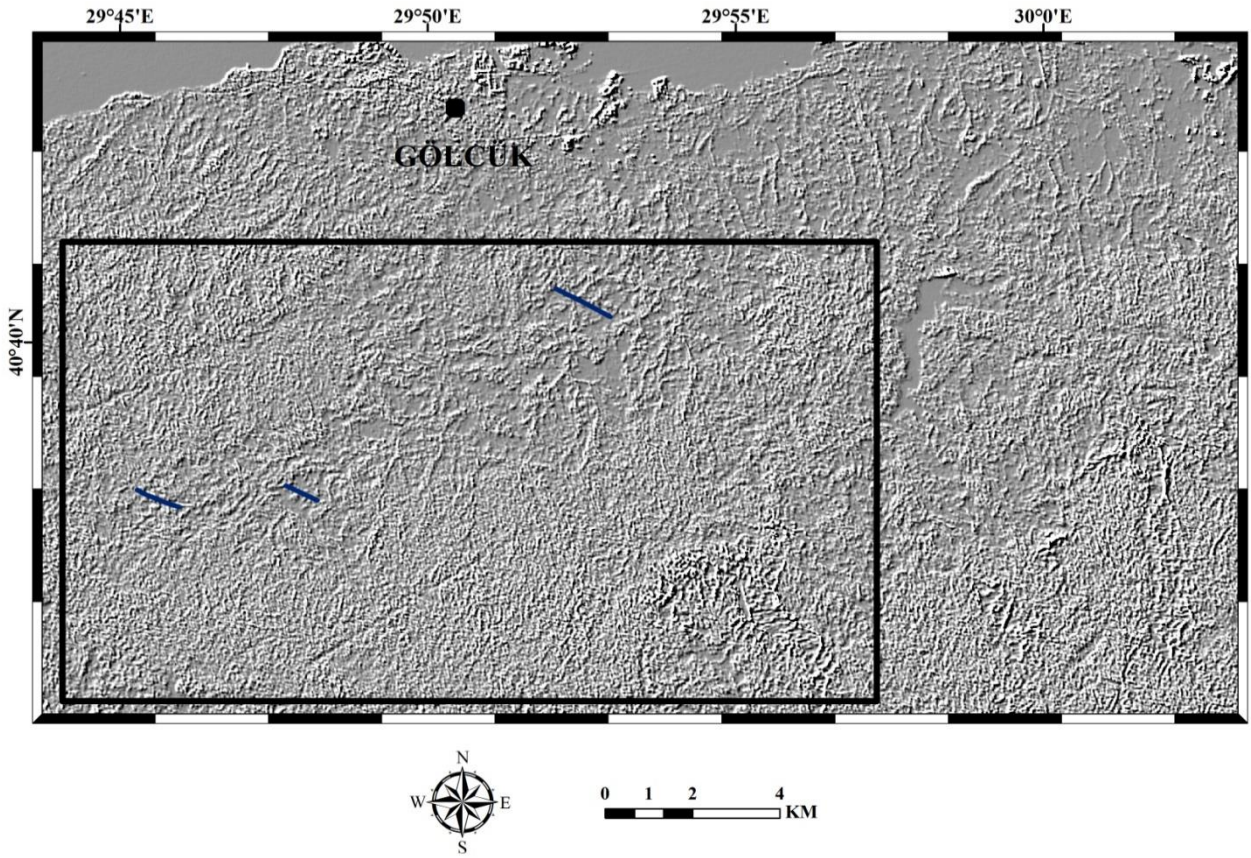
Şekil 6. Çalışma alanının uyarlanabilir lokal sigma filtresi uygulanarak oluşturulan görüntüsü.



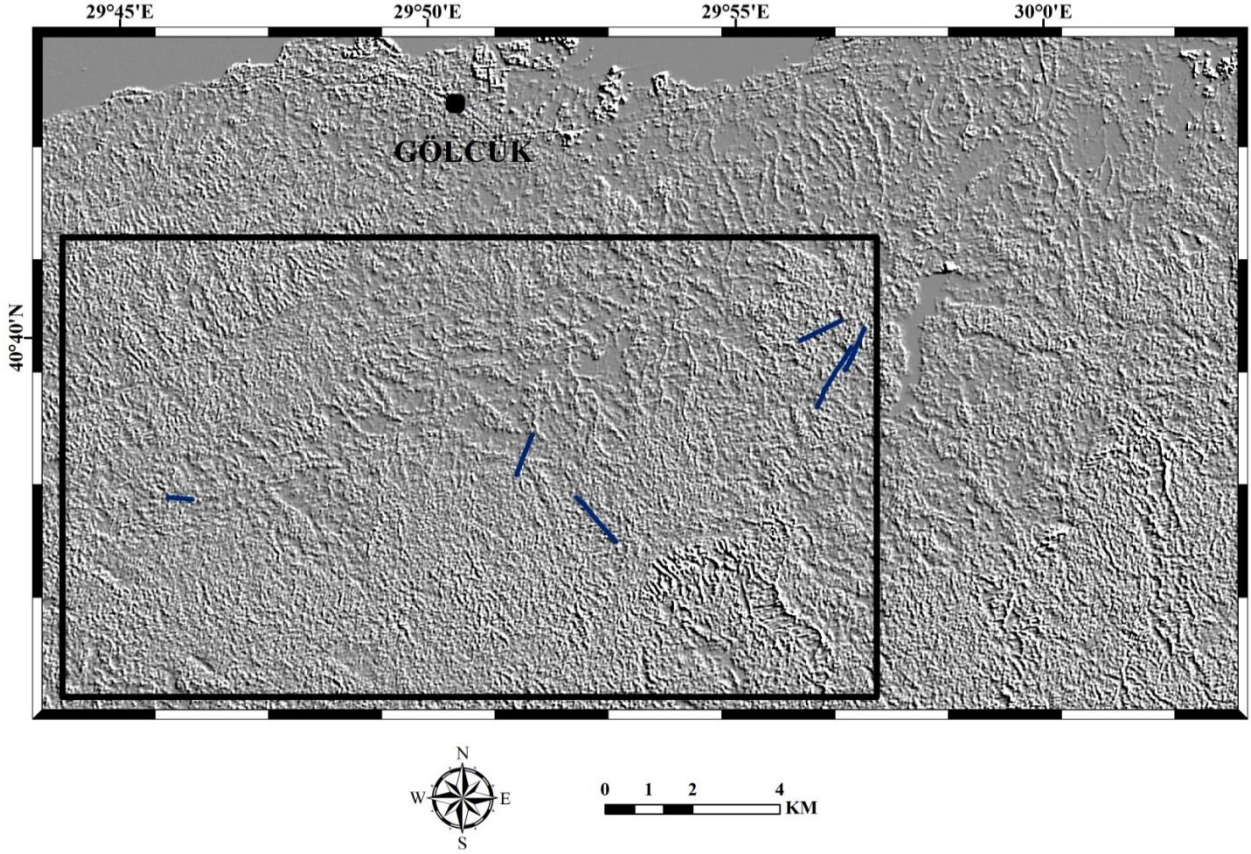
Şekil 7. K-G (0°) yönlü filtre işlemi yapılarak elde edilen çizgiselliklerin gösterimi.



Şekil 8. D-B (90°) yönlü filtre işlemi yapılarak elde edilen çizgiselliklerin gösterimi.



Şekil 9. KD-GB (45°) yönlü filtre işlemi yapılarak elde edilen çizgiselliklerin gösterimi.



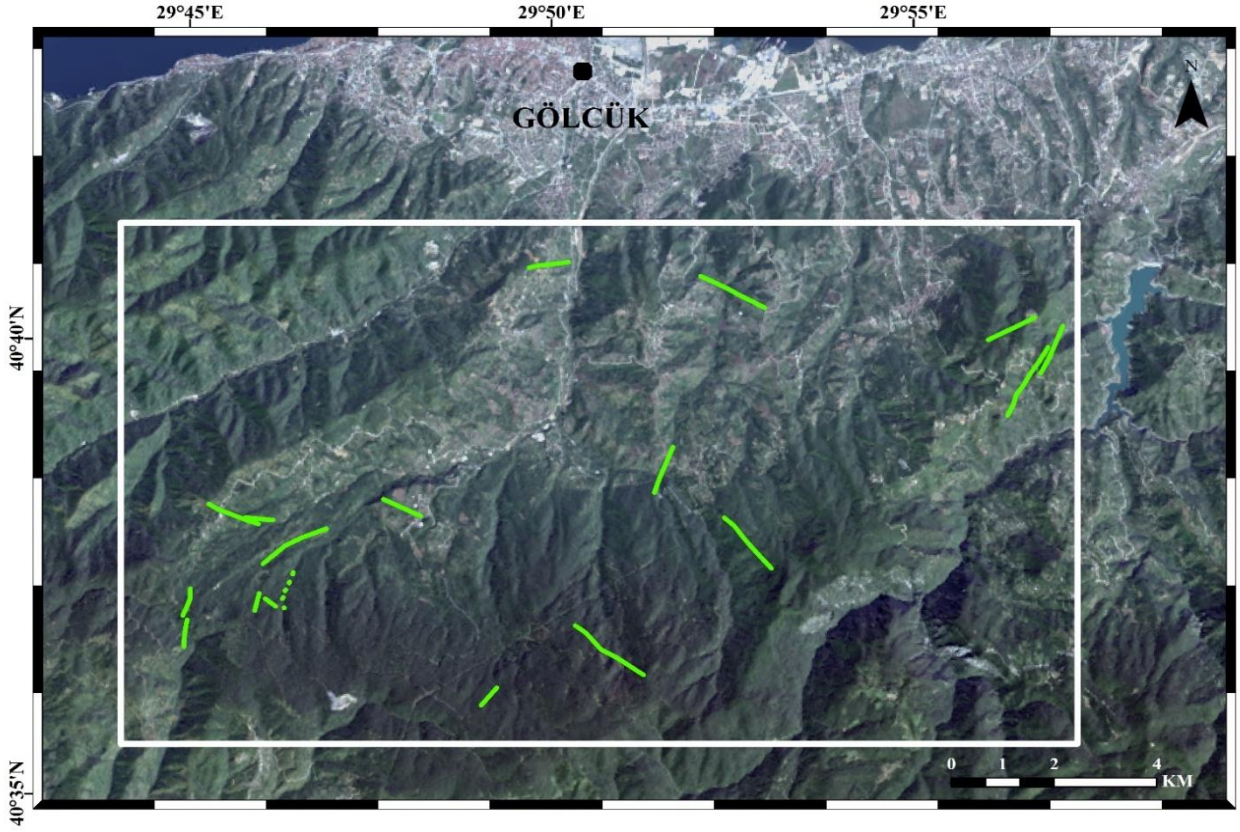
Şekil 10. KB-GD (135°) yönlü filtre işlemi yapılarak elde edilen çizgiselliklerin gösterimi.

İzmit Körfezi'nin güneyinde Samanlı Dağlarının kuzeye bakan yamaçlarında Kuzey Anadolu Fayı'na çok yakın mesafede Uzunlukları yaklaşık 300-400 m'den 2.5-3 km'ye ulaşan daha önce literatürde belirtilmemiş 18 çizgisellik (koyu mavi renk) ilk kez radar uydu verisi kullanarak haritalanmıştır. Elde edilen bu çizgiselliklerin yol, dere, dokanak sınırı, sırt, vadi vb. yapılara karşılık gelmemesi için bölgenin topoğrafik ve jeolojik haritaları dikkatle incelenmiş ve sadece jeolojik çizgisellikler ile ilgili olabilecek yapılar haritalanmıştır. Bu çizgiselliklerin önemli bir kısmının K-G ve KD-GB yönelimli olduğu görülmüştür (Şekil 7 ve Şekil 9). Ayrıca çalışma sahasında haritalanan en uzun çizgisellikler KB-GD doğrultuludur (Şekil 10). Haritalanan ve 3 km'den daha kısa uzunluğa sahip bu çizgisellikleri fay olarak tanımlamaktan ziyade, muhtemelen KAF ve onun segmentleriyle ilişkili sığ derinliğe sahip (yüzeğe yakın) kırık veya kırık sistemleri olarak tanımlamak çok daha doğru olacaktır. Ayrıca, bu çizgiselliklerin (1) KAF'a bağlı segmentler olmaması ve (2) saçınımlı bir dağılım göstermesi (Şekil 11a, b) veya başka bir ifadeyle birbirinin ucuna eklenmemiş olması da kırık olma ihtimalini artırmaktadır. Bölgede haritalanmış olan kırıklardan sadece biri çalışma sahasının güney batısında kısmen vadiyi takip etmektedir (noktalı çizgi ile gösterilmiştir) (Şekil 7, 11a ve b). Çalışma sahasının genel olarak yoğun bitki örtüsüyle kaplı olması (Şekil 11a) ve ulaşım güçlüğü nedeniyle uydu görüntüsü analizinden elde

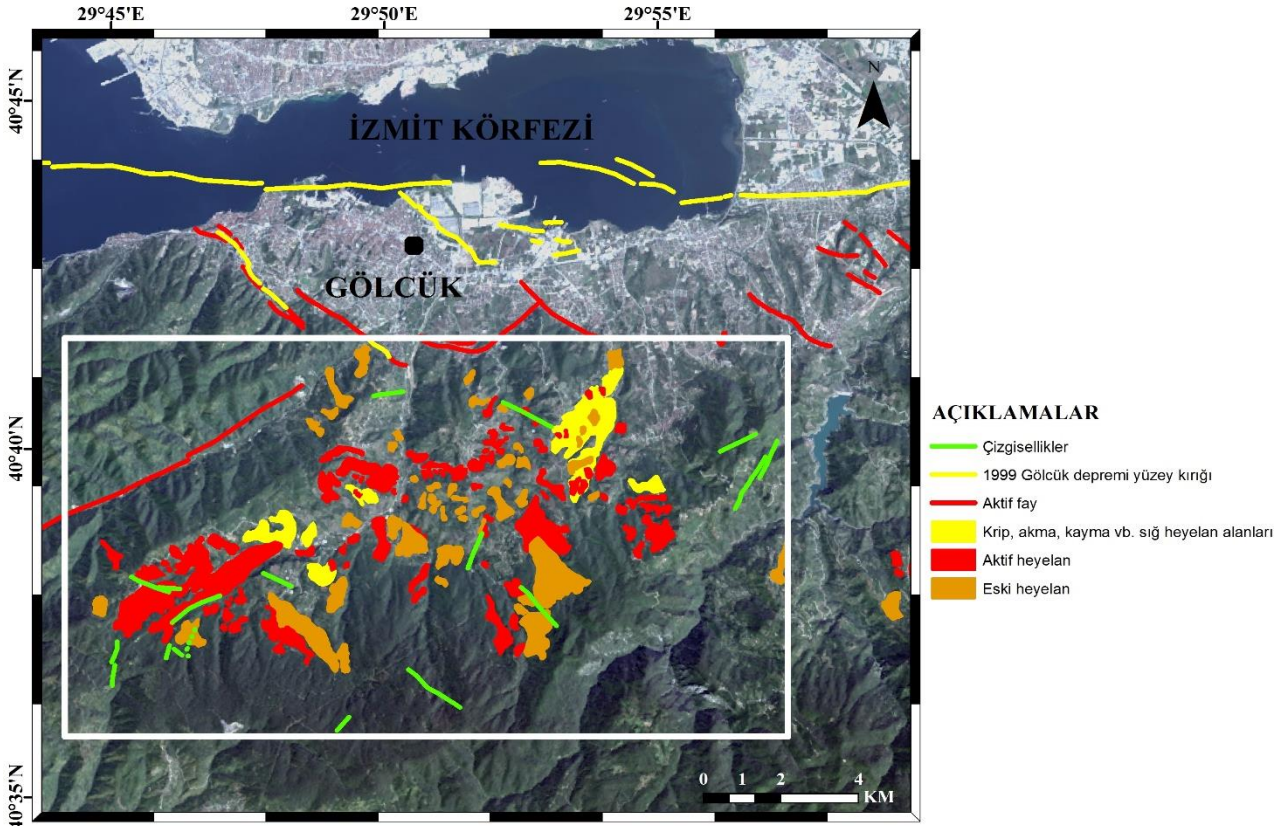
edilmiş kırık veya kırık sistemlerinin arazi çalışmasıyla belirlenmesi oldukça güçtür. PALSAR seviye 1.5 görüntüsünün analizi sonucu tespit edilen çizgisellikler, bölgede mevcut kütle hareketlerinin meydana geldiği alanlar ile ilişkisinin anlaşılması için PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan Landsat-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-Kırmızı, Yeşil ve Mavi (KYM)) üzerinde gösterilmiştir. Haritalanan kırık veya kırık sistemlerinin özellikle heyelanların bulunduğu alanlarda yoğunlaşması (Şekil 11b) kütle hareketlerini tetikleyen önemli unsurlardan birisinin de malzeme ve geometri özellikleri dışında kırık sistemlerinin olduğunu işaret edebilir.

7. Sonuçlar

Türkiye'de doğal afetler içerisinde kütle hareketleri önemli bir yer almaktadır ve bunları tetikleyen ana faktörlerden birinin de deprem olduğu bilinmektedir. Çalışma alanında kütle hareketlerine oluşumları açısından bakıldığında en çok Paleosen-Eosen yaşlı kırıntılılar ve ayrılmış volkanik birimlerin olduğu alanlarda görülmektedir. Ayrıca çalışma alanının bulunduğu bölge jeomorfolojik, tektonik ve yağış rejimi açısından ele alındığında kütle hareketi potansiyeli yüksek bir bölge olduğu yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Çalışma alanının tektonik olarak aktif bir bölgede yer almasından dolayı, bölgedeki jeoloji ile alakalı çizgisel yapıların haritalanması çok büyük öneme sahiptir.



Şekil 11 (a). Çalışma alanını içine alan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş Landsat-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM) ve PALSAR verisinden elde edilmiş çizgisellikler (yeşil).



Şekil 11 (b). Çalışma alanını içine alan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş Landsat-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM). Heyelanlar, faylar ([20, 21]' den dijitalleştirilerek yapılmıştır.) ve PALSAR verisinden elde edilmiş çizgisellikler (yeşil).

Bu amaç doğrultusunda, ALOS PALSAR uydu görüntüsü bölgedeki olası çizgiselliklerin haritalanması için seçilmiştir. PALSAR seviye 1.5 görüntüsü üzerinde öncelikle doku analizi yapılmış, beneklerin ortadan kaldırmak amacıyla ve daha iyi analiz yapabilmek için uyarlanabilir lokal sigma filtre işlemi radar görüntüsüne uygulanmıştır. Son olarak kenar geliştirme işlemi ile 4 yönlü filtre işlemi yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen görüntülerde çizgisellikler belirlenmeye çalışılmış, yapısal jeolojik ve morfolojik unsurlar dışında yol, dere, dokanak sınırları (kayaç, ekili alan vb.) ve sırtlara dikkat edilmiş ve bunun gibi yapılar çizgisellik olarak değerlendirilmemiştir. Bu değerlendirme ölçütleri altında çalışma bölgesinde daha önce tanımlanmamış olan kırık veya kırık sistemleri ilk kez radar uydu verisi kullanarak haritalanmış ve 18 adet çizgisellik belirlenmiştir. Bu çizgiselliklerin önemli bir kısmının kütle hareketlerinin bulunduğu alanlarda bulunması dikkat çekicidir.

Çalışma bölgesinde KAF'a yakın mesafede haritalanan çizgiselliklerin 3 km'den daha kısa ve saçınım göstermesi, bölgesel hâkim tektonik kuvvetlerle ilişkili nispeten yüzeye yakın kırık veya kırık sistemleri olduğunun bir belirtisi olabilir. Sonuç olarak, çalışma sahası tektonik olarak aktif bir bölgede olduğundan PALSAR seviye 1.5 verisi kullanılarak oluşturulan haritalarda belirlenen jeolojik çizgiselliklerin malzeme ve geometri ile birlikte kütle hareketlerini tetikleyen ana faktörlerden biri olabileceği dikkate alınmalıdır.

Kaynaklar



- [1] Akbulut İ., 2011. Heyelan nedir? Türkiye'deki heyelanlar, Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi 16, 15-20.
- [2] Zengince M., Karakaş A., 2018. Kocaeli Gölçükte oluşan heyelanların nedenleri, etkileri ve alınan önlemler. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 17(1), 39-54.
- [3] Tatar Y., Tatar O., 2006. Jeolojide Uzaktan Algılama, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No: 102, Sivas, Türkiye.
- [4] Akartuna M., 1968. Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fen. Fak. Monografileri (Tabi İlimler Kısmı) Sayı: 20, İstanbul, Türkiye.
- [5] Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ., 1986. Armutlu Yarımadasının Doğu Kesiminin Jeolojisi, M.T.A Raporu 7943.
- [6] Robertson, A. H. F., Ustaömer, T., 2004. Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula NW Turkey, *Tectonophysics* **381**, 175-209.
- [7] MTA, 2002. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İstanbul ve Zonguldak Paftaları. Ankara, Turkey.
- [8] Ketin, İ., 1969. Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 72, 1-27.
- [9] Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92.
- [10] Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- [11] Gürer, Ö. F., Kaymakçı, N., Çakır, Ş., Özburan M., 2003. Neotectonics of the southeast Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 21(2003) 1041-1051.
- [12] Gürbüz, C., Aktar, M., Eyidoğan, H., et al., 2000. The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment. *Tectonophysics*, 316, 1-17.
- [13] Barka, A., Kuşçu, İ., 1996. Extent of the North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma Bays. *Turkish Journal Marine Science*, 2, 93-106.
- [14] Gökçe O., Özden Ş., Demir A., 2008. Türkiye'de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [15] Varnes, D. J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In *Landslides: Analysis and Control*. Edited by R. L. Schuster and R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy of Science, Special Report 176, Chapter 2, 11-33, Washington.
- [16] Kahraman N., Arıkan, R., 2015. Kocaeli ve Deprem, Uluslararası Karamürsel Alp ve Kocaeli Tarihi Sempozyumu II, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 859-875.
- [17] Karakaş A., Coruk Ö., 2011. Impact of Mass Movements in the Kocaeli Province, Turkey, *Geology Today*, 27(2), 70-73.
- [18] Zengince M., Karakaş A., 2016. Gölçük (Kocaeli) Güney Köyleri Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi, *Proceedings of International Symposium on Natural Hazards and Hazard*

- Management (DAAYS'16), Karabük Üniversitesi, Karabük, 367-372.
- [19] Yamlı M., Akgül O., 2012. Hamidiye Köy İçi Heyelana Yönelik Jeolojik Etüt Raporu, Kocaeli AFAD.
- [20] Duman T. Y., Çan T., Emre Ö., 2011. 1/1.500.000 Türkiye Heyelan Envanteri Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye.
- [21] Emre Ö., Duman T. Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye.
- [22] Gündoğdu E., Karaca Ö., Özden S., 2015. Saha gözlemleri ve ALOS-PALSAR görüntüsü kullanılarak Eskişehir fayı ve yakın civarının yapısal analizi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 31(3), 192-198.
- [23] Pour, A. B., Hashim, M., 2014. Structural geology mapping using PALSAR data in the Bau gold mining district, Sarawak, Malaysia. Advances in Space Research, 54, 644-654.
- [24] Pour, A. B., Hashim, M., 2015. Structural mapping using PALSAR data in the Central Gold Belt, Peninsular Malaysia. Ore Geology Reviews, 64, 13-22.



İki Farklı Kabuk Geometrisine Sahip Stadyum Modeli Etrafındaki Akış Alanlarının Sayısal İncelenmesi

Numerical Investigation of Flow Fields Around Stadium Model Having Two Different Shell Geometry

Haluk KELEŞ¹ , Yücel ÖZMEN^{2,*} 

¹ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6562-8902

² Makine Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-1127-1060

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 14/01/2020

Kabul Tarihi : 23/05/2020

Anahtar Kelimeler

Basınç Katsayısı
Rüzgar Etkisi
Stadyum Çatısı
Türbülans Modeli

Research Paper

Received Date : 14/01/2020

Accepted Date : 23/05/2020

Keywords

Pressure Coefficient
Wind Effect
Stadium Roof
Turbulence Model

Özet

Günümüzde stadyumlar, futbol müsabakalarının yanı sıra konser, şenlik ve konferans gibi etkinlikler için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Stadyumlarda seyirci ve sporcu konforunu olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörlerden biri stadyum etrafındaki rüzgar etkileridir. Farklı geometrilerdeki çatı sistemleri ile kapalı hale getirilen tribünler ile rüzgarın özellikle seyirci konforu üzerindeki olumsuz etkisi azaltılmaktadır. Stadyum çatılarındaki geometrik farklılık (kabuk geometrisindeki farklılık) yüzey basınç dağılımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Çatı yüzeylerinde akış ayrılmasına ve girdap bölgelerinin oluşumuna yol açacak geometrik düzenlemeler çatıları hasara uğratabilmektedir. Bu durum farklı geometrilerde sahip stadyum çatıları üzerindeki akış alanlarının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, düz geometrideki çatı sistemi ile üçgen prizmatik bakkalı geometrik bileşenlere sahip çatı sistemi üzerindeki rüzgar etkileri karşılaştırma amaçlı sayısal incelenmektedir. İki farklı kabuk geometrisine sahip stadyum modeli etrafındaki akış alanlarının üç boyutlu olarak sürekli rejimde incelendiği çalışmada, ticari bir yazılım olan ANSYS – FLUENT paket programı bünyesindeki Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Farklı rüzgar geliş açıları için çeşitlendirilen çalışmada, kabuklar etrafındaki hız alanları ve kabuk yüzeylerindeki basınç dağılımları ayrıntılı olarak elde edilmiştir. Bakkalı çatı sistemine sahip modelin rüzgar kaynaklı hasarlar açısından daha riskli olduğu görülmüştür.

Abstract

Stadiums are generally used for events such as concerts, festivals and conferences as well as soccer competitions. One of the most important factors affecting the comfort of spectators and athletes in the stadiums is the wind effect around the stadium. Negative effect of the wind on the comfort of the audience is reduced by covering the roofs in different geometries. The geometric difference in the stadium roof (difference in shell geometry) significantly affects the surface pressure distributions. The geometric arrangements that lead to the flow separation on the roof surfaces and the formation of swirl zones may damage the roofs. This requires an examination of the flow fields on the stadium roof in different geometries. For the comparison purpose, the wind effects on the roof with flat geometry and the roof with triangular prismatic linked geometric components are numerically investigated in this study. Realizable k – ε turbulence model in the commercial software ANSYS – FLUENT package program is used in the study of three - dimensionally steady flow fields around the stadium model having two different shell geometries. In this diversified study for different wind angle of attacks, the pressure distributions around the shells and crust surfaces are taken into consideration in detail. It has been observed that the model with linked geometric roof system has higher risk for wind-borne damages.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): yozmen@ktu.edu.tr



1. Giriş

İlk stadyumun antik Yunanistan'daki inşasından günümüze spor stadyumları her dönem inşaat mühendisliğinin önemli uygulama alanlarından biri olmuştur [1]. Çağdaş stadyum tasarımlarında, seyirci konforu önemli bir tasarım parametresi olarak dikkate alınmaktadır. Stadyumlarda seyirci konforu için rüzgar ve yağmur gibi hava etkilerinden korunmak son derece önemlidir.

Günümüzde, birçok yeni stadyum inşaatının yapılıyor olması nedeniyle, seyirci konforu üzerine araştırmalar artmaya başlamıştır. Szücs ve arkadaşları [2], çatı eğim açısının sahadaki gün ışığı dağılımı üzerindeki etkisini, bir günışığı programı kullanarak sayısal simülasyonlarla değerlendirmişlerdir. Szücs ve arkadaşları [2] tarafından yapılan bir diğer çalışmada, rüzgar akışının termal konfor üzerindeki etkisi rüzgar tüneli ölçümleri ile incelenmiştir. Cephe gözenekliliği ve tavan eğim açısının stadyum içindeki rüzgar akışı üzerindeki etkisinin incelendiği bir başka çalışmada, stadyum cepheleri ve çatılardaki tasarım değişiklikleri ile stadyumdaki rüzgar hızının önemli ölçüde değiştiği görülmüştür [4]. Bouyer ve arkadaşları [5], İstanbul'daki Atatürk Stadyumu ve Paris'teki Stade de France'daki termal konfor seviyesini belirlemek ve karşılaştırmak amacıyla sıcaklık, hava akımı ve ısı radyasyon etkilerinin sonuçlarını birlikte değerlendirmişlerdir. Yüksek ısı radyasyon etkisinin olduğu stadyumlarda, rüzgar hızındaki artışın özellikle termal konfor üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. van Hooff ve Blocken [6], Hollanda'daki Amsterdam ArenA stadyumu etrafındaki rüzgar etkilerini farklı havalandırma açıklıklarına sahip konfigürasyonlar üzerinden sayısal incelemişlerdir. Büyük, yarı kapalı bir stadyumda iç ortam koşullarının ve doğal havalandırmanın tam ölçekli ölçümlerinin yapıldığı bir çalışmada [8] gerçek stadyum ölçümleri ile hesaplamalı akışkanlar mekaniği örtüşmesi koşulları incelenmiş, CO₂ (karbondioksit), sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır. Stadyumun konstrüktif yapısının güçlendirme tasarımını değerlendirmek için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kullanarak West Lafayette India/Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bir futbol stadyumu için rüzgar analizi sürecinin çalışıldığı bir makalede [9], farklı stadium çevresi yapılanma konfigürasyonları için Reynolds ortalama Navier Stokes modelleri ile Ansys-Fluent kullanılarak inceleme yapılmış ve çoğu durumda, yüksek hızların ve girdap alanlarının, açıklıktan kaynaklanan tasarım konseptine kıyasla çok daha küçük olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. Shi ve An'ın yaptıkları bir çalışmada [10], Çin Halk Cumhuriyeti'ndeki 30.000 seyirci kapasiteli bir stadyum için, saha içi rüzgar etkileri

ve akış alanlarının, stadyum gölgelik çatılar üzerine etkisi STAR-CCM + yazılımı kullanılarak, 5 m/s, 10 m/s ve 15 m/s lik rüzgar hızları için sayısal olarak çözümü gerçekleştirilmiş ve optimal tasarım stratejileri önerilmiştir. Hareketli (kapanıp-açılabilir) çatı mekanizmasına sahip stadyumlarda rüzgar etkilerinin değerlendirilmesi için rüzgar tüneli deneyi ve LES (Large Eddy Simulation) kullanılan başka bir çalışmada [11], farklı çatı durumları için net basınç katsayıları ve akış alanları açısından incelenmiştir. Chen ve Li'nin yaptıkları bir çalışmada [12], açılır-kapanır çatı sistemine sahip bir stadyum için 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° geliş açılarındaki rüzgar durumlarının saha içerisindeki sporcular üzerine etkisi incelenmiştir. Tüm yuvarlak tip stadyumlar için, en iyi giriş rüzgar açısının 75 derece ile 90 derece arasında değiştiğini ve bunun da yüksek rüzgar hızı etkilerini önleyeceği belirtilmiştir. Zhong ve arkadaşları [13], Katar'da yapılacak olan 2022 FIFA dünya kupası için stadyumlar üzerine, sıcak-nemli iklim altında sıcaklık dağılımlarını ve rüzgar ortamı sonuçlarını, optimize edilmiş soğutma jetleri senaryoları için incelemişlerdir. Farklı hızlardaki soğutucu hava jeti akışlarının tribün ve stadyum çevresindeki akış alanları üzerine etkisini incelemişlerdir. Kim ve Jong [14], Kuzey Kore'de 100.000 kişilik bir stadyum etrafındaki akış alanlarının gerçek zamanlı ölçümlerini 150 drone ile gerçekleştirmişlerdir. Mekansal ve zamansal mikro iklimi simüle eden ENVI-met yazılımı ile bina ölçeğinde ayrıntılı hava akışlarını sunan Fluent'i birleştirerek, gerçek ölçümler ile karşılaştırma yapılmıştır.

Son zamanlarda stadyumlar, futbol müsabakalarının yanı sıra konser, şenlik ve konferans gibi etkinlikler için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Stadyumlarda seyirci ve sporcu konforunu olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörlerden biri stadyum etrafındaki rüzgar etkileridir. Farklı geometrilerdeki çatı sistemleri ile kapalı hale getirilen tribünler ile rüzgarın özellikle seyirci konforu üzerindeki olumsuz etkisi azaltılmaktadır. Stadyum çatılarındaki geometrik farklılık (kabuk geometrisindeki farklılık) yüzey basınç dağılımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Çatı yüzeylerinde akış ayrılmasına ve girdap bölgelerinin oluşumuna yol açacak geometrik düzenlemeler çatıları hasara uğratabilmektedir. Bu durum farklı geometrilerde sahip stadyum çatıları üzerindeki akış alanlarının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, düz ve üçgen prizmatik baklalı olacak şekilde iki farklı kabuk geometrisine sahip stadyum modeli etrafındaki akış alanları sayısal olarak incelenmiştir. Ticari bir yazılımla gerçekleştirilen çalışmada, farklı rüzgar geliş açıları için sürekli rejimde üç boyutlu çözümler gerçekleştirilerek iki farklı kabuk geometrisi etrafındaki akış karakteristiklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sayısal sonuçlar, stadyum

modelleri etrafında akış çizgileri ve ortalama hız dağılımları ve model yüzeylerinde basınç dağılımları şeklinde değerlendirilmiştir.

2. Sayısal Çalışma

Sıkıştırılamaz bir akışkanın üç boyutlu sürekli rejimdeki hareketi kartezyen koordinatlarda

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

şeklinde süreklilik denklemi ve

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho u_i' u_j') \quad (2)$$

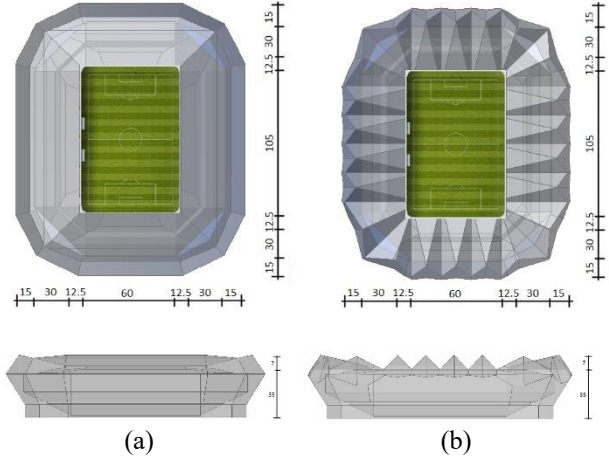
şeklinde momentum denklemi ile ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, akışkanlar mekaniği problemlerinde yaygın olarak kullanılan FLUENT ticari yazılımı kullanılmıştır. Sonlu hacim yaklaşımını esas alan paket programda yakınsamadaki avantajı nedeniyle Realizable k-epsilon türbülans modeli ile çözümler gerçekleştirilmiştir. k ve epsilon için modellenmiş transport denklemler

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (4)$$

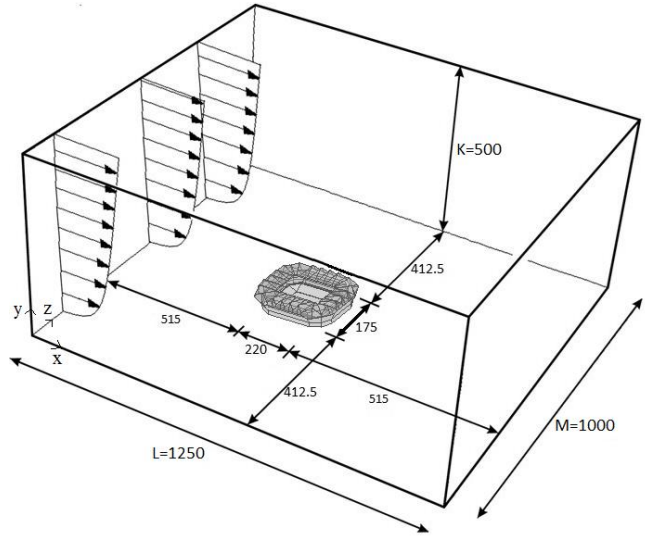
şeklinde. Bu denklemlerde, G_k , ortalama hız gradyenti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini; G_b , kaldırma kuvveti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini ifade etmektedir. σ_k ve σ_ε , türbülanslı Prandtl sayıları olup, S_k ve S_ε ise kaynak terimleridir. Türbülans modeli için sabitler, $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_2=1.9$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.2$ şeklindedir.

Çalışmada kullanılan stadyum modelleri, düz kabuk ve üçgen prizmatik baklalı kabuk şeklinde iki farklı çatı geometrisine sahiptir. Şekil 1'de genel görünümü verilen stadyum modellerinin boyutları $220 \times 175 \times 42$ mm³ şeklindedir. Bu boyutlar, Trabzon'da bulunan Akyazı stadyumunun 1/1000 ölçekli modelinin boyutlarına karşılık gelmektedir.



Şekil 1. İki farklı kabuk geometrisine sahip stadyum modellerinin genel görünümü; (a) düz kabuklu model, (b) üçgen prizmatik baklalı model.

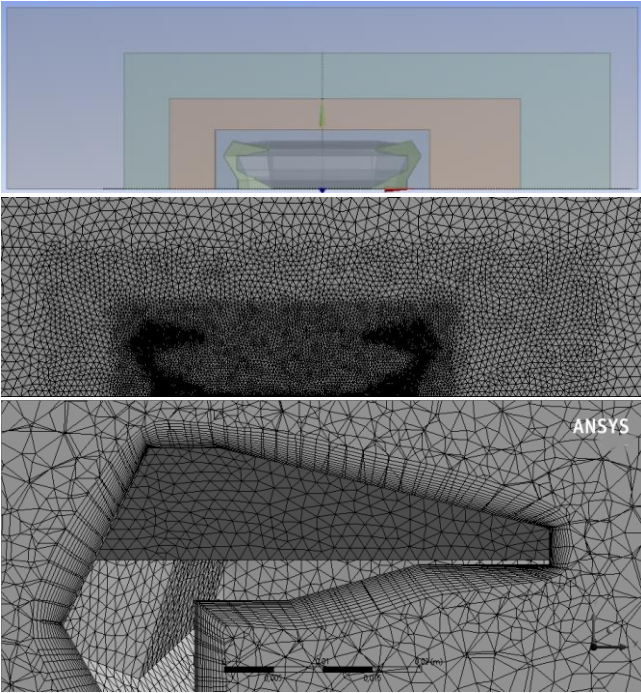
Stadyum modellerinin üç boyutlu akış alanındaki yerleşim düzeni Şekil 2'de görülmektedir. Hesaplama hacmi $1250 \times 1000 \times 500$ mm³ boyutlarında oluşmuştur. Bu boyutlara göre blokaj oranı % 0.22 olarak gerçekleşmiştir. Girişteki serbest akış hızı 10 m/s olarak dikkate alınmıştır. Her iki model etrafındaki akış alanları için aynı olan sınır şartları, girişte "VELOCITY INLET", çıkışta "PRESSURE OUTLET" ve duvarlarda "WALL" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Akış alanına yerleştirilen $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında üçgen prizmatik baklalara sahip kabuklu stadyumun genel görünümü

ANSYS FLUENT 18.1 ticari yazılımı ile gerçekleştirilen çözümlerde, bu özel geometric durum için literatürde tercih edilen [7] Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı olarak, daha kısa sürede yakınsama sağlaması nedeniyle genişletilmiş duvar ifadesi (Enhanced Wall Treatment) kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak SIMPLE algoritması esas alınmıştır. Çözümlerde

daha hassas sonuçlar verdiği için, değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişimine yönelik Second Order Upwind yaklaşımı kullanılmıştır. Çözüm alanındaki ağ yapısı Şekil 3'de görüldüğü gibi stadyum modelleri etrafında yoğunluğu artan bir düzende oluşturulmuştur. Model yüzeylerinde hexahedral, diğer bölgelerde tetrahedral ağ yapısının kullanıldığı akış alanlarında ağdan bağımsız çözümler elde edebilmek için farklı sayıdaki ağ yapıları ile denemeler yapılmıştır. 8,825,179 hücreli (kaba ağ), 12,717,306 hücreli (orta ağ) ve 15,422,538 hücreli (ince ağ) şeklinde üç farklı ağ yoğunluğu için tekrarlanan çözüm sonuçları, orta ağ yoğunluğunun ağdan bağımsız çözümler için yeterli olduğunu göstermiştir. Bu şekilde oluşturulan ağ düzeni ile hesap alanında ağdan bağımsız çözümlerin sağlandığı yaklaşık 3.8 milyon ağ kullanılmıştır. Model katı yüzeyleri boyunca $y^+ < 2$ olmaktadır. Normalize edilmemiş artıkların 10^{-6} 'dan küçük olması koşulu, çözüm yakınsama kriteri olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Akış alanına içerisine yerleştirilen stadyum modeli etrafındaki ağ yapısının genel görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, düz ve üçgen prizmatik baklalı iki farklı çatı sistemine sahip stadyum modeli etrafındaki akış alanları, rüzgar geliş açısının $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, stadyum modelleri etrafında akış çizgileri ve ortalama hız dağılımları ve model yüzeylerinde basınç dağılımları şeklinde değerlendirilmiştir. Şekil 4'de, düz çatılı stadyum modeli üzerinde $y=50$ mm seviyesinde yatay

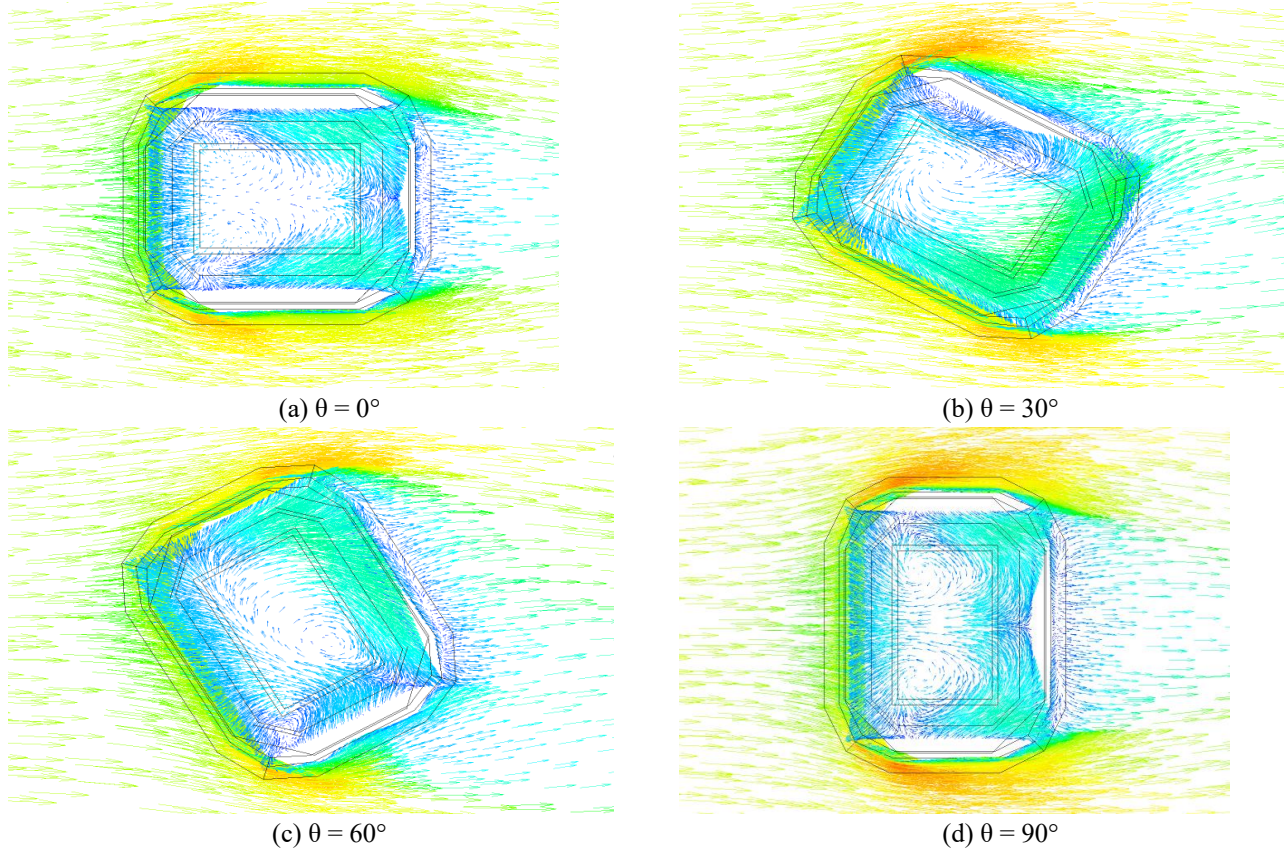
kesitte rüzgar geliş açısının $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri için elde edilmiş akış çizgileri görülmektedir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzünün kenarlarından itibaren akışın yönlendiği ve modelin ön üst kısmında yatay düzlemde birbirine göre ters yönde dönen girdap çiftinin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4a). $\theta = 30^\circ$ rüzgar geliş açısında, model üst bölgesinde farklı büyüklükte üç adet ters akış bölgesi oluşmaktadır (Şekil 4b). $\theta = 60^\circ$ rüzgar geliş açısında ise, model üzerinde biri daha büyük boyutlu olmak üzere iki adet girdap bölgesinin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4c). Modelin uzun kenarının karşıladığı $\theta = 90^\circ$ rüzgar geliş açısında, model üst kısmının tamamına yayılan boyutta özdeş iki girdap oluşmaktadır (Şekil 4d).

Üçgen prizmatik baklalı çatı sistemine sahip stadyum modeli üzerinde $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar geliş açısının $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri için elde edilmiş akış çizgileri Şekil 5'de verilmiştir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, aynı açıdaki düz çatılı model sonuçlarına benzer şekilde model üzerinde model ön kısmına yakın bölgede daha küçük boyutlu olmak üzere birbirine göre ters yönde dönen girdap çiftinin oluştuğu görülmektedir. Ancak düz çatılı durumdan farklı olarak, çatı sistemini oluşturan baklaların varlığı nedeniyle baklalar arasında küçük ölçekli girdap yapıları ortaya çıkmaktadır (Şekil 5a). $\theta = 30^\circ$ rüzgar geliş açısında, model üzerindeki girdap bölgeleri azalmakta, baklalar arasındaki küçük ölçekli girdaplar ise etkisini sürdürmektedir (Şekil 5b). $\theta = 60^\circ$ rüzgar geliş açısında ise, model üzerinde oluşan ters akış bölgeleri baklalar arasındaki girdap yapılarını etkilemektedir (Şekil 5c). $\theta = 90^\circ$ rüzgar geliş açısında, baklalar arasında oluşan girdapların yanı sıra model üzerinde saha bölgesinin tamamını kapsayan iki adet girdap ortaya çıkmaktadır.

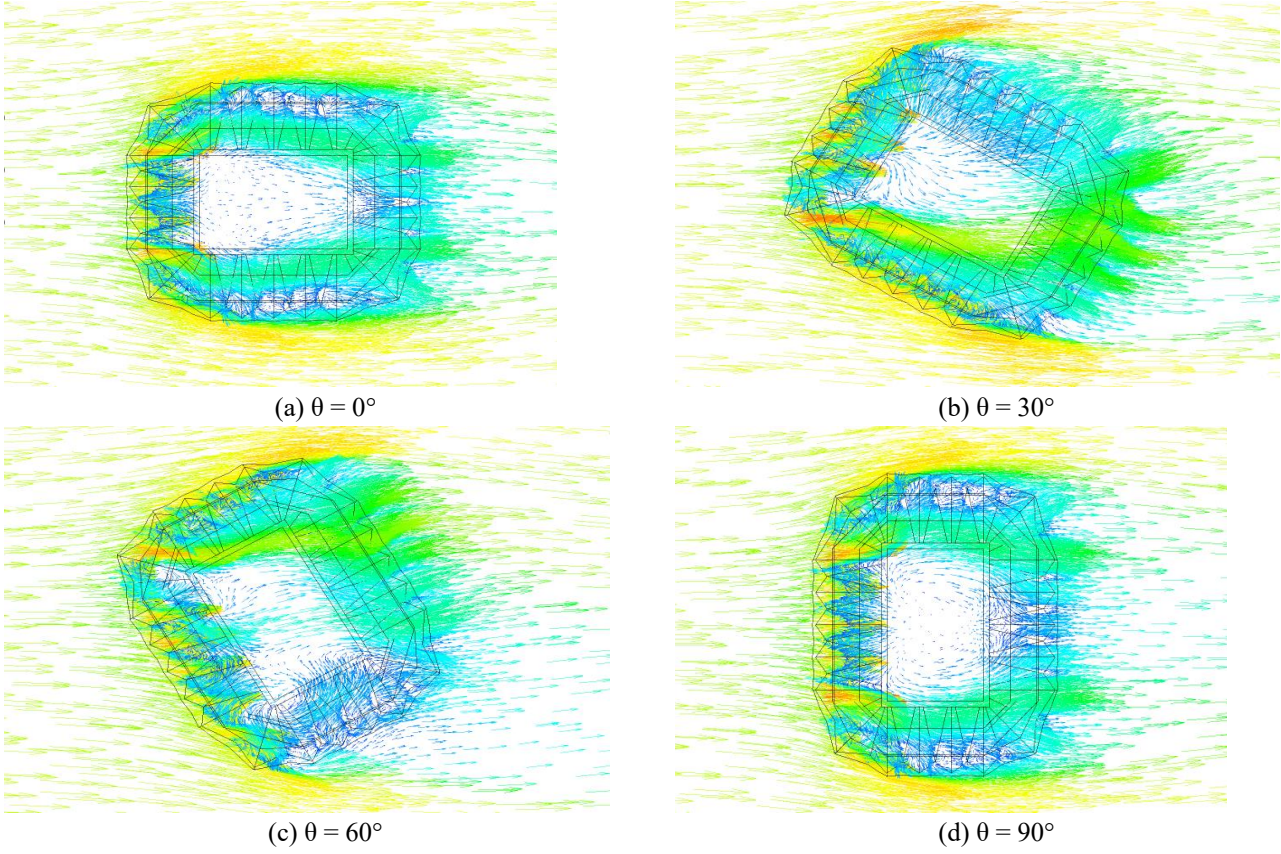
Düz çatılı ve baklalı çatılı modeller üzerindeki akış yapıları karşılaştırıldığında, baklaların varlığının akış çizgilerinde önemli değişikliğe neden olduğu görülmektedir. Şekil 6'da, düz çatılı stadyum modeli üzerinde $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar geliş açısının $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri için elde edilmiş hız konturları görülmektedir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, model ön yüzünün her iki kenarından itibaren akış yönlenecek hız kazanmaktadır. Model üst yüzünün büyük bölümünde ve model arkasında hız değerleri azalmaktadır (Şekil 6a). $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 60^\circ$ rüzgar geliş açılarındaki model üst yüzeylerinin yanı sıra, ayrılmış akış bölgelerinde de hız değerleri azalmaktadır (Şekil 6b-c). $\theta = 90^\circ$ rüzgar geliş açısında ise, $\theta = 0^\circ$ 'deki duruma benzer şekilde model üst yüzünün büyük bölümünde ve model arkasında hız değerleri azalmaktadır. Üçgen prizmatik baklalı çatı sistemine sahip stadyum modeli üzerinde $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar geliş açısının $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° değerleri için elde edilmiş hız konturları Şekil 7'de verilmiştir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, rüzgara doğrudan

maruz kalan baklaların arasındaki boşluklarda akış hızlanmaktadır. Bu doğrultularda model boyunca hız değerlerinde artış olmaktadır (Şekil 7a). Akıştaki ivmelenme nedeniyle sağlanan bölgesel hız artışı, rüzgar geliş açısının $\theta = 30^\circ$, 60° ve 90° durumlarında da ortaya çıkmaktadır. Şekil 8'de, düz çatılı stadyum modeli üzerinde rüzgar geliş açısının 0° , 30° , 60° ve 90° değerleri için elde edilmiş basınç katsayısı konturları görülmektedir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyi üzerinde basınç katsayısı pozitif olmaktadır. Model ön yüzeyinin kenarlarından ayrılan akış nedeniyle model yan, arka ve üst yüzeylerinde basınç katsayısı negatif olmaktadır. (Şekil 8a). Doğrudan rüzgara maruz kalan model yüzeyleri dışındaki diğer tüm yüzeylerde basınç katsayısının negatif değerler alması, rüzgar geliş açısının $\theta = 30^\circ$, 60° ve 90° olduğu durumlarda da ortaya çıkmaktadır. En kritik negatif basınç katsayısı değeri, rüzgara doğrudan maruz kalan yüzeyin kenarlarından ayrılan akış bölgelerinde ortaya çıkmakta ve -2.21 değeriyle $\theta = 60^\circ$ 'lik rüzgar geliş açısında gerçekleşmektedir. Üçgen prizmatik baklalı çatı sistemine sahip stadyum modeli üzerinde rüzgar geliş açısının 0° , 30° , 60° ve 90° değerleri için elde edilmiş basınç katsayısı

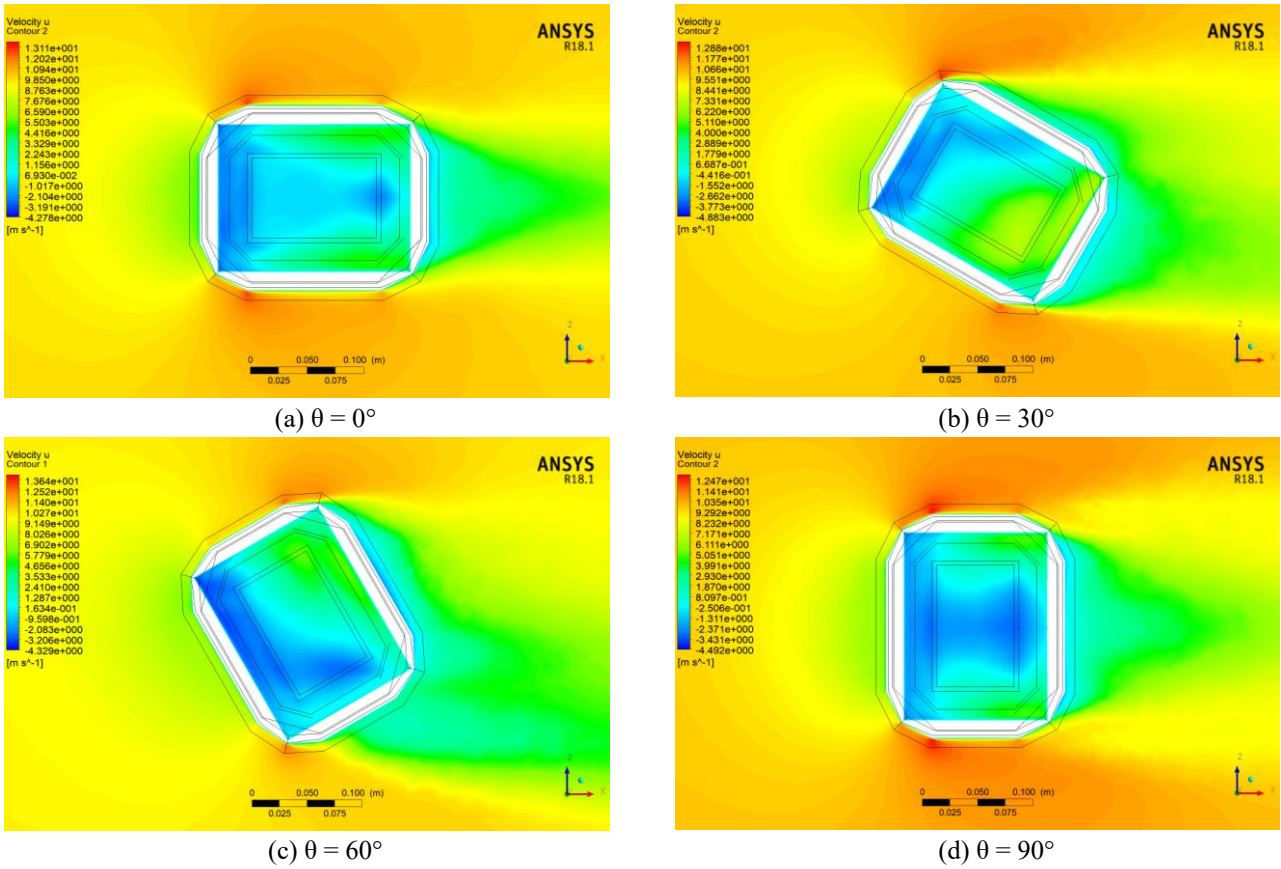
konturları Şekil 9'da verilmiştir. $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyi ve ön kısımdaki bakla yüzeylerinde basınç katsayısı itme etkisi nedeniyle pozitif olmaktadır. Modelin diğer tüm yüzeylerinde ise basınç katsayısı negatif değerler almaktadır. En kritik negatif basınç katsayısı değerleri akış ayrılma bölgelerinde ve rüzgarı doğrudan alan baklaların yan yüzeylerinde oluşmaktadır. Bu durum rüzgar geliş açısının $\theta = 30^\circ$, 60° ve 90° değerlerinde de ortaya çıkmaktadır. En kritik negatif basınç katsayısı -2.83 değeriyle $\theta = 60^\circ$ 'lik rüzgar geliş açısında gerçekleşmektedir. $\theta = 90^\circ$ rüzgar geliş açısı için akış doğrultusunda orta düşey düzlemde model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri düz kabuklu ve baklalı kabuklu model durumları için bir arada Şekil 10'da verilmiştir. Boyutsuz mesafelere göre bir arada verilen iki değişim değerlendirildiğinde, özellikle akış ayrılmasının ortaya çıktığı model ön yüzey kenarı yakınında, negatif basınç katsayılarının kritik olduğu ve baklalı kabuklu modelde daha büyük negatif pik değerinin oluştuğu görülmektedir. Bu durum, baklalı çatı sistemine sahip modelin rüzgar kaynaklı hasarlar açısından daha riskli olduğunu göstermektedir.



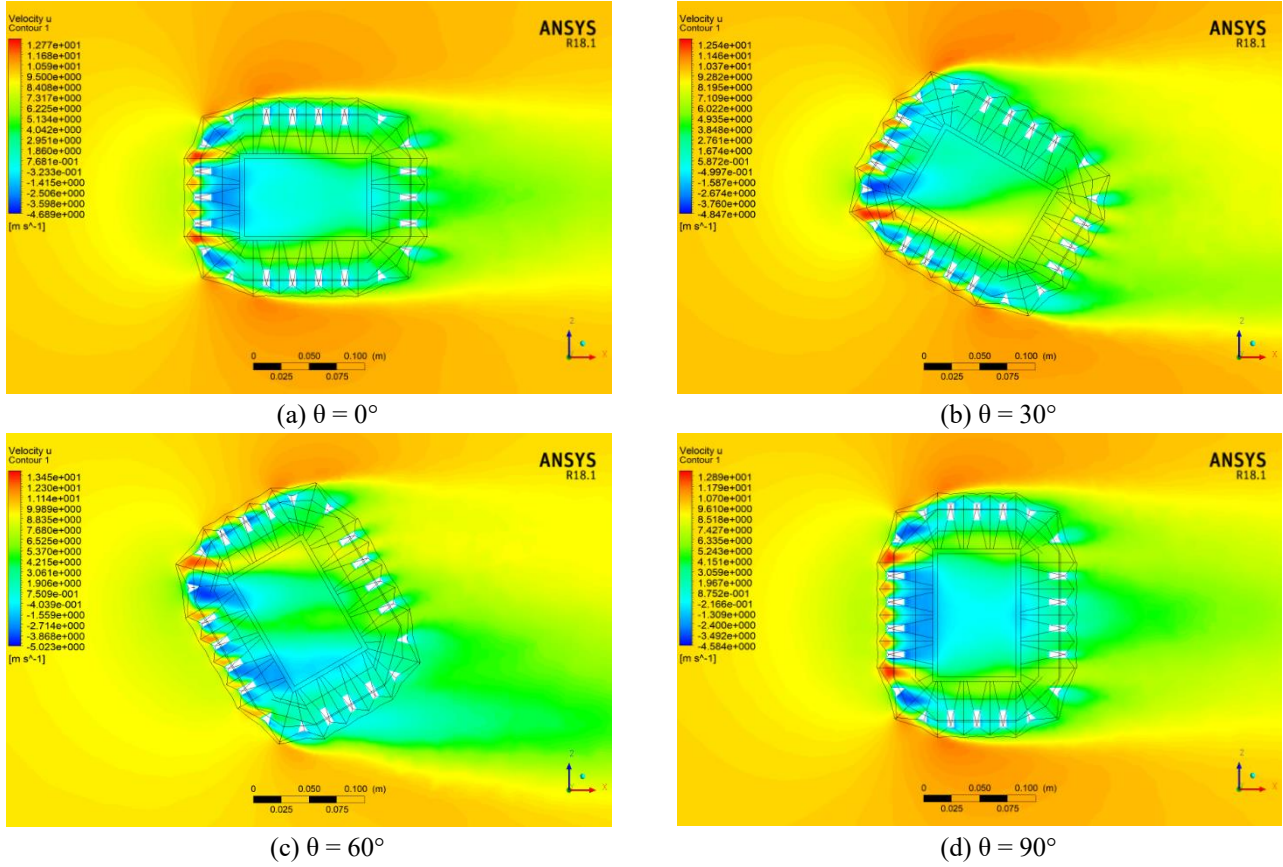
Şekil 4. Düz çatılı stadyum modeli için $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar akış çizgisi görüntüleri.



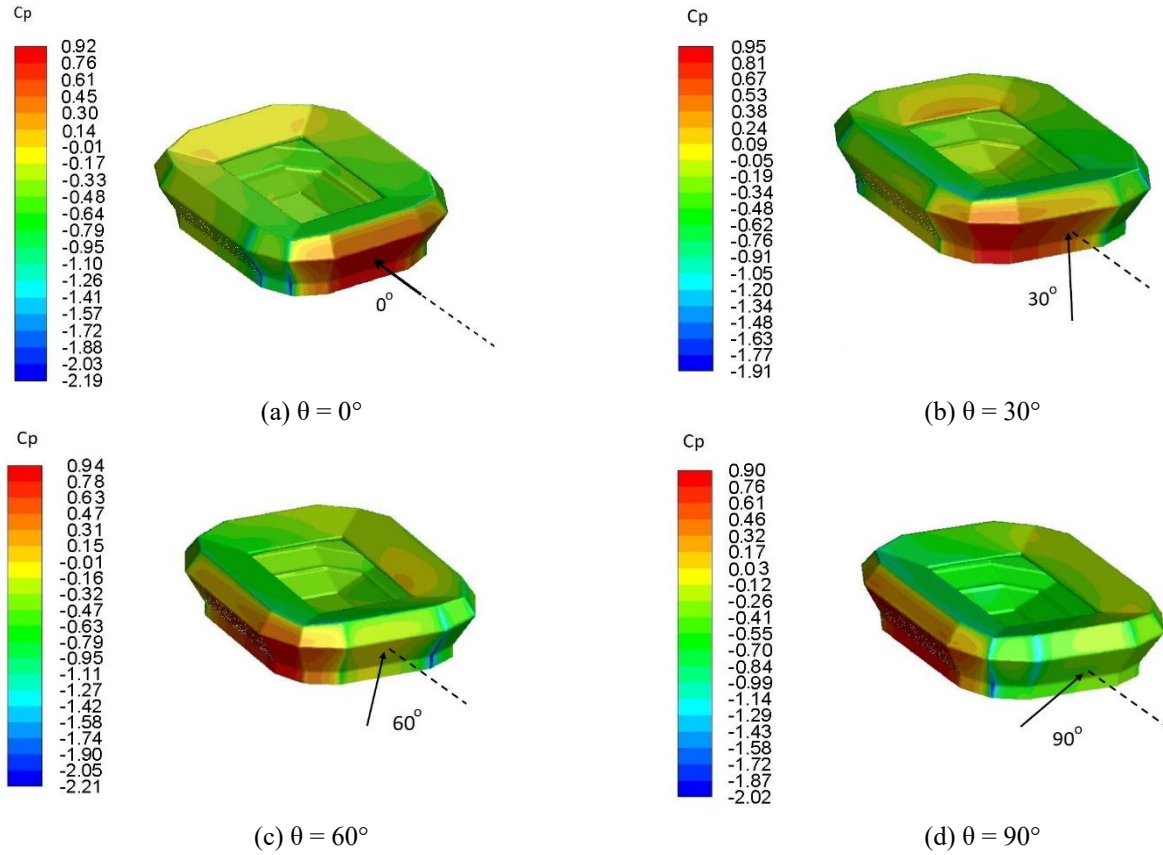
Şekil 5. Baklı çatılı stadyum modeli için $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar akış çizgisi görüntüleri.



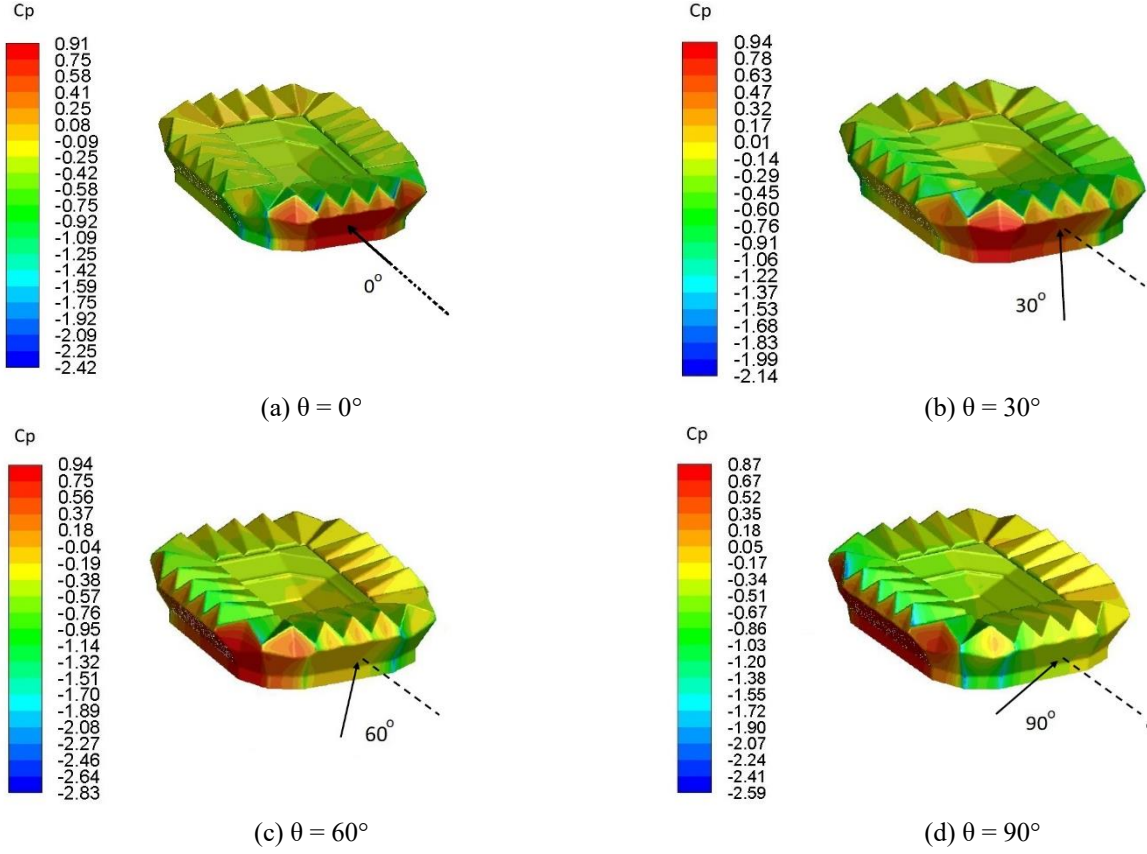
Şekil 6. Düz çatılı stadyum modeli için $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar hızı kontur görüntüleri.



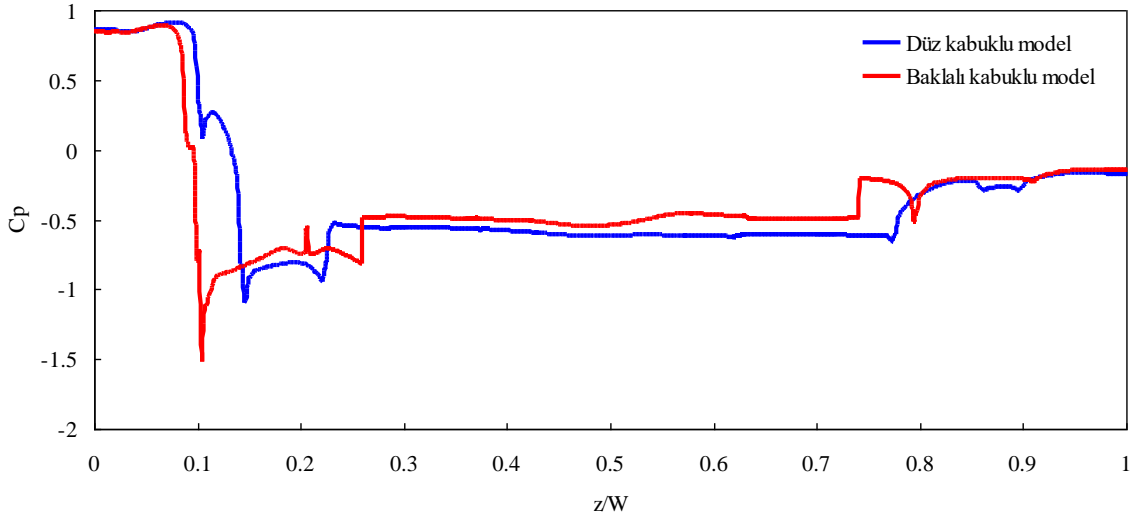
Şekil 7. Baklı çatılı stadyum modeli için $y=50$ mm seviyesinde yatay kesitte rüzgar hızı kontur görüntüleri.



Şekil 8. Düz çatılı stadyum modeli için basınç katsayısı kontur görüntüleri.



Şekil 9. Baklalı çatılı stadyum modeli için basınç katsayısı kontur görüntüleri.



Şekil 10. $\theta = 90^\circ$ için orta eksen - düşey doğrultuda model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, düz ve üçgen prizmatik baklalı olacak şekilde iki farklı kabuk geometrisine sahip stadyum modeli etrafındaki akış alanları farklı rüzgar geliş açıları için sayısal olarak incelenmiştir. Rüzgar geliş açısının ve kabuk geometrisinin akış karakteristikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Düz çatılı modelde, $\theta = 0^\circ$ ve 90° rüzgar geliş

açıları, modelin üst kısmında yatay düzlemde birbirine göre ters yönde dönen bir girdap çifti oluşurken, $\theta = 30^\circ$ ve 60° rüzgar geliş açıları ise, model üst kısmında farklı büyüklüklerde girdaplar oluşmaktadır. Baklalı çatılı modelde, çatı sistemini oluşturan baklaların varlığı nedeniyle baklalar arasında küçük ölçekli girdap yapıları ortaya çıkmaktadır. Baklaların varlığının akış çizgilerinde önemli değişikliğe neden olduğu görülmektedir. Düz çatılı modelde, model üst yüzeyinin büyük bölümünde ve model

arkasında hız değerleri azalmaktadır. Baklı çatılı modelde, rüzgara doğrudan maruz kalan baklıların arasındaki boşluklarda akış ivmelenmekte ve bu doğrultularda model boyunca hız değerlerinde artış olmaktadır. Düz çatılı modelde, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyi üzerinde basınç katsayısı pozitif olmaktadır. Model ön yüzeyinin kenarlarından ayrılan akış nedeniyle model yan, arka ve üst yüzeylerinde ise basınç katsayısı negatif olmaktadır. Baklı çatılı modelde, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyi ve ön kısımdaki baklı yüzeylerinde basınç katsayısı itme etkisi nedeniyle pozitif olmaktadır. Modelin diğer tüm yüzeylerinde ise basınç katsayısı negatif değerler almaktadır. En kritik negatif basınç katsayısı değerleri akış ayrılma bölgelerinde ve rüzgarı doğrudan alan baklıların yan yüzeylerinde oluşmaktadır. Akış ayrılmasının ortaya çıktığı model ön yüzey kenarı yakınında, negatif basınç katsayıları kritik olmakta ve baklı kabuklu modelde daha büyük negatif pik değerler oluşmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan İş İstasyonları ve lisanslı ticari yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Bu hususta çalışmanın gerçekleştirilmesine verdikleri destek için K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Culley P., Pascoe J., 2009. Sports facilities and technologies, 1st ed. Routledge, New York, USA.
- [2] Szücs A., Perraudeau P., Allard F., 2006. Assessment of visual comfort of spectators in stadia, vol. II. Geneva, Switzerland: Proceedings of the 21st international conference of passive and low energy architecture (PLEA), Geneva,, Switzerland, 6-8 September, 609–612.
- [3] Szücs A., Moreau S., Allard F., 2007. Spectators' aerothermal comfort assessment method in stadia. Building and Environment, 42, 2227–2240.
- [4] Szücs A., Moreau S., Allard F., 2009. Aspects of stadium design for warm climates. Building and Environment, 44, 1206–1214.
- [5] Bouyer J., Vinet J., Delpech P., Carre S., 2007. Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, 963–976.
- [6] van Hooff T., Blocken B., 2010. Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high-resolution grid: A case study for the Amsterdam ArenA stadium. Environmental Modelling & Software, 25(1), 51–65.
- [7] van Hooff T., Blocken B., van Harten M., 2011. 3D CFD simulations of wind flow and wind-driven rain shelter in sports stadia: Influence of stadium geometry. Building and Environment, 46(1), 22–37
- [8] van Hooff T., Blocken B., 2012. Full-scale measurements of indoor environmental conditions and natural ventilation in a large semi-enclosed stadium: Possibilities and limitations for CFD validation. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 104, 330–341.
- [9] Mei WJ., Qu M., 2016. Evaluation and Analysis of Wind Flow for a Football Stadium. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction (ICSDEC), Arizona State Univ, Coll Avenue Commons, Tempe, AZ-USA, MAY 18-20, Vol:104, pp: 774–781.
- [10] Shi LG., An RR., 2017. An Optimization design Approach of Football Stadium Canopy Forms Based On Field Wind Environment Simulation. 9th International Conference on Sustainability and Energy in Buildings (SEB), Chania, GREECE, JUL 05-07, Vol:134, pp: 757–767.
- [11] Liu M., Li QS., Huang SH., Shi F., Chen FB., 2018. Evaluation of wind effects on a large span retractable roof stadium by wind tunnel experiment and numerical simulation. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 179, 39–57.
- [12] Chen L., Li YLX., 2019. Effects of different auditorium forms on ventilation in a football stadium. Indoor and Built Environment, 1–17.
- [13] Zhong FL., Calautit JK., Hughes B., 2019. Analysis of the influence of cooling jets on the wind and thermal environment in football stadiums in hot climates. Building Services Engineering Research & Technology, 1–25.
- [14] Kim HU., Jong SI., 2020. Development of a system for evaluating the flow field around a massive stadium: Combining a microclimate model and a CFD model. Building and Environment, 172.



PID ve Bulanık Mantık Kontrol Sistemleri ile İki Tekerlekli Kendini Dengeleyebilen Robotik Sistem Tasarımı

Design of a Two-Wheel Self-Balancing Robotic System with the PID and Fuzzy Logic Control Systems

Furkan PEÇE^{1*} , Eser YARAR² , Sedat KARABAY³ 

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5704-896X

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-1187-5382

³ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3258-0957

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 02/01/2020

Kabul Tarihi : 01/06/2020

Anahtar Kelimeler

Ters Sarkaç Sistemi
Kendi Kendini Dengeleme
Segway
Bulanık Mantık Kontrol Sistemi
PID Kontrol Sistemi

Özet

Bu çalışmada, iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin tasarımı ve kontrol yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Ters sarkaç sistemiyle aynı prensibe sahip olan iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemlerin kontrolü, PID ve bulanık mantık kontrol sistemi ile sağlanmıştır. Matlab Simulink yardımıyla blok diyagramları oluşturulup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Giriş olarak motorlardaki elektrik girişi ve çıkışı olarak sistemin açılmal değişimi kabul edilmiştir. Matematiksel modeller Kirchhoff voltaj ve Newton hareket yasalarından elde edilmiştir. Nonlineer denklemleri lineer hale getirip, sistemin durum uzay matrisine ulaşılmıştır. Tasarlanan iki tekerlekli robotik sistem, ters sarkaç mantığına göre kendini dengeye getirebilmektedir. Sistem denge pozisyonundayken, gövdenin açılmal hareket yapmasıyla sistemin ağırlık merkezi değişmektedir. Ağırlık merkezindeki değişim ivmeölçer ile programlayıcıya geri besleme yaparak iletilir. Programlayıcı da motor sürücülerine yetki vererek sistemin tekerleklerine gerekli hareketi sağlar. Böylece sistem, kendini tekrardan denge pozisyonuna getirir. Sonuçlara göre, PID kontrolcünün bulanık mantık kontrolcüye göre sistemin denge ve konum kontrolünde daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Prototip üretimi için ise, Arduino Uno kart, Mpu 6050 sensör, motorlar, motor sürücüsü, güç kaynağı ve şase için makrolon malzemeler kullanılmıştır.

Research Paper

Received Date : 02/01/2020

Accepted Date : 01/06/2020

Keywords

Inverted Pendulum System
Self – Balancing
Segway
Fuzzy Logic Control System
PID Control System

Abstract

In this article, the design and control methods of the two-wheel self-balancing robotic system were studied. PID and Fuzzy Logic control systems were used to control two-wheel self-balancing robotic systems which have the same principle as the inverted pendulum system. Block diagrams were created with Matlab Simulink, and the results were compared. The input of the system, the electrical input of the motors, the output of the system was considered as angular changes of the system. Mathematical models were derived from Kirchhoff voltage and Newton's laws of motion. The state-space matrix of the system was determined by transforming nonlinear equations to linear. The designed robotic system can balance itself according to the inverted pendulum logic. While the system is in balance position, the center of gravity of the system changes with the angular movement of the body. The change in the center of gravity is fed back to the controller with the accelerometer. The controller authorizes motor drivers to move to the wheels of the system. Thus, the system is brought back to the balance position itself. According to the results, it was found that the PID controller is better than the Fuzzy Logic controller in balance and position control of the system. Arduino Uno card, Mpu 6050 sensor, motors, motor driver, power supply and makrolon materials for chassis have used to obtain the prototype.

1. Giriş

İki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemler, elektrikli olması sebebiyle hava kirliliği oluşturmaması, diğer araçlara göre düşük maliyetli olması, her yaştan

insanın kullanabilmesinin yanında hafif hacim ve yüksek manevraya sahip olmasından dolayı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin modellenmesi ve kontrolü ile ilgili sayısız araştırma yapılmış, birçok farklı konseptlerde imal edilmiştir. İnsan tarafından ve dışarıdan kontrolle de sürülebilmektedir. Bu anlayışın içinde ticari pazarda en çok başarı sağlamış, güvenlik ve performans

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): f.pecee@gmail.com



açısından en iyi olan ürün, Dean Kamen tarafından üretilen Segway insan taşıyıcı robotudur. İnsan tarafından sürülen sistemlerin çalışma mantığı, sürücü öne ve geriye doğru eğilerek aracın hızını ve önündeki gidon sayesinde ise gideceği yönü belirlemesidir. Segway'den ilham alan birçok uygulama vardır. Bu çalışmalar robotik sistemin daha hafif ve daha düşük maliyetli olabileceğini ispatlamaktadır [1-4].

Bu sistemlerin kontrolünü sağlamak için birçok farklı yöntemler kullanılmıştır. 2005' te Pathak ve arkadaşları hız ve konum için kısmi geri beslemeden bahsetmiştir [5]. 2006' da Forrest ve arkadaşları yapay sinir ağları kullanarak araçların kontrolünü yapmaya çalışmıştır [6]. Aynı yılda Kim hız ve konum için lineer durum uzay modeli kullanmıştır [7]. Kim'in yaptığı çalışmadan faydalanarak Nawawi ve arkadaşları robotu dengeleyebilmek için kutup teorisini ortaya atmıştır [8]. 2007' de Jeong ve Takahashi doğrusal kuadratik düzenleyici ile geri beslemeyi denemiştir [9]. 2009' da Li ve Xu bulanık mantık teoremi uygulamıştır [10]. Huang 2010 da LQR metodunu kullanmıştır [11]. Li ve arkadaşları araçlar üzerinde PID kontrol kullanmıştır [12]. Mahadi ve arkadaşları 2011 yılında kendini dengeleyebilen robotlar üzerinde PD kontrol kullanmıştır [13]. Xu ve arkadaşları tarafından 2013 yılından üretilen iki tekerlekli bir robotun bulanık mantık ile kontrolü uygulaması yapılmıştır. İlk olarak integral kayma kontrol metodu kullanarak 2014 yılında Xu ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [14].

Literatür araştırması iki tekerlekli robotik sistemlerin kontrolü için farklı yöntemlerin kullanıldığını göstermiştir. Yapmış olduğumuz çalışma iki tekerlekli robotik sistemler

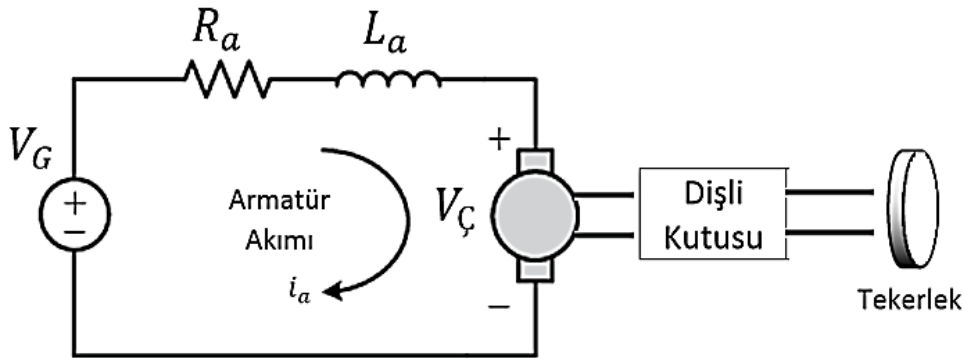
için hem PID, hem de bulanık mantık kontrol uygulamasını sunmaktadır. Tasarlanan robotik sistem için elde edilen matematiksel denklemler Matlab Simulink ortamında PID ve bulanık mantık kontrolcüsü için uygulanmıştır. Çalışmanın amacı PID ve bulanık mantık kontrolcüsünün konum, hız ve ivme bakımından karşılaştırmaktır. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre iki tekerlekli robotik sistem için bir prototip tasarlanmış ve PID kontrol yöntemi ile kontrol edilmiştir.

2. Matematiksel Model

Bu bölümde iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin matematik denklemlerini elde edebilmek için izlememiz gereken adımlar belirtilmiştir. Tasarım aşamasında sistemin düz yolda herhangi bir engebeyle karşılaşmadığı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır.

Öncelikle tekerlere hareketi sağlayan DC motorlardan tekerlerin torkunun elde edilmesi gerekmektedir. Daha sonra tekerlere etki eden kuvvetlerin yardımıyla sistemdeki sürtünme kuvvetini ve x yönündeki ivmenin hesaplanması gerekmektedir. Sürtünme kuvveti ve x yönündeki ivme hesaplandıktan sonra sarkacın yani sistemin açısız hareketinden yararlanarak elde edilmek istenilen x yönündeki ivme ve sistemin açısız ivmesi bulunabilir. Lagrange ve Newton'un hareket yasalarından elde edilen matematiksel model, gerçek sistemin temsilidir. Matematik modelde önemli olan sistemin atalet momentinin hesaplanmasıdır. Elde edilen matematiksel modellerle de sistemin kontrolü sağlanmaktadır.

Yukarıda özetlenen matematiksel model aşağıda belirtilen denklemlerle elde edilebilir.



Şekil 1. DC motor modellemesi ve tekerlek ilişkisi

Şekil 1' de gösterilen DC Motor elektrik devre şemasında giriş voltajı V_G aşağıda belirtilmiş şekilde hesaplanmıştır.

$$V_G = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + V_Ç \quad (2.1)$$

DC Motorlarda motor armatür indüktansı $L_a \cong 0$ kabul edilebilir. $L_a \cong 0$ kabulü yapıldığında (2.1)'de ki denklem aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$V_G = i_a R_a + V_Ç \quad (2.2)$$

Kirchhoff Voltaj Yasasına göre V_C değeri (2.3) nolu denklemde belirtildiği gibidir.

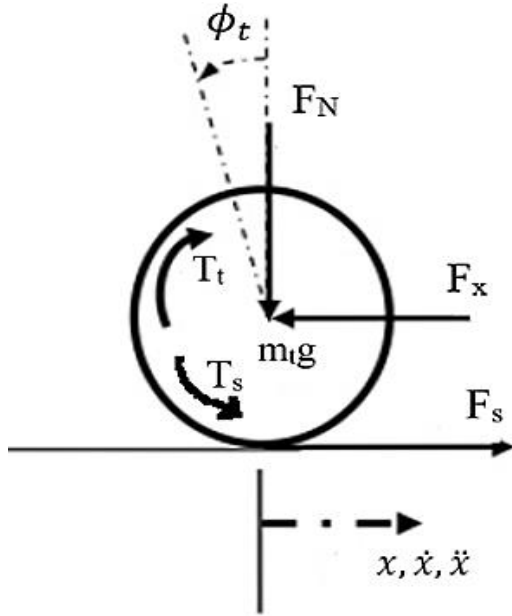
$$V_C = K_C \dot{\phi}_m = K_C \frac{di_a}{dt} \quad (2.3)$$

$$T_m = K_t \left(\frac{V_G}{R_a} - \frac{K_C}{R_a} \dot{\phi}_m \right) \quad (2.4)$$

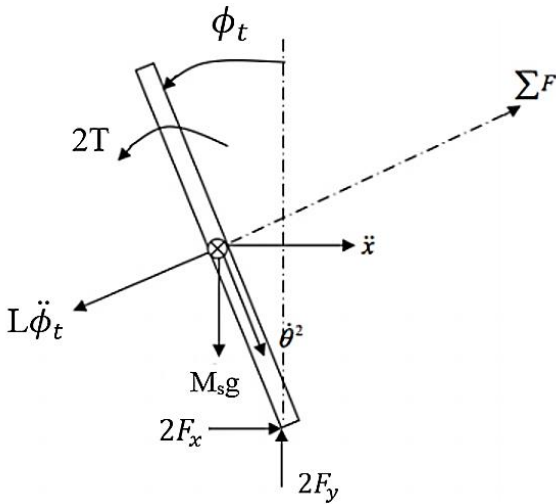
Tekerlek ve motor torku arasında ki redüktörden dolayı verim ilişkisi ile tekerleklerin ve motorun açısal pozisyonu arasında ki ilişki tekerlek tork denkleminde yazıldığında (2.9)'daki gibi bulunur.

$$T_t = \frac{K_t V_G \eta}{R_a} - \frac{K_t K_C \eta^2 \dot{\phi}_t}{R_a} \quad (2.5)$$

a)



b)



Şekil 2. Sisteme etki eden yükler (a) Sistemin tekerleğine etki eden kuvvetler, (b) Sistemin reaksiyon kuvvetleri

Newton yasasına göre x yönündeki toplam kuvvetler Şekil 2.a' dan elde edilir;

$$F_s - F_x = m_t \ddot{x}_t \quad (2.6)$$

Newton yasasına göre toplam momentler;

$$T_t - T_s - F_s r = J_t \ddot{\phi}_t \quad (2.7)$$

Motor şaftındaki sürtünme torku T_s 'nin şaft açısal hızı ile bağlantısı denklem (2.8) de belirtildiği gibidir.

$$T_s = k_m \dot{\phi}_t \quad (2.8)$$

$$m_t \ddot{x}_t = \frac{K_t V_G \eta}{R_a r} - \frac{K_t K_C \eta^2 \dot{x}_t}{R_a r^2} - \frac{k_m \dot{x}_t}{r^2} - \frac{J_t \ddot{x}_t}{r^2} - F_x \quad (2.9)$$

Matematik modeli çıkartılan robotik sistemde 2 adet tekerlek olduğu için bulunan (2.9) numaralı denklemi 2 katı ile genişletilmek zorundadır.

$$2 \left(m_t + \frac{J_t}{r^2} \right) \ddot{x}_t = \frac{2K_t V_G \eta}{R_a r} - \frac{2K_t K_C \eta^2 \dot{x}_t}{R_a r^2} - \frac{2k_m \dot{x}_t}{r^2} - 2F_x \quad (2.10)$$

Her iki tekerleğin sisteme verdiği reaksiyon kuvvetleri aynı yönde ve aynı değerde olduğu kabul edilir. Şekil 2.b' de gösterilen hareket diyagramında x eksenindeki tüm kuvvetlerin toplamı sistemin kütlesi ile ivmelenmesinin çarpımına eşittir.

$$2F_x - M_s L \ddot{\phi}_t \cos \phi_t + M_s L \dot{\phi}_t^2 \sin \phi_t = M_s \ddot{x}_s \quad (2.11)$$

Sisteme dik olan tüm kuvvetlerin toplamı, sistemin kütlesi ve bu yöndeki hızlanma ile doğru orantılıdır.

$$2F_x \cos \phi_t + 2F_y \sin \phi_t - M_s g \sin \phi_t - M_s L \ddot{\phi}_t = M_s \ddot{x}_s \cos \phi_t \quad (2.12)$$

Toplam momentler;

$$-2F_x L \cos \phi_t - 2F_y L \sin \phi_t - 2T = J_s \ddot{\phi}_t \quad (2.13)$$

(2.5) numaralı Tork denklemini (2.13) numaralı denklemde yerine yazıldığında;

$$-2F_x L \cos \phi_t - 2F_y L \sin \phi_t - 2 \left(\frac{K_t V_G \eta}{R_a} - \frac{K_t K_C \eta^2 \dot{x}_s}{R_a r} \right) L = J_s \ddot{\phi}_t \quad (2.14)$$

Denklemin elde edilir. (2.12) numaralı denkleminin her iki tarafı L uzunluğuyla çarpıldığında;

$$2F_x L \cos \phi_t + 2F_y L \sin \phi_t - M_s g L \sin \phi_t - M_s L^2 \ddot{\phi}_t = M_s \ddot{x}_s L \cos \phi_t \quad (2.15)$$

F_x ve F_y terimlerini (2.14) ve (2.12) numaralı denklemlerden çıkarmak için denklemler toplanır.

$$2 \frac{K_t K_C \eta^2 \dot{x}_s}{R_a r} - 2 \frac{K_t V_G \eta}{R_a} - J_s \ddot{\phi}_t - M_s g L \sin \phi_t - M_s L^2 \ddot{\phi}_t = M_s \ddot{x}_s L \cos \phi_t \quad (2.16)$$

(2.11) numaralı F_x denklemin (2.10) numaralı denklemden yerine yazılmasıyla F_x terimi ortadan kalkmış olur ve böylece yeni denklem;

$$2 \left(m_t + \frac{J_t}{r^2} \right) \ddot{x}_s = \frac{2K_t V_G \eta}{R_a r} - \frac{2K_t K_C \eta^2 \dot{x}_s}{R_a r^2} - \frac{2k_m \dot{x}_s}{r^2} - M_s \ddot{x}_s - M_s L \ddot{\phi}_t \cos \phi_t + M_s L \dot{\phi}_t^2 \sin \phi_t \quad (2.17)$$

(2.16) ve (2.17) numaralı denklemler yeniden düzenlenirse;

$$\ddot{\phi}_t = 2 \frac{K_t K_C \eta^2 \dot{x}_s}{R_a r (J_s + M_s L^2)} - 2 \frac{K_t V_G \eta}{R_a (J_s + M_s L^2)} - \frac{M_s g L \sin \phi_t}{(J_s + M_s L^2)} - \frac{M_s \ddot{x}_s L \cos \phi_t}{(J_s + M_s L^2)} \quad (2.18)$$

$$\ddot{x}_s = \frac{\frac{2K_t V_G \eta}{R_a r} - \frac{2K_t K_C \eta^2 \dot{x}_s}{R_a r^2} - \frac{2k_m \dot{x}_s}{r^2} - M_s L \ddot{\phi}_t \cos \phi_t + M_s L \dot{\phi}_t^2 \sin \phi_t}{\left(2m_t r^2 + 2J_t + M_s r^2 \right)} \quad (2.19)$$

Denklemin lineerleştirilmesi için sarkaç sisteminin dik pozisyondan çok küçük θ_s açısı kadar uzakta olduğu varsayımı yapılır. Böylece;

$$\ddot{\theta}_s = \frac{M_s L}{(J_s + M_s L^2)} \ddot{x}_s + 2 \frac{K_t K_C \eta^2}{R_a r (J_s + M_s L^2)} \dot{x}_s - 2 \frac{K_t \eta}{R_a (J_s + M_s L^2)} V_G + \frac{M_s g L}{(J_s + M_s L^2)} \theta_s \quad (2.20)$$

$$\ddot{x}_s = \frac{\frac{2K_t \eta}{R_a r} V_G - \left(\frac{2K_t K_C \eta^2}{R_a r^2} + \frac{2k_m}{r^2} \right) \dot{x}_s + M_s L \ddot{\theta}_s}{\left(2m_t r^2 + 2J_t + M_s r^2 \right)} \quad (2.21)$$

Matlab'de lineerleştirilmiş denklemin jakobiyenini alındığında sistemin durum uzay matris gösterimi aşağıdaki gibi olmaktadır;

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \ddot{x}_s \\ \dot{\theta}_s \\ \ddot{\theta}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{2K_t K_C \eta^2}{R_a r^2} + \frac{2k_m}{r^2} \right) \left(\frac{M_s L r - J_s - M_s L^2}{\alpha} \right) & \frac{M_s g L^2}{\alpha} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{2K_t K_C \eta^2}{R_a r^2} \left(\frac{r \beta - M_s L}{\alpha} \right) & \frac{M_s g L \beta}{\alpha} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ \dot{x}_s \\ \theta_s \\ \dot{\theta}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 2K_t \eta (J_s - M_s L^2 - M_s L r) \\ R_a r \alpha \\ 0 \\ 2K_t \eta (M_s L - r \beta) \\ R_a r \alpha \end{bmatrix} V_G \quad \alpha = J_s \beta + 2M_s L^2 \left(m_t + \frac{J_t}{r^2} \right) \quad (2.23)$$

$$\beta = \left(2m_t + \frac{2J_t}{r^2} + M_s \right) \quad (2.24)$$

3. Kontrol Yöntemleri

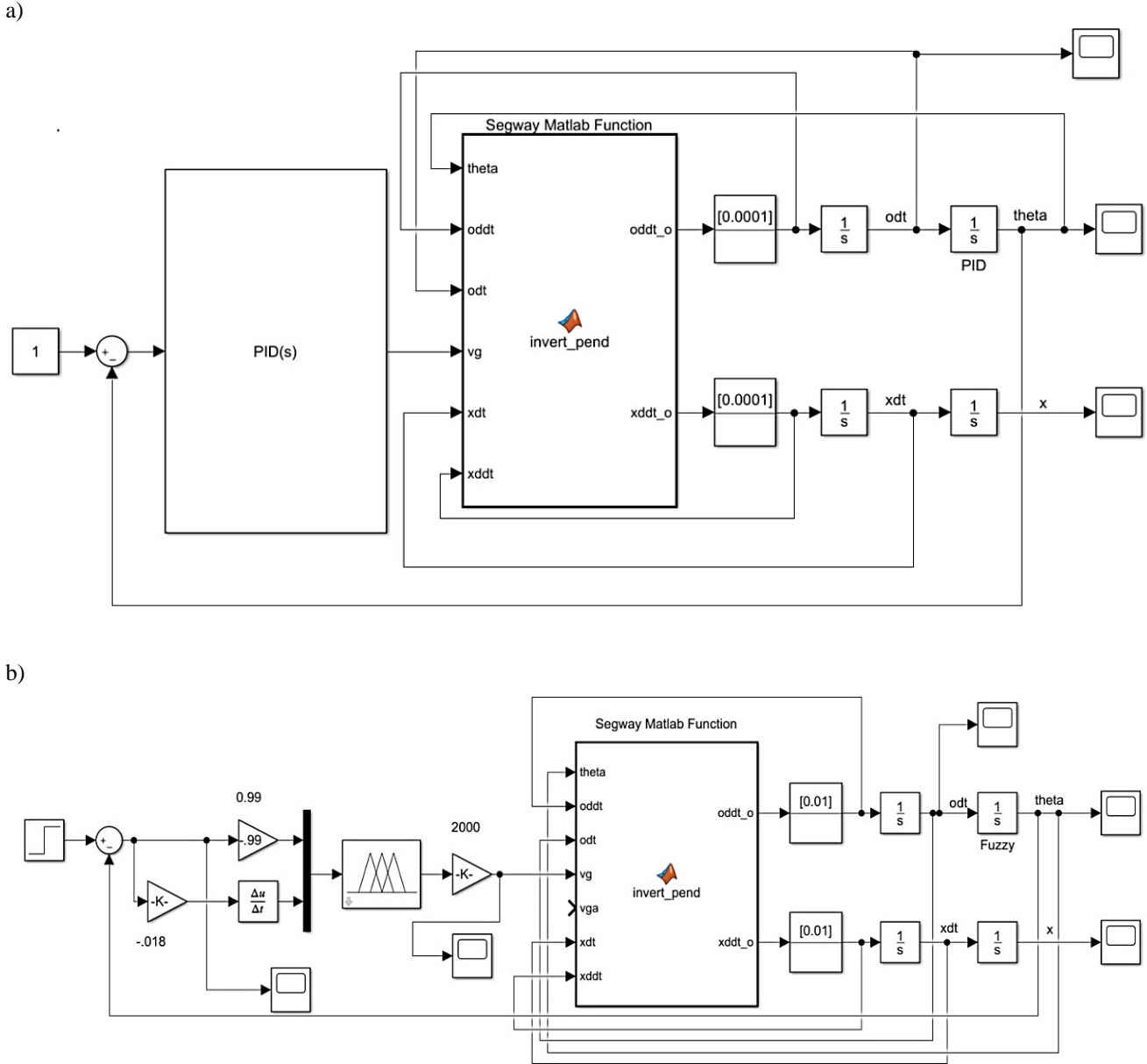
3 modlu denetleyici olarak da ifade edilen PID denetleyicisi, oransal, türevsel ve integral yöntemlerinin bir araya gelmesiyle elde edilmektedir. Türev bileşeni genellikle hata sinyalini daha önceden tahmin etmek, salınımları azaltmak için kullanılırken integral bileşeni ise oransal ofseti azaltmak ve sıfırlamak için kullanılır. Kısaca PID sistemin çıkışı ile referans değeri arasındaki hata farkının sıfır olmasını sağlamaktadır [15].

Hata fonksiyonu, türev bileşeni, integral bileşeni ve oransal bileşen ile ayrı ayrı çarpılır ve bunun sonucunda elde edilen veriler toplanır. Böylelikle PID katsayıları elde edilir. PID kontrolcünün en verimli şekilde çalışabilmesi için kazanç değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

K_p , K_i , K_d değerleri Matlab Simulink PID kontrolcünün içerisinde bulunan Tune kısmından hesaplanır. PID kontrolcü için hesaplanan değerler;

- $K_p = 64.827$
- $K_i = 144.085$
- $K_d = 6.102$

Elde edilen matematiksel modelin Matlab Simulink yardımıyla, PID kontrol yöntemiyle kontrol edilebilmesi için kazanç değerleriyle birlikte Şekil 3.a' da gösterilen blok diyagramı kurulur.



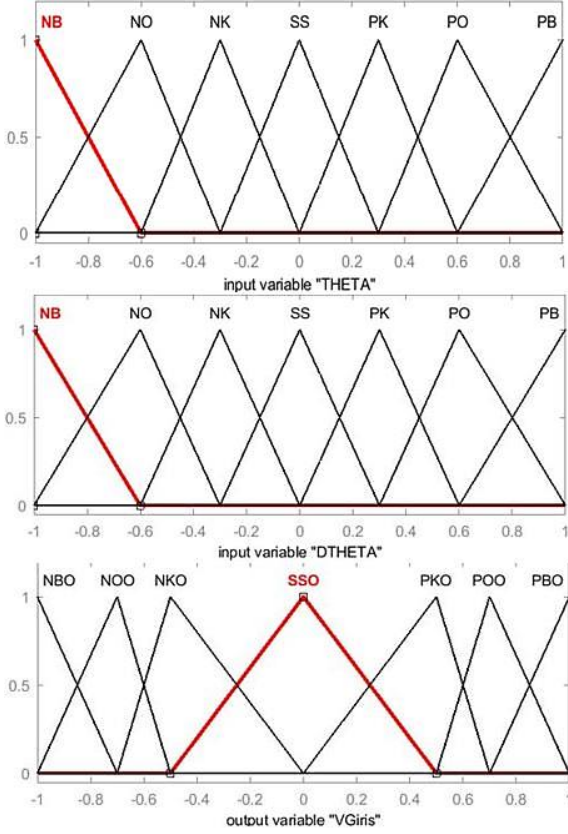
Şekil 3. Kontrol yöntemleri için blok diyagramları (a) Lineer sistem için kapalı çevrim PID kontrolcü blok diyagramı, (b) Bulanık mantık blok diyagramı

Çalışma kapsamında bir diğer kontrol yöntemi olarak bulanık mantık kullanılmıştır. İki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistem için önemli olan çıkış θ 'dır. Bulanık mantık kontrolde θ 'nın hata sinyalini belirli değerlerle çarpılması gerekmektedir. Bu değerler PID kontrolde program tarafından hesaplanırken bulanık mantıkta deneme yanılma yöntemleriyle hesaplanmaktadır. Bulanık mantık kontrol sistemi için oluşturulan blok diyagramı Şekil 3.b'de gösterilmiştir.

Bulanık mantık için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları ise Şekil 4' de gösterilmiştir.

Bulanık mantık, bulanık küme kuramına dayanır. Klasik kümeler sisteminde 0 ve 1 değerlerini alırken bulanık mantık sisteminde 0 ve 1 olduğu gibi 0 ve 1 arasındaki değerler de vardır. Yani klasik küme sisteminde

bir eleman bir kümeye ya tamamen aittir (1) ya da tamamen hariçtir (0). Bulanık mantık sisteminde ise bir eleman belirlenen derecelere göre birçok kümeye ait olabilmektedir. Örneğin klasik kümeler sisteminde insan ya uzundur ya kısadır. Bulanık mantık sisteminde ise insan derecelerine göre 0.7 değeriyle uzun insanlar kümesine 0.3 değeriyle kısa insanlar kümesine girebilmektedir. Burada önemli olan sayıların alt ve üst limitleri arasındaki değerleri NB(Negatif Büyük), NO(Negatif Orta), SS(Sıfır), PO(Pozitif Orta) ve PB(Pozitif Büyük) gibi kümelerle kullanılmaktadır. Bu değerler ve kurallar Yoo ve ark. tarafından tablo haline dönüştürülerek Tablo 1'de gösterilmiştir [16].



Şekil 4. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları

Tablo 1. Bulanık mantık kontrolcü kural tablosu [16]

e_θ	e_δ						
	NB	NO	NK	SS-SR	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NO	NO	NK	NK	SS
NO	NB	NO	NO	NK	NK	SS	PK
NK	NO	NO	NK	NK	SS	PK	PK
SS-SR	NO	NK	NK	SS	PK	PK	PO
PK	NK	NK	SS	PK	PK	PO	PO
PO	NK	SS	PK	PK	PO	PO	PB
PB	SS	PK	PK	PO	PO	PB	PB

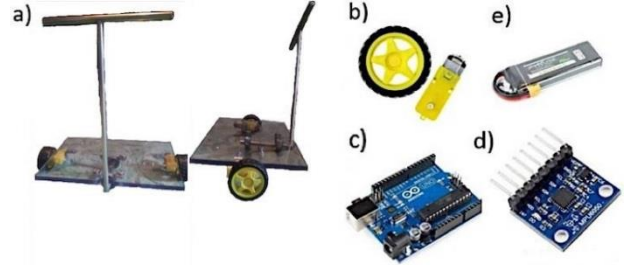
4. Sistemi Oluşturan Ekipmanlar ve Maliyet Hesaplaması

Hazır sistemlerin pahalı olması sebebiyle bu sistemlerin daha uygun yollarla imal edilebilmesi için birçok araştırma yapılmıştır. Arduino Uno anakartı, ivmeölçer sensörü ve motor sürücüsünün kullanılmasıyla tüm işlemler basit hale gelmiştir. İvmeölçer sensöründen alınan bilgiler Arduino ana kartında işlenerek motor sürücülerine bilgi gönderir ve motorların tahriki sağlanır. Gidon sayesinde sistem sola ve sağa döner. Çalışma kapsamında tasarlanan iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistem toplam 3 kg ağırlığa sahiptir.

4.1. Şase ve Malzeme Özellikleri

Şase Şekil 5.a'da gösterildiği gibi 10 mm kalınlığında 250mm x 300mm makrolon malzemeden yapılmıştır.

Makrolon malzeme şeffaf olması, darbe dayanımı yüksek olması, camdan daha hafif olmasından dolayı tercih edilmiştir. Tekerlekler dengeyi sağlayabilmek için makrolonun ortasından bağlanmıştır. Gidon Ø10 mm civa çeliğinden kaynaklı bir şekilde tasarlanmıştır. Gidonun makrolona bağlanması 2 adet P000 numara ile adlandırılan sabit küre bilyalı yataklarla sağlanmıştır.



Şekil 5. Kullanılan Ekipmanlar (a) Robotik sistem şasesi, (b) DC motor ve tekerlek, (c) Arduino uno anakartı, (d) MPU 6050 sensör, (e) Li-Po pil

4.2. Motor ve Özellikleri

Prototip üretimi için Şekil 5.b'de gösterilen DC motorlar kullanılmıştır. DC motorlar, sistemin ağırlığı ölçüldükten sonra bu ağırlığı kaldıracak torku üretebilen ve piyasada kolaylıkla bulunan motorlar arasından seçilmiştir. Seçilen DC motor parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. DC motor parametreleri

Çalışma Gerilimi	3-12 V DC
Redüksiyon Oranı	1:48
Hız	250 rpm (@6V)
Akım	95mA-160mA
Ağırlık	29g
Tork	0.6Nm

4.3. Elektronik Ekipmanlar ve Özellikleri

İki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için Arduino Uno anakartı kullanılmış olup sistemin beyni olarak da düşünülmüştür. Şekil 5.c'de gösterilen Arduino sistemin verilerini işlemek ve buna göre gereken kararları almak için kullanılmıştır.

Ayrıca sistemin konum bilgisini alıp tekerleklerle hareket vermesi için Şekil 5.d'de gösterilen MPU 6050 6 eksen ivme ve jiroskop sensörü kullanılmıştır.

Şekil 5.e'de gösterilen iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sisteme hareket 11.1V 850 mAh Li-Po pillerle sağlanmıştır.

4.4. Maliyet Hesaplaması

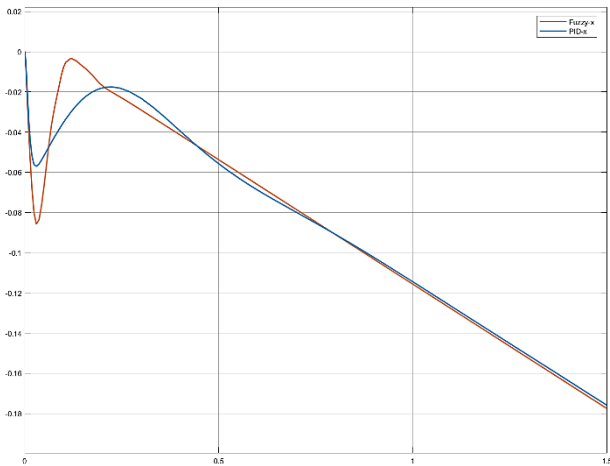
İki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin prototip üretimi için kullanılan ekipmanların fiyat bilgilendirilmesi Tablo 3'de detaylı olarak belirtilmiştir.

Tablo 3. Sistemin maliyet bilgisi

Malzeme	Adet	Fiyat
Makrolon Şase	1	30 TL
Gidon	1	20 TL
DC Motor + Tekerlek	2	40 TL
Anakart	1	50 TL
İvme Ölçer Sensör	1	15 TL
Sabit Küre Bilyalı Yatak	2	70 TL
Pil	1	200 TL
Toplam Maliyet		425 TL

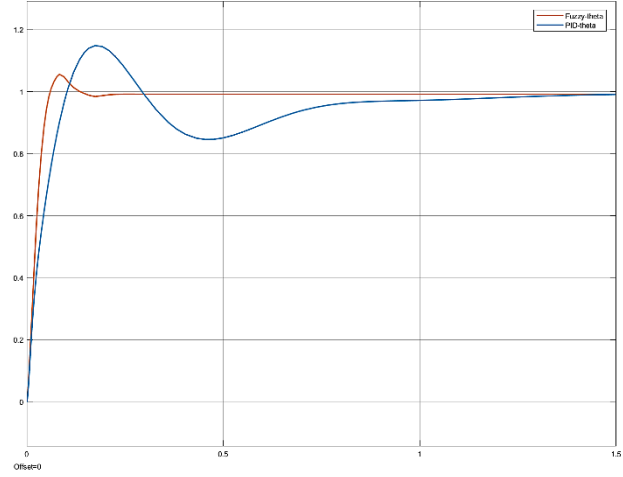
5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin matematiksel modeli ve lineer denklemleri, Kirchhoff voltaj ve Newton hareket yasaları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma esnasında sistemin elde edilen matematiksel modeline Matlab Simulink ortamında açı geri beslemesine sahip PID ve bulanık mantık kontrolcüsü uygulanmıştır. Her iki kontrolcü içinde elde edilen sonuçlar konum, zaman ve ivme grafikleri değerlendirilerek ele alınmıştır.



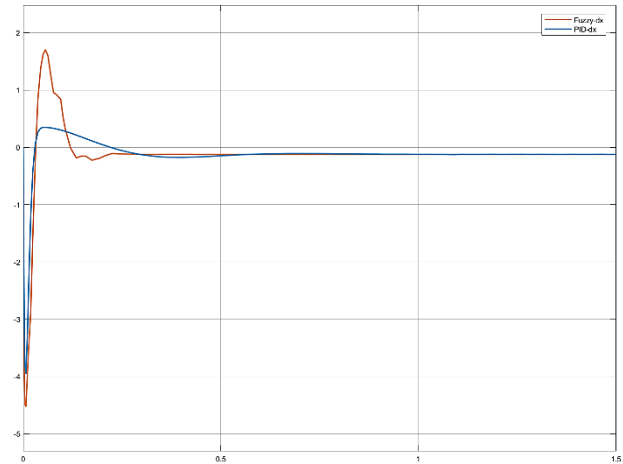
Şekil 6. PID – bulanık mantık lineer konum

Şekil 6'da sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü ile lineer konumundaki hareketinin sonucu gösterilmiştir; yani zaman arttıkça sonsuza yaklaşmakta olduğu görülmektedir. Bunun sebebi sisteme enerji verdiğimizde başlangıç noktasında sistem kendiliğinden dengede durmadığı için o an ki konumundan düşmekte olduğunu görülmektedir; fakat sistemi dengeye getirmek için gerekli şartlarda çalıştırıldığında sistemin konum değişimine daha doğru cevaplar verdiği görülmektedir.



Şekil 7. PID – bulanık mantık açıl konum

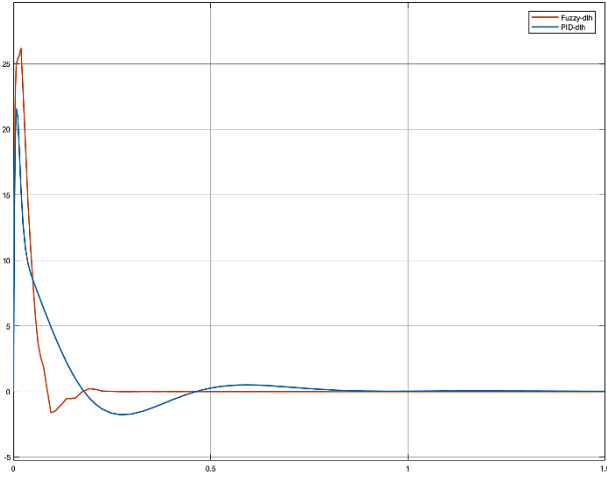
Şekil 7'de sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü ile açıl konumundaki hareketinin sonucu gösterilmiştir. Bulanık mantık kontrolcüsünün 0.25s'de sistemi denge pozisyonuna getirdiği ancak PID kontrolcüsünün bulanık mantık kontrolcüye göre 1.25s geciktiği ve 0.2° açı salınımlarıyla kendini dengeye getirdiği gözlemlenmiştir. Şekil 7'de daha net bir şekilde fark edildiği üzere PID kontrolcü sisteminde daimi rejim hatasının olduğu ve yük altında titreme yapabileceği görülmektedir.



Şekil 8. PID – bulanık mantık lineer hız

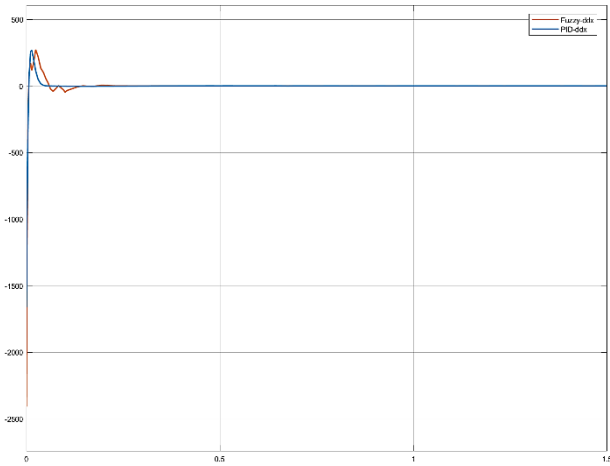
Şekil 8'de sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü ile lineer hız grafiği gösterilmiştir. Bulanık mantık

kontrolcünün tepe noktası PID kontrolcüye göre oldukça fazladır. Bu durumdan dolayı sistemi dengede tutabilmek için daha fazla enerji harcamak zorundadır. Her iki kontrolcüde de oturma zamanı ve yükselme zamanı aynı olduğu ama PID kontrolcünün kendini dengeye getirebilmesi için harcadığı enerji miktarının bulanık mantık kontrolcüye göre daha az olduğu Şekil 8’de görülmektedir. Böylelikle ani hareketlenme gibi durumlarda PID kontrolcüsü tercih edilir.



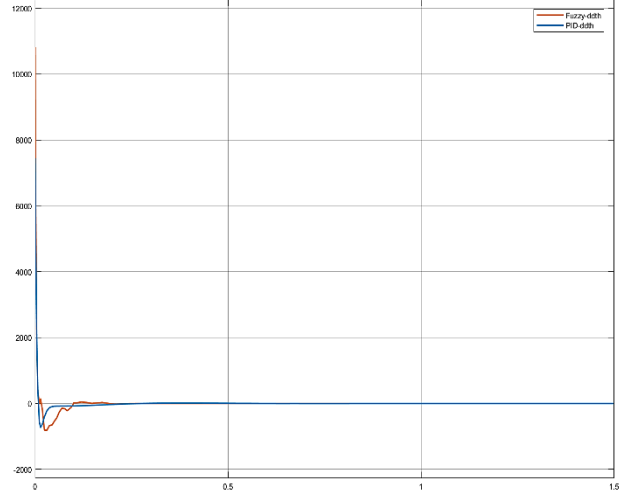
Şekil 9. PID – bulanık mantık açısız hız

Yukarıda gösterilen Şekil 9’da sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü için elde edilen açısız hız grafiği gösterilmiştir. PID kontrolcü ile bulanık mantık kontrolcünün tepe noktalarının farklı olduğu, öte yandan PID ve bulanık mantık kontrolcünün yükselme zamanının birbirleriyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Ancak bulanık mantık kontrolcünün oturma zamanı 0.3s iken PID kontrolcünün oturma zamanı 1 s’leri bulmaktadır. Şekil 9’dan anlaşıldığı üzere yüksek hızlarda bulanık mantık kontrolcüsü PID kontrolcüye göre daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 10. PID – bulanık mantık lineer ivme

Şekil 10’da sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü ile lineer ivme grafiği gösterilmiştir. Her iki kontrolcüde de tepe noktalarının, yükselme zamanlarının ve oturma zamanlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir; ancak tepe noktalarının çok yüksek değerlere sahip olması ani ivmelenmelerden dolayı sistemin çok fazla enerji harcamasına neden olmaktadır.



Şekil 11. PID – bulanık mantık açısal ivme

Şekil 11’de sistemin PID ve bulanık mantık kontrolcü ile açısal ivme grafiği gösterilmiştir. Her iki kontrolcüde de tepe noktalarının, yükselme zamanlarının ve oturma zamanlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Açısal ivmenin daha fazla olması sistemin yavaşlamalarında ve hızlanmalarında oldukça önemlidir ancak ivmenin çok yüksek olması sistemi kazaya götürebilir. Bu yüzden optimal olması istenmiştir.

Tasarlanmış olduğumuz iki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin her iki kontrolcü tarafından da kontrol edilebildiği görülmüştür. Açısal konum ve lineer ivme sistemi kontrol edebilmek için önem taşımaktadır. Şekil 7’den elde edilen sayısal veriler Tablo 4 açısal konum satırında, Şekil 10’dan elde edilen veriler Tablo 4 te lineer ivme satırında gösterilmiştir.

Bulanık mantık kontrolcüsü Mamdani – Centroid algoritmasıyla tasarlanmıştır ve bulanık mantık kontrolcüsüne ne kadar fazla kural girilirse sistemin o kadar kararlı hale geldiği tespit edilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü üzere PID kontrolcüsünün yükselme zamanı bulanık mantık kontrolcüsüne göre daha fazladır. Her iki kontrolcünün de sinyalinin tepe noktası hemen hemen aynıdır. PID kontrolcüsü bulanık mantık kontrolcüsüne göre yaklaşık 1.25 sn geç oturmaktadır. Bulanık mantık kontrolcüsünün PID kontrolcüye göre daha hızlı ve daha az salınımla cevap verdiği görülmüştür ayrıca daha az hareket ederek denge kontrolü sağladığı Tablo 4 açısal konum satırında ve Şekil 7’ de görülmüştür. Aynı zamanda

bulanık mantık kontrolcü PID kontrolcüye göre referans açığı daha iyi takip etmiştir. İki tekerlekli kendini dengeleyebilen robotik sistemin, bulanık mantık kontrolör verilerinin Matlab ortamında elde edilen sonuçlarının, sistemin denge ve konum kontrolünde başarılı olduğu Tablo 4’de anlaşılmıştır.

Tablo 4 lineer ivme satırından görüldüğü üzere PID kontrolcüsünün yükselme zamanı bulanık mantık kontrolcüsüne göre daha kısadır. Her iki kontrolcünün de sinyalinin tepe noktası aynıdır. Bulanık mantık kontrolcüsü PID kontrolcüsüne göre yaklaşık 0.2 sn geç oturmaktadır. Bulanık mantık kontrolcüsünün yüksek hız ve ivmelerde salınımla cevap verdiği ve aynı zamanda yüksek lineer ve açısal hız ile yüksek lineer ve açısal ivme gerekli durumlarda PID kontrolcünün bulanık mantık kontrolcüye göre üstün olduğu Tablo 4 lineer ivme satırında ve Şekil 10’da görülmüştür. Matematiksel modeli çıkartılan ve dinamiği hakkında yeterli bilgi sahibi olunan bir sistemin, PID kontrol verilerinin Matlab ortamında oluşturulmasıyla daha kısa sürede tasarımı yapılabileceği ve bulanık mantık kontrolcüye kıyasla sistemin kontrolünde oturma zamanının geç olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4. PID – bulanık mantık kontrolcülerinin açısal konum ve lineer ivme için karşılaştırma sonuçları

	Kontrol Metodu	Yükselme Zamanı	Oturma Zamanı
Açısal Konum	PID	0.25s	1.5s
	Bulanık Mantık	0.15s	0.25s
Lineer İvme	PID	0.02s	0.05s
	Bulanık Mantık	0.04s	0.25s

Sonuç olarak, bulanık mantık kontrolcüsünün açısal konum kontrolünde PID kontrolcüye göre daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Öte yandan PID kontrolcünün de yüksek hız ve ivme kontrolünde bulanık mantık kontrolcüsüne göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma kendiliğinden dengelenebilen iki tekerlekli robotik sistemlerin PID veya bulanık mantık kontrol yöntemlerinden biriyle kontrol edildiğinde konum, hız ve ivme bakımından hangisinin daha iyi sonuç verebileceğine ve tercih edilebileceğine aynı zamanda gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalara da ışık tutacaktır.

Terimler Dizisi

θ_s :Sistemin Açısal Pozisyonu
 ϕ_t :Tekerleklerin Açısal Pozisyonu

ϕ_m :Motorun Açısal Pozisyonu
 x_s :Sistemin x Eksenindeki Lineer Yer Değiştirmesi
 x_t :Tekerleklerin x Eksenindeki Lineer Yer Değiştirmesi
 M_s :Sistemin Kütlesi
 m_t :Tekerleklerin Kütlesi
 J_s :Sistemin Eylemsizlik Momenti
 J_t :Tekerleklerin Eylemsizlik Momenti
 r :Tekerleklerin Yarıçapı
 g :Yerçekimi İvmesi
 a :İvme
 k_m :Motorun ve Motor Şaftına Atfedilen Yükün Sürtünme Katsayısı
 L :Sarkaç Kol Uzunluğu
 F_x :x Eksenindeki Kuvvet
 F_y :y Eksenindeki Kuvvet
 F_s :Sürtünme Kuvveti
 F_N :Normal Kuvvet
 T :Tork
 η :Redüktör Oranı
 T_m :Motor Torku
 T_s :Sürtünmeden Dolayı Oluşan Tork
 K_ζ :Geri EMF Sabiti
 K_t :Tork Sabiti
 R_a :Motor Armatür Direnci
 L_a :Motor Armatür İndüktansı
 i_a :Motor Armatür Akımı
 V_G :Giriş Voltajı
 V_ζ :Çıkış Voltajı
 U_t :Kontrol Değişkeni
 K_p :Oransal Kazanç
 K_i :İntegral Kazanç
 K_d :Türev Kazanç

Kaynaklar

- [1] Grasser F., D’Arrigo A., Colombi S., Rufer A. C., 2002. JOE: a mobile, inverted pendulum. IEEE Trans. Ind. Electron., 49(1), 107–114.
- [2] Anderson D. P., nBot, a two wheel balancing robot. <http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot/> (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2018).
- [3] Hassenplug S., Steve’s LegWay. <http://www.teamhassenplug.org/robots/legway/>. (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2018)
- [4] Umay Y., 2018. İki Tekerlekli Kendini Dengeleyebilen Mobil Bir Aracın Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri, Elazığ, 523375

- [5] Pathak K., Franch J., Agrawal S.K., 2005. Velocity and position control of a wheeled inverted pendulum by partial feedback linearization. *IEEE Transactions on Robotics*, 21(3), 505-513.
- [6] Charles E. Forrest Jr., 2006. A Neural Network Control System for the Segway Robotic Mobility Platform. Thesis of Master of Graduate Faculty of North Carolina State University.
- [7] Kim Y., Kim S.H., Kwak Y.K., 2006. Improving Driving Ability for a Two-Wheeled Inverted-Pendulum-Type Autonomous Vehicle. *Proceedings of the IMechE Part D Journal of Automobile Engineering*, 220(2), 165-175.
- [8] Nawawi S.W., Ahmad, M.N., Osman J.H.S., 2007. Development of a two-wheeled inverted pendulum mobile robot. 2007 5th Student Conference on Research and Development, Selangor, Malaysia, 2007, pp. 1-5.
- [9] Jeong S.H., Takahashi T., 2007. Wheeled inverted pendulum type assistant robot: inverted mobile, standing, and sitting motions. 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, CA, 2007, pp. 1932-1937.
- [10] Li Z., Xu C., 2009. Adaptive Bulanık mantık control of dynamic balance and motion for wheeled inverted pendulums. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(12), 1787 - 1803.
- [11] Chung-Neng Huang., 2010. The Development of Self-Balancing Controller for One-Wheeled Vehicles, Published Online April 2010 (<http://www.SciRP.org/journal/eng>).
- [12] Li J., Gao X., Huang Q., Du Q., Duan X., 2007. Mechanical design and dynamic modeling of a two-wheeled inverted pendulum mobile robot. 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, China, 2007, pp. 1614-1619.
- [13] Hasan M., Saha C., Rahman M., Sarker M., Aditya S., 2012. Balancing of an Inverted Pendulum Using PD Controller. *Dhaka University Journal of Science*, 60(1), 115-120.
- [14] Xu J.X., Gao Z.Q., Lee T. H., 2014. Design and Implementation of Integral Sliding-Mode Control on an Underactuated Two-Wheeled Mobile Robot. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 61(7), 3671–3681.
- [15] Polat B. Denge Robotu Tasarımı ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri, Elazığ, 2018, 524841
- [16] Ho Yoo H. and Jae Choi B., 2015. Design of Simple-Structured Fuzzy Logic Systems for Segway-Type Mobile Robot. *IJFIS*, 15(4), 232-239.



Lineer Motorlu Engelli Asansörü Tasarımı

Disable Stair Lift Design with Linear Motor

Osman Onur ORUÇ^{1,*} , Ferhat DİKMEN² ,

¹ Makine Mühendisliği ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7855-1943

² Makine Mühendisliği ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2808-2194

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/01/2019

Kabul Tarihi : 30/06/2020

Anahtar Kelimeler

Engelli Asansörü
Engelli Merdiven Asansörü
Lineer Motor
Tubular Lineer Asenkron Motor

Özet

Lineer motorlar günümüzde hassas üretim süreçleri başta olmak üzere, maglev trenleri, tıbbi cihazlar, savunma sanayii, tekstil sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ar-ge faaliyetlerine ve akademik çalışmalara daha sıklıkla konu olmaktadır. Bunun sebebi ise diğer motor ve güç üreten sistemlere nazaran seri üretim şartlarına daha uygun olması, daha hızlı hareket elde edilmesi, daha hassas olması ve dolayısıyla da daha kaliteli ürün, çıktı elde edilmesidir. Bu çalışmada, lineer motor yapısı, engelli asansörlerin kullanım amacı ve genel olarak yapısı ile lineer motorun yapısı itibarıyla yapımı zor olan ve daha önce yapılan tezlerde konu olmamış, lineer motorlu bir engelli asansörü tasarım yapılacak olup ve sonuçları incelenecektir.

Research Paper

Received Date : 24/01/2019

Accepted Date : 30/06/2020

Keywords

Disable Lift
Disable Stair Lift
Linear Motor
Tubular Linear Synchronous Motors

Abstract

Nowadays, linear motors are used in many areas, such as maglev trains, medical devices, defense industry, textile sector, sensitive production processes. As the areas of usage is rising, their coverage in R&D activities and academic studies have been gradually increased as well, due to high relevance for mass production, ability to obtain faster movement, precision and having high quality outputs/products compared to other engine and power generating systems. In this study will be mentioned about structures of linear motor and disable lift and will prove the possibility of the design of disable stair lift with linear motor, which the design is not used or subjected of any other thesis due to structure of the linear motor.

1. Giriş

29 Ağustos 1831 tarihinde Michael Faraday, bakır bir diskin U şeklindeki bir mıknatıs içinde döndürülmesiyle bunun bir telde akım meydana getirdiğini keşfetmiştir [1]. Bu keşif jeneratörün ilk halini meydana getirmekle beraber, günümüzde kullanılan maglev (magnetik levitasyon) teknolojisinin de temelini oluşturmaktadır.

Lineer motorun günümüzde çok sayıda kullanım alanı vardır. Yüksek hızlı, yüksek hassasiyet gerektiren proseslerde kullanımı dolayısıyla günümüzde büyük

öneme sahiptir. Çin' den Japonya' ya, Almanya' ya kadar, maglev teknolojisinin gelişmesi için dünya genelinde birçok çalışma yapılmaktadır. Her geçen gün farklı sektörlerde kullanımı artan lineer motor, hali hazırda ülkemizde ve dünyada da asansörlerde kullanımı için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışma ile amaçlananlar, mevcut lineer motor çeşitleri ve tasarımlarının incelenip, uygun olan tasarımın modelinin teorik olarak bir engelli merdiven asansörüne uygulanmasıdır. Lineer motorun kullanım alanlarındaki genişleme ile beraber, daha önce bir lineer motorun engelli merdiven asansöründe kullanımı bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda güncel

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): onuroruc85@hotmail.com



bilgileri içeren tasarım ve üretim konulu kitaplar, çeşitli bilgilere erişimi sağlayabilecek güvenilir internet siteleri ve görseller ile patentler kullanılmıştır. Mevcut sistemler üzerinde kıyaslama çalışması yapılmış, eksiklikler ve geliştirilebilecek unsurlar belirlenmiştir.

Lineer motor teknolojisinde maliyet, üretilebilirlik ve bakım gibi temel tasarım kriterlerinin gelişmesi sonucunda, birçok farklı alanda (sağlık, savunma, uzay ve havacılık) kullanımı artmıştır. Bu yeni kullanımlar, tasarımsal olarak, birçok farklı ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Birçok çalışma, lineer motor analizi için FEM' nin uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca lineer motorun asansörlerde kullanılmasına rağmen, engelli asansöründe kullanımına ilişkin bir kaynağa rastlanmamıştır. Literatür taraması için Ulusal Tez Merkezi, Dergipark, TRDizin, IEEE' den aşağıdaki tezler dikkate alınmıştır.

Kazan (2009), "Çok kabinli asansörler için lineer motor tasarımı ve uygulaması" Çok kabinli asansör sistemleri, aynı anda birden fazla asansörün bir asansör boşluğunda birbirlerinden bağımsız olarak kullanılmalıdır. Bu tez, gerekli olan güvenlik sisteminin kaldırma sistemi ile nasıl birleştirilebileceğini, kaldırma için kullanılacak lineer motorun çok kabinli asansör sistemleri için nasıl optimize edilebileceğini, ve yüksek binalarda kullanılabilecek hareket kontrol sistemini içermektedir.

Çepni (2010), "Lineer servo motor ve kontrolü" Yapılan çalışma çerçevesinde öncelikle mevcut lineer motor sistemlerinin çalışma ilkesine, kullanım yerlerine değinilmiş ve lineer motorun diğer lineer hareket sistemlerine üstünlükleri tartışılmıştır. Şu ana kadar yapılan lineer motorların eksik kaldıkları yönlerden hareketle yeni bir lineer motor tasarım sürecine gidilmiş, tasarlanmakta olan lineer motoru üstün kılan yönleri, hedeflenen performans ölçütleri, teorisi ve manyetik benzetimi konuları ele alınmıştır.

Topaloğlu (2012), "Lineer elektromanyetik fırlatıcı sistem tasarımı ve eşdeğer devre modeli kullanarak geliştirilmiş fırlatma performansı için boyut optimizasyonu" Bu çalışmada, insansız hava araçları için mekanik fırlatma sistemlerine alternatif olarak elektromanyetik bir fırlatıcı sistemde kullanılmak üzere tek taraflı lineer indüksiyon motor tasarlanmıştır.

Hurmadaloğlu (2012), "Lineer motor ile levha hareketi" Projemizin konusu doğrusal hareketli asenkron makine ile levha hareketi sağlamaktır. Doğrusal hareketli motor klasik döner hareketli motorun ortadan kesilip açılmış haline benzer. Amacımız lineer bir manyetik alan üreten makine tasarlayıp bu makine ile levha hareketi gerçekleştirmek ya da bir hareketli kısım(araba) yaparak lineer bir manyetik alanda bu arabayı düz bir çizgi boyunca ilerletmek ve uygulama olarak belli ağırlıklarda yükler taşınmayı gerçekleştirmektedir.

Karayağiz (2013), "Uzun armatürlü lineer motorlar için

ağ topolojileri" Uzun armatürlü lineer motor, büyük sayıda motor sürücü içeren bir çeşit dağıtık kontrol sistemidir. Bu gibi sistemlerde, motor sürücüler arasındaki bilgi alışverişi doğru ve kayıpsız olmalıdır. Her iki topolojinin avantaj ve dezavantajları tartışılmış ve zaman gecikme miktarları kıyaslanarak da performansları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, beklenen gibi topoloji B'nin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu yüzden, uzun armatürlü lineer motorun haberleşmesi için topoloji B ağ yapısı önerilmektedir

Taşkin (2015), "Çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleşmesi çift taraflı hava çekirdekli lineer motor tasarımı ve gerçekleşmesi" Doğru akım makineleri komutasyon ve homopolar olarak iki ana gruba ayrılır. Komutasyon ile çalışan motorlardan biri de sabit mıknatıslı makinedir. Yani sabit mıknatıslı makineler doğru veya alternatif akımla çalışabilir. Sabit mıknatıslı doğru akım makineleri adında doğru akım bulundursa da aslında alternatif akım makineleri altında yer almaktadırlar. Tasarlanan lineer motor fırçasız doğru akım makinesi özelliklerini taşımaktadır.

Tuncay (2016), "Sabit mıknatıslı DC lineer motor tasarım ve denetimi" Bu tez çalışmasında çift yanlı sabit mıknatıslı DC lineer motor geliştirilmiştir. Geliştirilen motorun manyetik devre yapısının basit ve sürücü devrelerinin karmaşık olmaması en belirgin avantajıdır. Lineer motorların en önemli performans kriterlerinden biri olan kuvvet/akım oranı mevcut motorlardan iki kat daha yüksektir. Bu çalışmada geliştirilen DC lineer motor ise söz konusu ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliktedir.

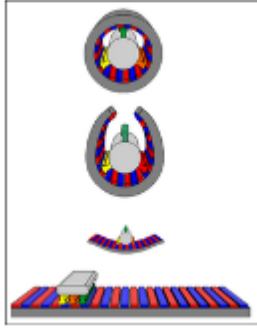
Bozbuğa (2018), "Yaşlı ve Engelliler İçin Merdiven Asansörü Geliştirme" Toplumu oluşturan tüm bireylerin her türlü fırsat ve imkânlardan eşit derecede faydalanmaları gerekir. Bu konu, hem ulusal hem de uluslararası çeşitli hak ve yasalarca da güvence altına alınmıştır. Son yasal düzenlemelere göre 2012 yılından itibaren ülkemizdeki tüm genel/kamu binaları, ortak alanlar/yapılar vb. yerlerde ortopedik/diğer engellilerin ulaşımını mümkün kılacak altyapı ve imkânların olması gerekir. Yukarıdaki tespitlerden hareketle bu çalışma 'Yaşlı ve Engelliler için Merdiven Asansörü Geliştirme' amaçlı bir araştırmayı içermektedir.

2. Lineer Motor

Asenkron motorlar, stator sargılarıyla aldığı elektrik enerjisini, hareket enerjisine dönüştüren makinelerdir. Lineer motorların döner elektrik motorlarından farkı, hareketi dairesel olmayıp, bir düzlemde vektör yönünde hareket üretmeleridir. Bu kısımda lineer motorların genel olarak çalışma prensibi, çeşitleri, elemanları, önemi, geçmişten günümüze kullanım alanları, avantajları ve

dezavantajlarından bahsedilecektir.

Lineer motorlar, yani lineer endüktans motorlar, alternatif akım (AC) ile çalışan asenkron motorlardır. Çalışma prensipleri endüktans motorlarla aynı olup rotor (hareketli, döner parça) üzerinde elektro mıknatıs ve stator (sabit parça) üzerinde doğal mıknatıslar bulunmaktadır. Yine aşağıdaki şekilde, çalışma prensibinin benzerliğini daha iyi anlamak için, üç aşamada endüktans bir elektrik motoru açılarak lineer asenkron motora dönüşmektedir. Rotor ve stator üzerindeki parçalar, lineer motor çeşidine göre doğal mıknatıs veya elektro olarak değişiklik gösterebilir.



Şekil 2.1 Döner motorun açılıp, temsilen, lineer motoru oluşturulması [3].

2.1. Lineer Motorun Elemanları

Lineer motorların elemanları genel olarak hareketli ve sabit olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır.

Sekonder; doğal mıknatısların bağlandığı, monte edildiği kısımdır. Primer ise bobinin bağlandığı kısımdır. Lineer motorlarda bobin (primer) bazı lineer motor tiplerinde hareketli kısımda olurken, bazı tiplerinde sabit kısımda olabiliyor.

2.2. Lineer Motor Çeşitleri

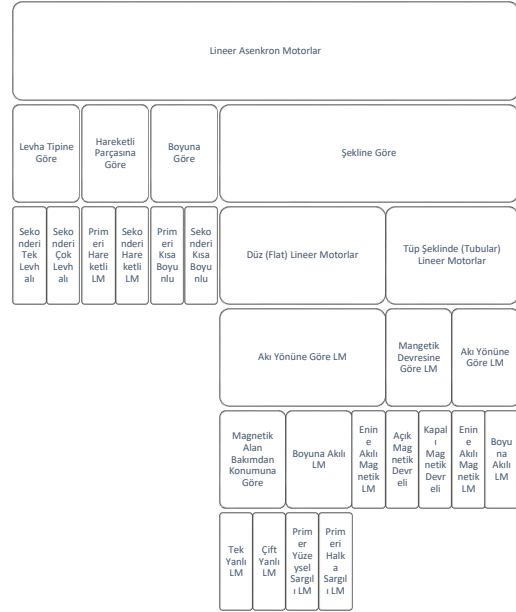
Lineer asenkron motorlar Çizelge 2.1'de de görülebileceği gibi levha tipine, hareketine, boyuna ve şekline olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır.

Levha tipine göre lineer motorlar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar, sekonderi tek levhalı ve sekonderi çok levhalı tipleridir. Sekonderdeki levha sayısı magnetik alanla doğru orantılıdır. Bu tip şekildeki lineer motorlarda daha az manyetik alan kaçağı gözlemlenir. Bu tip bir lineer motorda sınırlayıcı özellikler mevcut sekonder boyudur.

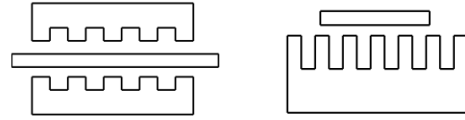
Lineer motorlar sekonderi veya primeri hareketli olmasına göre de sınıflandırılıyor. Genellikle primeri (bobin) hareketli tipler çok daha az maliyetli ve üretimi daha kolay olduğundan dolayı tercih edilirler. Primeri hareketsiz, sekonderi hareketli lineer motorlarda, her bir

sargıda ayrı ayrı kontrol ve sistemin genelinde ayrı bir kontrol gerektirdiğinden, otomasyon çok daha zordur.

Çizelge 2.1 Lineer motorların sınıflandırılması [5].

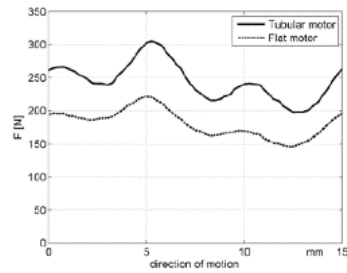


Diğer bir lineer motor sınıflandırması ise primer veya sekonder boyuna göre yapılmaktadır. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' de görüleceği gibi primerin ve sekonderin boylarına göre sınıflandırılır. Sekonderi kısa tip lineer motorlar, kısa mesafede çok yüksek hızda, hassasiyette veya kuvvette bir hareket gerektiği durumlarda tercih edilebilir.



Şekil 2.2 Primeri kısa boyunlu LM(solda) Sekonderi kısa boy LM [5].

Lineer motorlar aynı zamanda da şekline göre iki sınıfa ayrılırlar. Bular düz (flat) ve tüp şeklinde (tubuler) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tubuler tip lineer motorlar ortaya çıkan kuvvet bakımından düz tip lineer motora göre daha üstündür.



Şekil 2.3 Düz (flat) ve tüp şeklinde (tubuler) lineer motor arasındaki kuvvet farkı [6].

2.3. Lineer Motor Kullanım Alanları

Lineer motorların birçok sektörde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ulaşımında hızlı trenlerde ve kren yürüyen köprü gibi doğrusal hareketli ulaşım araçlarında, savunma sanayiinde uçak ivmelendirme ve geliştirmede rüzgâr türbinlerinde tekstilde dokuma ve mekik tezgahlarında, üretim ve sanayide takım tezgahlarında tablanın veya kesicinin ötelenmesinde, hareketinde, gemicilikte gemi geliştirmede modelin hareketinde, otomotiv sektöründe hız ve yapay kaza testlerinde, tekstil sektöründe mekiklerde ve örgü makinesinin iplik taşıyıcının sürülmesinde, robotik sanayide, optik cihazlarda, tıp elektroniği, ayrıca şerit testere çalıştırmada, kapı açma-kapamada, iletken sıvılarının pompalanmasında, doğrusal hareketli pompalarda ve doğrusal hareketli lazer tarayıcılarda, konveyör sistemlerinde, öteleme hareketinin konum kontrolünde kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Lineer motorlu bir takım tezgâhi örneği [7].

Lineer motorlar, savaş uçaklarının uçak gemilerinden kalkışta istenilen hıza ulaşması için de kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Yapımı devam eden TCG Anadolu gemisinin uçak kalkışı rampasında kullanılan LM [8].

Lineer motorlar üzerine ülkemizde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sabancı Üniversitesi'nde bu konuda Sayın Dr. Ahmet Onat'ın yaptığı bir çalışma da mevcuttur. Lineer motorla tahrik edilen bir asansör çalışması mevcuttur.



Şekil 2.6 Sabancı Üniversitesi tarafından yapılan, lineer motorla çalışan bir asansör için deneme sürüşü [9].

2.4. Lineer Motorların Avantaj ve Dezavantajları

Lineer asenkron motorların, döner hareketli endüktans motorlara göre avantajları;

- Yüksek hızlanma ve ivme sayesinde çevrim sürelerinde kısalma,
- Daha az sürtünmeden dolayı kayıp enerjiden kazanç,
- Basitlik, doğrusal harekette daha az mekanik parça gerekliliğinden dolayı kolay montaj ve işçilik,
- İstenildiği pozisyonda ve yerde montaj yapma kolaylığı,
- Ayarlanabilir hız ve ivme,
- Daha az sürtünme olduğundan daha yüksek hızlara çıkabilme,
- Çalışma mesafesinde esneklik,
- Uzun mesafelerde performans düşüşü olmaması,
- Düşük bakım maliyeti ve düşük işletme giderleri,
- Boyutlandırmadan alan kazancı,
- Düşük geri tepme,
- Yüksek devamlılık ve yüksek tekrarlanabilirlik sayesinde daha kaliteli ürünlerdir.

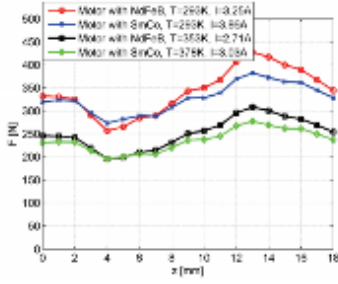
Lineer asenkron motorların, döner hareketli endüktans motorlara göre dezavantajları;

- Henüz yeteri kadar yaygın olmadığından yüksek maliyet,
- Doğal mıknatısların aşırı ısındığında veriminin düşmesi,
- Uzun mesafelerde kontrol ve otomasyon zorluğu,
- Uzun mesafelerde elektrik veya mıknatıslara karşı emniyet gerekliliği,
- Mıknatıs temizliği ve tozdan korunmadır.

Çizelge 2.2 Hidrolik, pnömatik ve lineer motor sistemlerinin kıyaslanması [10].

	Pnömatik	Hidrolik	Yuvarlak tipli Doğrusal Motor	Düz Tipi Doğrusal Motorlar
Azami Hız	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Azami Güç	Orta	Çok İyi	İyi	Orta
Hassasiyet	Orta	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Posisyonlama	Orta	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Maliyet	Az	Orta	Çok	Çok Fazla
Enerji Verimliliği	Kötü	Orta	Çok İyi	İyi
Çevrecilik	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Bakım İhtiyacı	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi

Çizelge 2.3 Sıcaklığa bağlı olarak doğal mıknatısın uyguladığı kuvvet değişimi [6].



3. Engelli Asansörü

Bir merdiven veya yükseltiyi çıkmak isteyip de çıkamayan insanların (yaşlı veya engelli) kullanması için tasarlanan asansör tiplerine engelli asansörü denir. Engelli asansörleri, bu yükselti veya engelleri aşmak isteyenlerin kolayca engelleri aşmak, başka kimseye ihtiyaç duymadan yapabilmelerini sağlamak için uygulanır. Engelli kişiye rahatlık ve hareket esnekliği kazandırır.

Mevcut imar ve asansör yönetmeliklerine (TS EN 81-70:2018) göre bu durum göz önünde bulundurmalarına ve bunu yönetmeliklere göre yeni binalar tasarlanmalarına ve üretilmelerine rağmen eski binalarda bu durum söz konusu değildir.

Bu tip eski binalarda ihtiyaç durumunda, harici olarak engelli merdiven asansörleri mevcut yerim fiziki şartlarına göre tasarlanıp, üretilmektedirler.

3.1. Engelli Asansörü Çeşitleri

Engelli asansörleri kullanım amacı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır; dikey tip engelli asansörü ve ev asansörüdür.

3.1.1. Dikey Tip Engelli Asansörü

İç ve dış mekanlara kurulabilen makaslı açık kabin ve hidrolik, vidalı açık kabin gibi modelleri vardır [11]. Bu tip asansörlerde bir yükselti dikey olarak aşılmasının yanında

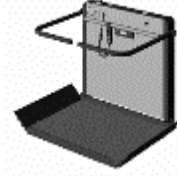
harici olarak merdiven yoktur. Binalara veya iş yerlerine sonradan engelli kullanımı için yapılabilmektedir.

3.1.2. Ev Tipi Engelli Asansörü

Ev içerisinde dikey tip asansör kurulu için yeterli alan bulunmadığı durumlarda, merdiven kenarında yürütülen, çalıştırılan asansörlerdir. Engelli Merdiven Asansörü diye de adlandırılır. Bu tip asansörler hem kullanılan ekipmanlar hem de proje bazlı olduklarından ve seri üretim şartlarına uymadıklarından dikey asansörler göre daha maliyetli asansörlerdir.

Ev asansörlerinde iki amaca yönelik tasarım ve üretim yapılmaktadır.

Platform Tip: Tekerlekli sandalye taşımaya uygun olarak tasarlanan ve üretilen asansörlerdir.



Şekil 3.1 Platform engelli merdiven asansörü [12].

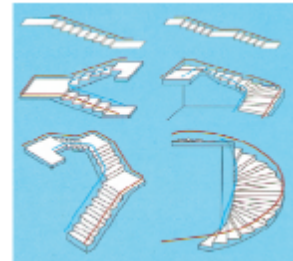
Koltuk Tip: Asansöre dahili olarak koltuk, oturak bulunan, merdiven çıkması zor olan fakat yürüyebilen kişiler için kullanılan asansörlerdir.



Şekil 3.2 Koltuk engelli merdiven asansörü [12]

3.2. Uygulama Alanları

Engelli asansörleri gelişen teknoloji, üretim kolaylığı sayesinde ve birçok uluslararası firmanın bu sektörde rekabeti sayesinde her tip ve tasarımda merdivende kullanılmaktadır. Şekil 3.3' te birkaç farklı tipte merdiven detayı görülmektedir.



Şekil 4.5 Engelli asansörleri uygulama alanları [12].

4. Lineer Motorlu Merdiven Asansörü Tasarım

Tasarım, yarım asırlık bir zaman dilimi öncesine kadar mühendislik biliminden çok bir sanat dalı olarak kabul ediliyordu. Ancak genelde Alman bilim adamlarının çaba ve araştırmaları sonucu teknik bir süreç haline dönüşmüştür. Pahl ve Beitz, mühendislik tasarımı için sistematik bir yaklaşım önermiş ve öğrencileri Feldhusen ve Grote bu yaklaşımı daha da geliştirmişlerdir [13]. ‘Sistematik Mühendislik Tasarımı (SMT)’ yaklaşımı, tasarımı bilimsel temeller ve izlenmesi gereken bazı kurallara bağlar. Bir başka ifade ile metodolojik teknikler kullanılarak tasarım işlemi, salt sezgi veya tasarımcı yeteneğinden bağımsız yapılabilmektedir. Böylece orta düzey tasarımcılar tarafından dahi iyi tasarımlar elde edilebilecektir [14].

4.1 Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi

Tasarımın genel olarak, üretilebilir olması, uygun fiyatlı olması ve müşteri kalite beklentisini karşılaması bakımından optimum olması beklenmektedir. Dolayısıyla yapılan tasarımın hem işlevsel olarak hem de üretilebilirlik açısından müşterinin bütün beklentilerini karşılamalıdır. Yapılan tasarımın kullanım yeri ve özellikleri bakımından farklı beklentiler de olabilmektedir.

Lineer motor tasarımında da tasarım aşamalarını 3 bölüme ayırabiliriz;

1. Tasarım Öncesi Hedeflerin Belirlenmesi;
2. Tasarım Yapılması;
3. Tasarım Sonrası Düzeltme;

Tasarım öncesi hedeflerin belirlenmesi genel olarak, pazar analizi, hedef pazar belirlenmesi, yıllık üretim hedefleri, müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi, ürün özelliklerinin, fiyatının ve tasarım süresinin belirlenmesi ve piyasaya çıkış tarihi gibi pazarlama faaliyetleri sıralanabilir.

Tasarımı yapılacak olan lineer motorlu engelli asansörünün tasarım hedefleri belirlenmesi tasarım öncesi aşamada değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmeler tersine mühendislik yöntemi gibi rakip firmaların ürünlerinin üstün ve eksik yanları incelenerek de yapılabilir.

Lineer motorlu engelli asansörün tasarım öncesi ana hedefleri;

- En fazla 300kg’lık bir kütle taşıması,
- En fazla 67°’lik bir açıda çalışmalı,
- En az 3m’lik bir yüksekliğe taşıma yapılması,
- Ortala hızın, insan konforunu etkilememesi ve hızın en az 0,05m/s, en fazla 0,15m/s olması,

• Emniyet açısından herhangi bir risk teşkil etmemesi, yolcunun güvenli bir şekilde taşınması, ilgili yönetmeliklere uyumu,

- Asansör ömrünün en az 10 yıl olması,
- En fazla yılda 1000TL’ lik hedef bakım ve çalışma maliyeti olması,
- İnsan rahatını etkilemeyecek kadar sessiz çalışması,
- Bina içinde çalışacağından, neme ve suya karşı dayanım aranmaması,
- Bir merdivende çalışacağından, motorun mümkün olduğunca az yer kaplamasıdır.

Lineer motorlu engelli asansörün yardımcı hedefleri ise,

- Ergonomik açıdan insan rahatına ve konforuna uygun olmalı,
- Ürün estetiği bakımından uygun olmalı,
- Kullanımı kolay olmalı,
- Üretim ve montajı kolay olmalı,
- Elle kontrolü kolay ve anlaşılır olmalıdır.

Tasarım aşamasında yukarıdaki ana ve yardımcı hedeflerimiz dikkate alınacak olup, yine buradan yola çıkarak, lineer motorun genel olarak anlatıldığı bölümde de konu edildiği üzere, tüp şeklinde lineer motorun üreteceği güç ve kuvvet daha fazla olacağından ve merdiven asansörü gibi dar bir alanda çalışma yapılacağından dolayı, daha küçük bir hacimde daha fazla güç elde edileceğinden tüp şeklinde lineer motor tahrikli, platform tip engelli merdiven asansörü tasarımı yapılacaktır.

4.2. Tasarımın Yapılması

4.2.1 İstenilen Hız ve İvme Değerlerinin Hesaplanması

Normal insan asansörlerinde en düşük çalışma hızı 1m/s olmasına rağmen, bu tip merdiven asansörü için 1m/s hız rahatsız edici derecede hızlı ve konforsuz olacaktır. Dolayısıyla, mevcut üreticilerin kataloglarında da belirtildiği üzere rahat, sarsıntısız bir ulaşım gerçekleşmesi için aşağıdaki merdiven asansör hızının 0,05 ile 0,15 m/s hızları arasında olması gerekmektedir.

Bu örnekte kullanacağımız hız;

$$V = \frac{0,05+0,15}{2} = 0,1 \text{ m/s} \text{ olarak belirlenmiştir.} \quad (1)$$

Bu tip merdiven engelli asansörlerinde tırmanma açısı en fazla 45o olarak istenmesine rağmen tasarımda ülkemiz şartları da gözetilerek 67o olarak belirlenmiştir.

Yine mevcut üreticilerin kataloglarında belirtilen yüklenme kapasitesi genelde 1250N olmasına rağmen, bu

tasarımda yüklem kapasitesi 1500 N olarak belirlenmiş olup, teçhizat ağırlığı da göz önüne alınarak, taşınacak olan toplam kütle 3000 N olarak belirlenmiştir.

Türkiye’deki yapıların ortalama kat arası yükseklikleri 3m olduğundan, tasarımda bu ölçü seçilmiştir.

M: Yükleme Kapasitesi (N) + Teçhizat Ağırlığı (N)
= 3000 N

Q: Merdiven Açısı (Tırmanma Açısı) = $0 - 67^\circ$

V: Hız (m/s) = 0,1 m/s

y: Kat Yüksekliği (m) = 3 m

x_1 : Eğimden Önce Yatay Uzaklık (m) = 1 m

$x_2 = y / \sin \Phi$ (m) = $3 / \sin 67 = 3,26$ m

x_3 : Eğimden Sonra Yatay Uzaklık (m) = 1 m

Yukarıdaki bilgilere göre ivme ve hızlarımızı bulmak istersek;

V_1 : Kalkış Hızı (m/s) = 0 m/s;

V_2 : Eğim Öncesi Son Hız (m/s) = 0,10 m/s;

V_3 : Eğim Sonrası Hız (m/s) = 0,10 m/s;

V_4 : Duruş Hızı (m/s) = 0 m/s ise;

x_1 , x_2 ve x_3 için süreleri;

$$t_1 = \frac{x_1}{\frac{V_2 - V_1}{2}} = \frac{1}{2 \times (0,1 - 0)} = 20 \text{ s} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{x_2}{V_3} = \frac{3,26}{0,1} = 32,6 \text{ s} \quad (3)$$

$$t_3 = \frac{x_3}{\frac{V_4 - V_3}{2}} = \frac{1}{2 \times (0 - 0,1)} = 20 \text{ s} \quad (4)$$

olarak hesaplanmıştır.

İvme değerleri için;

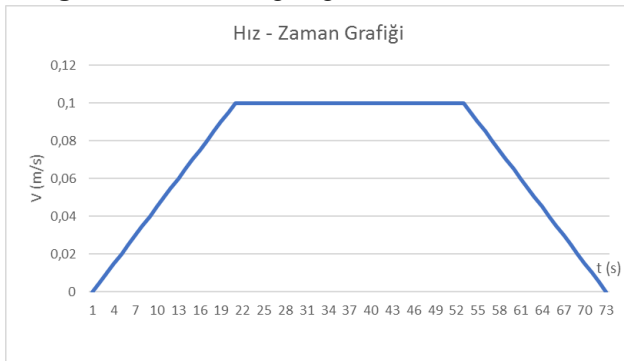
$$a_1 = \frac{V_2 - V_1}{t_1} = \frac{0,1}{20} = 0,005 \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

$$a_2 = \frac{V_3 - V_2}{t_2} = \frac{0}{32,6} = 0 \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

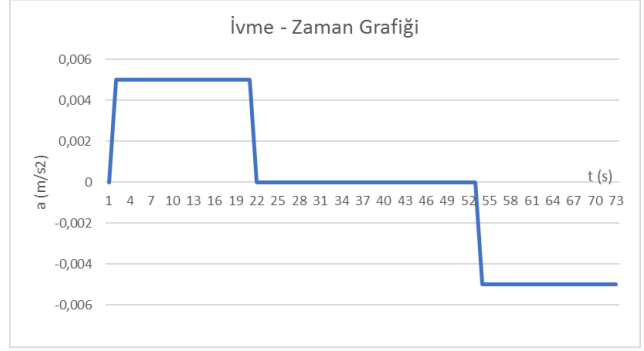
$$a_3 = \frac{V_4 - V_3}{t_3} = \frac{-0,1}{20} = -0,005 \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

Hız - zaman ve ivme zaman grafiklerini çizmek istersek;

Çizelge 4.1 Hız – zaman grafiği.



Çizelge 4.2 İvme – zaman grafiği.



Yukarıdaki hız-zaman ve ivme-zaman grafiklerinden de görülebileceği üzere, asansörün hareketi 3 parçaya bölünüyor. Birinci durum hızlanma, ikinci durum sabit hız ve üçüncü durumda yavaşlama olmaktadır.

Yine Şekil 4.2’de de görülebileceği üzere, asansör 3 farklı durumda hareket etmektedir. İlk durumda yatay düzlemde ilerleme, ikinci durumda eğik düzlemde ilerleme ve üçüncü durumda yatay düzlemde ilerlemedir.

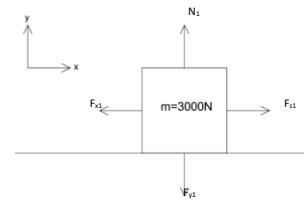
Bu iki farklı durumu, yani hızlanma – sabit hızda gitme – yavaşlama durumu ile yatay ilerleme – eğik düzlemde ilerleme – yatay düzlemde ilerleme durumlarının bir arada düşünersek;

İlk durumda istenen hıza ulaşma ve yatay düzlemde ilerleme ($x_1 = 1$ m), ikinci durum eğik düzlemde sabit hızda ilerleme ($x_2 = 32,6$ m) ve üçüncü durumda yine yatay düzlemde yavaşla olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Lineer Motorun Üretmesi Gereken Gücün Hesaplanması

Hızlanma – sabit hızda gitme – yavaşlama durumları için farklı farklı kuvvet gereksinimlerimiz olacaktır. Her bir durum için kuvvet hesabı yapıp, motorun üretmesi gereken en fazla gücü ve kuvveti aşağıdaki şekilde buluruz;

Birinci durumda $F_{x_{max1}}$ bulunması;



Şekil 4.3 Birinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

$$g = \text{Yer Çekimi İvmesi} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\sum F_{y1} = 0 \quad (8)$$

$$\sum F_{y1} = m \cdot g - N_1 \cdot k_k \quad (9)$$

$$N_1 = m \cdot g \quad (10)$$

$$N_1 = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N}$$

Çizelge 4.3 Sürtünme katsayısı tablosu.

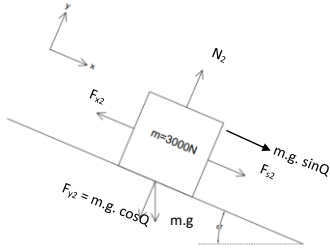
Malzeme çifti	Sürtünme katsayısı		Kajit sürtünme katsayısı		Sürtünme katsayısı		Oranlık malzeme miktarı
	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Kajit sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı	
YAGLI ÇALIŞMA							
Gresli sürtünme katsayısı	0,05...0,10	0,07...0,20	0,10...0,12	0,05...0,06	0,15...0,2	0,3...0,4	0,3...0,4
Statik sürtünme katsayısı	0,12...0,14	0,12...0,14	0,08...0,10	0,05...0,12	0,2...0,4	0,4...0,6	0,3...0,5
Min. Çiviliği (mm)	40	20	30	20	25	25	40
Min. Yağlı sürtünme katsayısı (%)	4	4	2	0,5	2	0,5	1
Her devreye girme için ayrı ayrı sürtünme katsayısı (Yine)	1..2	0,5..1	0,8..1,5	0,3..0,5	1..1,5	0,5..1	2..4
Birim alan başına sürtünme enerjisi (W/m ²)	1,5...2,5	0,7...1,3	1..2	0,4...0,8	1,5..2	1..2	3..5

$k_k =$ Sürtünme katsayısı = 0,3 olarak seçilmiştir.

$$\sum F_{x1} = m \cdot a_1 - (-N_1 \cdot k_k) \quad (11)$$

$$F_{x1} = 300 \cdot 0,005 + 2943 \cdot 0,3 = 884,4 \text{ N olarak bulur.}$$

İkinci durumda $F_{x_{max2}}$ bulunması;



Şekil 4.4 İkinci durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Formül (10)' den N_2 bulunmak ve formül (11)' den F_{x2} bulunmak istenirse;

$$\sum F_{y2} = 0$$

$$\sum F_{y2} = m \cdot g \cdot \cos Q - N_2$$

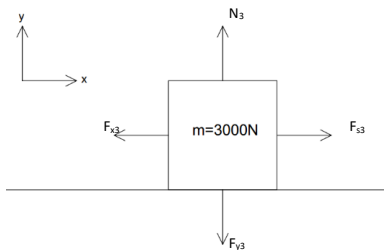
$$N_2 = m \cdot g \cdot \cos Q$$

$$N_2 = 300 \cdot 9,81 \cdot \cos 67^\circ = 1149,83 \text{ N}$$

$$\sum F_{x2} = m \cdot a_2 + m \cdot g \cdot \sin Q - (-N_2 \cdot k_k)$$

$$F_{x2} = 300 \cdot 0 + 300 \cdot 9,81 \cdot \sin 67^\circ + 1149,83 \cdot 0,3 = 3053,97 \text{ N olarak bulunur.}$$

Üçüncü durumda $F_{x_{max3}}$ bulunması;



Şekil 4.5 Üçüncü durumda kuvvetlerin yönlerini gösteren şekil.

Formül (10)' den N_3 bulunmak ve formül (11)' den F_{x3} bulunmak istenirse;

$$\sum F_{y3} = 0$$

$$\sum F_{y3} = m \cdot g - N_3$$

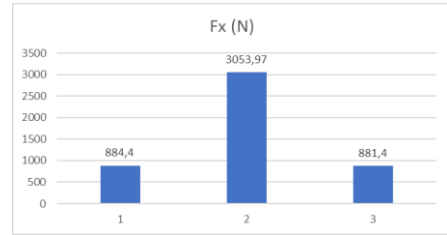
$$N_3 = m \cdot g$$

$$N_3 = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N}$$

$$\sum F_{x3} = m \cdot a_3 - (-N_3 \cdot k_k)$$

$$F_{x3} = -300 \cdot 0,005 + 2943 \cdot 0,3 = 881,4 \text{ N olarak bulunur.}$$

Çizelge 4.4 F_x grafiği.



Her üç durumda da F_x değerleri Çizelge 4.4' de belirtildiği üzere, en yüksek kuvvet ihtiyacı ikinci durumda, yani tırmanmanın olduğu durumda olmaktadır.

F_{ort} bulmak için;

$$F_{ort} = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + F_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \quad (12)$$

$$F_{ort} = \sqrt{\frac{884,4^2 \cdot 20 + 3053,97^2 \cdot 32,6 + 881,4^2 \cdot 20}{72,6}} = 2148,84 \text{ N}$$

İş; bir yol boyunca harcanan kuvvet olduğundan,

$$W_{ort} = F_{ort} \cdot x_t \quad (13)$$

$$W_{ort} = 2148,84 \cdot 5,26 = 11302,9 \text{ J}$$

Yine formül (14)' ten her bir durum için iş hesabı [6];

$$W_i = F_i \cdot x_i$$

$$W_1 = 884,4 \cdot 1 = 884,4 \text{ J}$$

$$W_2 = 3053,97 \cdot 3,26 = 9955,94 \text{ J}$$

$$W_3 = 881,4 \cdot 1 = 881,4 \text{ J olarak bulunur.}$$

Güç hesabı içinse,

$$P_{ort} = \frac{W_{ort}}{t_t} \quad (14)$$

$$P_{ort} = \frac{11302,9}{72,6} = 115,68 \text{ W}$$

Yine formül (15)' ten her bir durum için güç hesabı [6];

$$P_i = \frac{W_i}{t_i}$$

$$P_1 = \frac{884,4}{20} = 44,22 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{9955,94}{32,6} = 305,39 \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{881,4}{20} = 44,07 \text{ W}$$

4.2.3 Lineer Motor Genel Formülü ve Boyutlandırılması

V_{DC} : Tedarik Edilen Voltaj = 220 V

I : Akım (A)

R_{rail} : Direnç (Ω)

$E_{induced}$: İndüklenen voltaj (V)

$$V_{DC} = I \cdot R_{rail} + E_{induced} \quad (15)$$

$$E_{induced} = B \cdot L \cdot u \quad (16)$$

L: Efektif uzunluk = Sarım Sayısı x Sarım Uzunluğu (m)

$$P_{in} = V_{DC} \cdot I \quad (17)$$

$$P_{out} = E_{induced} \cdot I \quad (18)$$

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (19)$$

$P_2 = 305,39 W$ olduğundan emniyetli olması açısından;

$$P_{out} = 400 W$$

$$\mu = 0,92$$

Formül (19)' de değerler yerine konursa [6],

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\mu} = \frac{400}{0,92} = 434,78 W$$

İstenilen akımı bulmak için formül (17) kullanılırsa [6],

$$I = \frac{P_{in}}{V_{DC}} = 434,78 / 220 = 1,989 A \text{ olarak bulunur.}$$

$E_{induced}$ bulmak için formül (18) kullanılırsa [6],

$$E_{induced} = \frac{P_{out}}{I} = \frac{400}{1,989} = 201,1 V \text{ olur.}$$

Formül (16)' da değerler yerine konulup direnç bulunmak istenirse [6];

$$V_{DC} = I \cdot R_{rail} + E_{induced}$$

$220 = 1,989 \cdot R_{rail} + 201,1$ ise; $R_{rail} = 9,50 \Omega$ olarak bulunur.

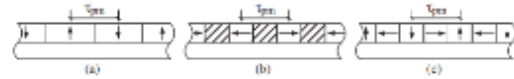
4.2.4 Lineer Motor Boyutlandırılması

Tasarım ana hedeflerinde de belirtildiği üzere 3000N kütlesinde bir cismi 3m yukarıya çıkarmak için gerekli kuvvet büyük olduğundan ve konunun başında da belirtildiği gibi, merdiven gibi dar bir alanda çalışması istenildiğinden ötürü asansörün toplam hacmi ve boyutları önem kazandığından, tüp şeklinde (tubuler) bir lineer motor tasarlanacaktır. Ayrıca Çizelge 5.5' te de tüp şeklinde lineer motor ile düz lineer motorun, kuvvet

farklılıkları belirtilmiş olup, tüp şekilde lineer motorun düz bir lineer motora göre, manyetik alanı daha iyi kullandığından oluşturacağı güç daha fazladır.

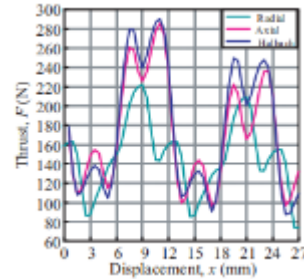
Çizelge 4.5 Aynı akım girdisine sahip düz (flat) ve tüp şeklinde lineer motorların kıyaslanması [6].

Parametreler	Birim	Flat (Düz) Motor	Tubular Motor
F_{max} (En Büyük Kuvvet)	[N]	221	305
F_{min} (En Küçük Kuvvet)	[N]	146	198
F_{av} (Ortalama Kuvvet)	[N]	180	244
k_c (Dalgalanma Kuvveti Sabiti)	-	0,42	0,44
F_{max} (En Büyük Tetikleme Kuvveti)	[N]	20	45
I_c (Armatür Akımı)	A	8	8



Şekil 4.6 Lineer motorda mıknatıs (a) radyal, (b) eksenel, (c) Halbach dizgesi [15].

Ayrıca tasarımı yapılan lineer motorda eksenel tip mıknatıs yerleşimi yapılmıştır. Lineer motorlarda 3 farklı mıknatıs yerleşimi tipi vardır. Şekil 5.6' da mıknatıs yerleşimi tipleri ve şekilleri gösterilmiştir. Bu şekilde de gösterildiği üzere Halbach tipi mıknatıs yerleşimi (solda, yapıldığında, istenilen kuvvet elde edilememiştir. Halbach dizgesinde üst ve alt yüzeyinde iki farklı manyetik kuvvet oluşmakta ve zayıf yüzey ve kuvvetli yüzey oluşmaktadır. Bu durumda, tasarımı yapılan motor tubular yani tüp şeklinde olduğundan farklı manyetik alanlar, motorun titreşimli çalışmasına sebep olabileceği gibi ek kılavuzlama ve titreşim oluşumu gibi ilaveten sorunlara sebep olabilir. Şekil 5.7' de Eksenel ve Halbach dizgeleri, bu tasarım için karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.7 Lineer motor mıknatıs dizgesine göre kuvvet değişimi [15].

Hesaplama aşamasında en fazla kuvvet ihtiyacı, asansör yukarı doğru çıkış eğiliminde iken oluşmaktadır. İhtiyacının en fazla olduğu durumdaki kuvvet (F_{x2}), yani motorun üretmesi gereken en büyük kuvvet, yani F_{max} olur.

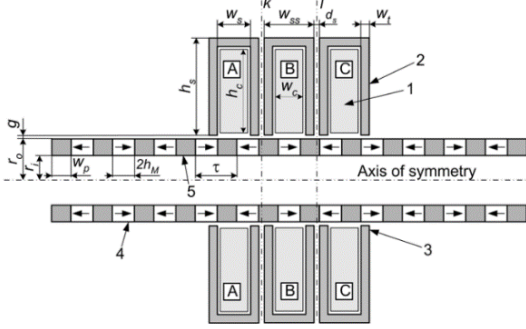
$$F_{\max} = 3053,97 \text{ N} \approx 3100 \text{ N}$$

Motor tasarımı ile ilgili diğer kabuller;

$$J_a = 10 \text{ A / mm}^2 \text{ (Nominal Armatür Akım Yoğunluğu)}$$

$$d_w = 2 \text{ mm (Bakır Tel Çapı)}$$

$$\tau = 50 \text{ mm (Kutup Aralığı)}$$



Şekil 4.8 Tüp şeklinde linear motorun kesit görüntüsü [6].

Kabule göre, toplam mekanik enerji, doğal mıknatısların depoladığı toplam enerjiye eşit olmalıdır.

İstenilen itme kuvveti için, en az 7 adet doğal mıknatıs (PM, doğal magnet) ve 3 segman (armatür) olmalıdır. Tasarım, boyutlandırma bu kabule göre yapılacaktır.

Doğal mıknatıslar seçimi için, Şekil 4.6' da da görülebileceği gibi, düşük çalışma sıcaklığında, aynı akım aralığında daha fazla kuvvet alınabilen NdFeB seçilmiştir.

Doğal mıknatısın mekanik ve elektrik özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 Doğal mıknatıs mekanik özellikleri [6].

Parametreler	Birim	NdFeB	SmCo
B_r	[T]	1,25	1,01
H_c	[kA/m]	950	724
μ_r	-	1,048	1,11
T_c	[°C]	300	850
Çalışma Sıcaklığı	[°C]	80	300
$(BH)_{\max}$	[kJ/m³]	310	203
B_r için Sıcaklık Sabiti	[%/°C]	-0,11	-0,04
H_c için Sıcaklık Sabiti	[%/°C]	-0,5	-0,27

Ayrıca yukarıdaki tabloya ek olarak [6];

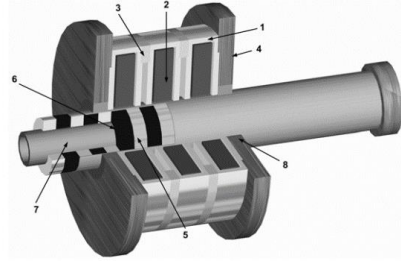
w : Mıknatısların Enerji Yoğunluğu = 400 kJ/ m² (NdFeB için)

Enerjinin korunumu yasasına göre, asaansörü hareket ettirmek için gereken toplam mekanik enerjinin mıknatısların depoladığı toplam enerjiye eşit olmalıdır. Elektro magnetik kuvvetle, τ kutup aralığında gereken enerji;

$$W = F \cdot \tau = 3100 \cdot 0,05 = 155 \text{ J} \quad (20)$$

V , Enerji yoğunluğunu bulmak için;

$$V = \frac{W}{w} = \frac{155}{400.000} = 3,875 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 3,875 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (21)$$



Şekil 4.9 Tüp şeklinde linear motorun 3D görüntüsü [6].

Tek magnet üzerine düşen enerji yoğunluğunu bulmak için, 3 armatüre 7 magnet üzerinden kabul yapıp, çalışmaya başlandığından [6];

$$V_m = \frac{V}{7} = \frac{3,875 \times 10^5}{7} = 55.357,142 \text{ mm}^3 \quad (22)$$

Kutup aralığı, $\tau = 50\text{mm}$ seçildiğinden ve magnet ile ferromagnetik ring (halka) eşit genişliğe sahip olduğu düşünülerek [6];

$$2 \cdot h_m = w_p = \frac{\tau}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm}$$

Mıknatısların iç yarı çapı, mümkün olduğunca çok küçük olmalı [6];

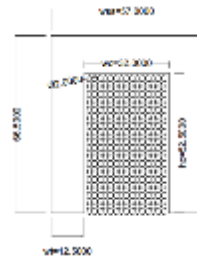
$r_i = 4\text{mm}$, dış yarı çapı ise formül (23)' ten bulunarak;

$$r_o = \sqrt{\frac{V_m}{\pi \cdot 2 \cdot h_m} + r_i^2} \quad (23)$$

$r_o = 27 \text{ mm}$ olarak bulunur.

w_t armatür dış kalınlığı, magnet ve ring kalınlıklarının yarısı kadar seçilebilir.

$$w_t = \frac{w_p}{2} = 12,5 \text{ mm} \quad (24)$$



Şekil 4.10 Armatür boyutları.

İki kutuplu doğal mıknatısın kuvvetini bulmak için [6];

$$F_m = 2 \cdot h_m \cdot H_c = 0,025 \cdot 950.000 = 23.750 \text{ N} \quad (25)$$

$$\text{Akım hesabı; } I_{amax} = J_a \cdot \pi \cdot \frac{d_w^2}{4} = 31,4 \text{ A} \quad (26)$$

Bakır tel sarım sayısını belirlemek için [6];

$$N = \frac{F_m/2}{I_{amax}} = \frac{23.750}{31,4 \cdot 2} = 378 \text{ sarım} \quad (27)$$

w_c : 30 mm olması durumunda;

$$N = \frac{w_c \cdot h_c}{d_w^2} \text{ ise; } h_c \approx 50 \text{ mm}$$

$$\frac{w_c}{d_w} = \frac{30}{2} = 15 \text{ sıra yatay sarım sayısı.} \quad (28)$$

Toplam sarım sayısına bölüldüğünde;

$$N / 15 \text{ yatay sarım sayısı} = 378 / 15 = 25,2 \approx 26 \text{ sıra dikey sarım sayısı.}$$

Yeni durumda toplam sarım sayısı;

$$N = 15 \cdot 26 = 390 \text{ olarak tekrar hesaplanmıştır.}$$

h_c ; tekrar hesaplanmak istenirse,

$$h_c = 26 \times d_w + 0,5 = 52,5 \text{ mm hesaplanmış olup, sarım şekli Şekil 4.9' da belirtilmiştir.}$$

w_s : Armatür genişliği;

$$2 \cdot h_m \leq w_s \leq \tau - w_t \text{ ise; } \quad (29)$$

$w_s = 32 \text{ mm}$ aritmetik ortalama ile seçilmiştir.

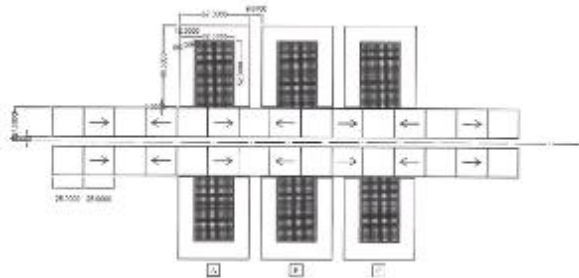
$w_{ss} = w_s + 2 \cdot w_t$ olduğundan, $w_{ss} = 57 \text{ mm}$ ' dir.

Armatürler arası uzaklık ise, 3 armatürlü seçildiğinden

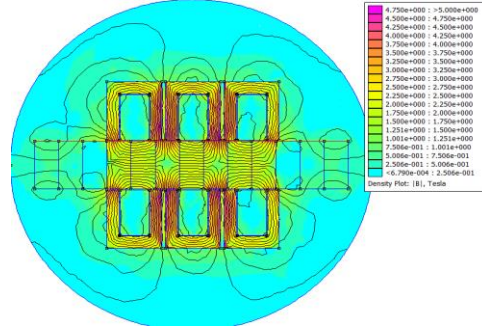
$$n_{ph} = 3 \text{ ve } w_{ss} = 57 \text{ mm ise;}$$

$$d_s = \frac{\tau}{n_{ph}} - w_{ss} + \tau = 9,67 \text{ mm} \quad (30)$$

Yukarıdaki ölçülere göre tubuler tip lineer motor çizilecek olursa;



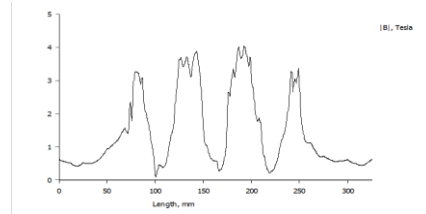
Şekil 4.11 İstenilen kuvvete göre tüp şeklinde LM' nin çizilmesi.



Şekil 4.12 FEMM programında FE methoduyla EMA analizi.

Şekil 4.12' de gösterildiği üzere FEMM (Finite Element Method Magnetics) programını kullanarak, manyetik alan analizi yapılmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere ortadaki armatürde manyetik alan yoğunlaşmıştır.

Ayrıca Şekil 4.13' te de doğal mıknatısların yüzeyi üzerinden bir doğru boyunca manyetik alan değişimi grafiği belirtilmektedir.

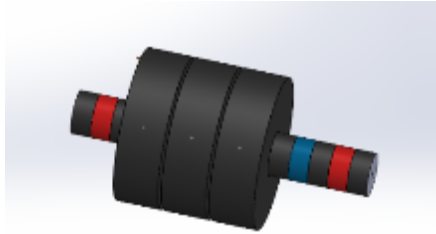


Şekil 4.13 FEMM ile doğal mıknatıs yüzeyi boyunca manyetik alan eğrisi.

Şekil 4.11' da Autocad programında çizilen TLM' nin SW çizimleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' de gösterilmiştir.

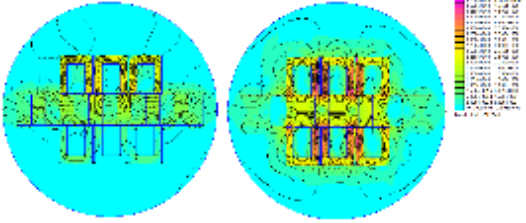


Şekil 4.14 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM' nin SW' da çizilmesi.



Şekil 4.15 Yukarıdaki ölçülere göre tüp şeklinde LM' nin SW' da çizilmesi.

Tasarımı tamamlanan tubuler lineer motorun mıknatıs dizgesinin tasarım hedeflerini karşıladığından emin olmak için Şekil 4.16' da da gösterildiği gibi Halbach dizgesi ve eksenel mıknatıs dizgesi karşılaştırması FEMM programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.16 FEMM programında Halbach (soldaki) ve eksenel (sağdaki) mıknatıs dizgesi karşılaştırması.

FEMM programında yapılan bu kontrole göre eksenel dizilim uygun görülmüş, hedeflenen kuvvet değerine ulaştığı görülmüştür.

4.3 Platform Tip Engelli Asansörü Tasarımı

Tekerlekli sandalye taşınabilmesi için platform tip bir engelli merdiven asansörü tasarlanmalıdır.

Bu sebeple önce platformun ölçüleri belirlenmeli ve bu sebeple de standart bir tekerlekli sandalyenin ölçüleri bilinmelidir.

TS 9111:2011'e göre platformun boyutları en az, 0,75m x 1,20 m olmalıdır [16].

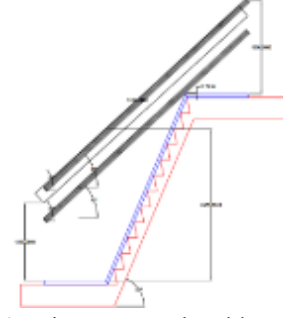
Bu ölçüler ışığında, platform ölçüleri 0,80m x 1,30m olarak seçilmiştir.

Tasarımın diğer bir önemli faktörü ise lineer motorun çalışma doğrusudur. Yaptığımız seçime göre tubuler tip lineer motor kullanılacağından ve bu tip bir lineer motorun bir eğride çalışmayacağı için, düz bir doğru üzerinde çalışmalıdır. Dolayısıyla, merdiven eğim açısının ve motor çalışma doğrusunun düz zemine göre eğimleri birbirinden farklı olacaktır.

Mevcut yükün daha rahat taşınabilmesi ve iyi bir klavuzlama yapılabilmesi için üç adet kızak kullanılacaktır. Bu kızaklardan bir tanesi tabana monte edilecek olup, diğer iki tanesi duvara, duvar veya kolon bulunmuyorsa da taşıyıcı ayaklara monte edilecektir. Duvara monte edilecek olan kızaklar "c profil" formunda olacak olup, tabana monte edilecek olan kızak "u profil" formunda olacaktır.

C profiller birbirlerine paralel ve aynı zamanda lineer motor çalışma doğrusuna da paralel olacaklardır.

Tabana monte edilecek olan u profil ise taban formunu takip edecek, yani merdiven eğiminde olacaktır.



Şekil 4.17 Lineer motor kızakları ve eğimi.

Lineer motor tasarımından önce, çalışmanın başında yaptığım kabullerden bir tanesi de merdiven ebatları ve eğimidir. Bu kabule göre merdiven 3000mm' yi toplam 15 basamakta ve 67°'lik bir açıyla çıkacaktır.

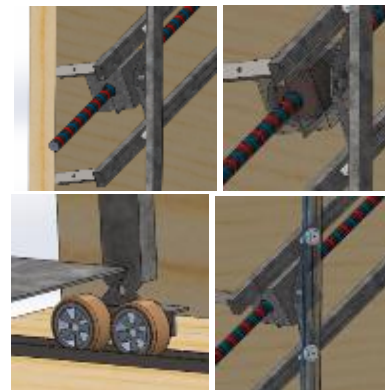
Platform tasarımı yapılırken taşınacak olan tekerlekli sandalye ölçüleri baz alınmalıdır. Daha önce belirtildiği üzere ve TS 9111:2011' e göre kaldırma platformu 800mm ve 300mm ölçülerinde yapılmalıdır.

Kaldırma platform 5mm galvaniz sacdan tasarlanmasına rağmen, üzerine konulacak olan 150kg'lık bir yükü eğilmesi veya çalışmaması ihtimaline karşı sacın alt kısmında destek profilleri kaynatılmalı, monte edilmelidir.



Şekil 4.18 Kaldırma platformu destek profilleri SW çizimi.

Kaldırma platform ve 3 adet kızak birbirlerine bağlanması ve bir bütün içinde çalışması için taşıyıcı bir kızak daha tasarlanmalıdır. Yani platformu bağlayacağımız dördüncü bir kızak gerekmektedir. Piyasada, hali hazırda kullanılan diğer modellerde sadece 2 kızak kullanılmasına rağmen bu tasarımda 4 kızak kullanılmalıdır. Bunun en büyük sebebi lineer motor açısı ile merdiven eğim açısının farklı olmasıdır.



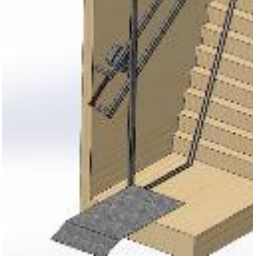
Şekil 4.19 Dört adet kızığın birbiri ile uyumlu çalışmasını gösteren SW çizimi.

Hem 43°'li taşıyıcı kızaklarda taşıma işleminin yapılması, hem de taşıyıcı dikey kızakta itme işleminin yapılabilmesi için çift tekerlek tasarımı yapılmıştır. Bu tekerleklerde farklı yönlerde kuvvetler oluşmaktadır. Bu tasarım sayesinde yükün yukarı veya aşağıya taşınımı sağlanırken, farklı açılardan oluşan merdiven ve lineer motor çiftinin de uyumlu çalışması amaçlanmaktadır.



Şekil 4.20 İkili tekerlek tasarımını gösteren SW çizimi.

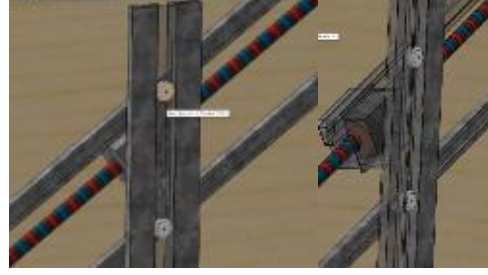
Motordan alınan tahrik bükümlü bir sac ile tekerleklere iletilirken, farklı düzlemlerde çalışan ve platformun hareket etmesini sağlayan çift tekerlek sistemi olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım sürtünme kuvvetini arttırmakla beraber, taşıyıcı dikey c profilin kurtulmasını veya çalışmamasını engellemektedir.



Şekil 4.21 Kaldırma platformunun taşıyıcı dikey kızığa monte edilmesini gösteren SW çizimi.

Kaldırma platformu altında bulunan taban kızığında da çift tekerlek kullanılmış, bir ara braketle birbirlerine bağlanmış ve tekerlekler arasında bir rulman vasıtası ile de taşıyıcı dikey kızığa bağlanmıştır. Bu sayede merdiven tırmanırken veya merdivenden aşağı inilirken daha az titreşimsiz ve güvenli bir hareket ön görülmüştür.

Taşıyıcı dikey kızak, hem yatay itme hareketinden dolayı motordan gelen kuvvetlere dayanması, hem de taşınacak olan yükten dolayı oluşacak dikey yükten dolayı, mukavemetin artırılması için dikey kızığın ilave profillerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu durumda taşıyıcı dikey kızığın iki yanına birden aynı derinlikte (40mm), fakat farklı kalınlıkta (5mm) 100mm x 40mm ölçülerinde dikdörtgen profil kullanılmıştır.



Şekil 4.22 Taşıyıcı dikey kızığa monte edilen 100x40x5 ölçülerinde dikdörtgen profilleri gösteren SW çizimi.

4.4.Tasarım Sonrası Kontrollerin ve Düzeltmelerin Yapılması

Tasarım çalışmasından sonra, yükün en çok bineceği parçaların, yani kızakların mukavemet analizi yapılmalıdır. Tasarım ana hedeflerimizden olan en az 10 yıl çalışma ömrü olduğundan, sac parçaların dayanım analizi yapılmalıdır. Bu analiz çalışmasına göre dayanım arttırmak için tasarım tekrar düzeltiler, değiştirilebilir.

Bu durumda aşağıdaki parçalarda mukavemet hesabı yapılmalıdır.

- Platform altında bulunan kutu profillerinde,
- Taşıyıcı dikey kızakta ve destek kutu profillerinde,
- Duvara monte kızakta, mukavemet hesabı yapılır.

4.4.1 Kaldırma Platformu Altında Bulunan Kutu Profillerin Mukavemet Hesabı

Kaldırma platformu altında bulunan kutu profillere, bir tekerlekli sandalyede 4 adet tekerlek olduğundan, her bir kenarına, en fazla tekerlekli sandalyede bulunan yükün ¼'ü kadar yük etkimektedir.

Kutu profil ölçüleri olarak da 60 x 60 x 3mm seçilmiştir.

Diğer ölçülerde;

$$A_{kp}: \text{Kutu Profil Alanı} = 6,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_{kp}: \text{Kutu Profil Atalet Momenti} = 35,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W: \text{Platform üzerine etkiyen toplam ağırlık} = 1500\text{N}$$

$$L: \text{Kutu Profil Uzunluğu} = 800\text{mm} = 0,8 \text{ m}$$

$$a: \text{Yükün Kutu Profil Kenarına olan uzaklığı} = 25\text{mm} = 0,025\text{m}$$

$$E: \text{Kutu Profil Elastisite Modülü} = 200 \text{ GPa} = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$W_{kp}: \text{Kutu Profil Birim Metre Ağırlığı} = 5,19 \text{ kg/m}$$

$$\theta_A' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{375.(0,025)^2}{2.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -0,167.10^{-4} \text{ rad} \quad (35)$$

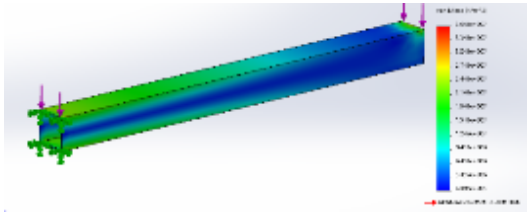
$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{375.(0,025)^3}{3.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -0,00028.10^{-4} \text{ m} \quad (36)$$

$$\theta_A'' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{375.(0,775)^2}{2.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -16,01.10^{-4} \text{ rad}$$

$$\gamma_A'' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{375.(0,775)^3}{3.200.10^9.35,1.10^{-8}} = -8,28.10^{-4} \text{ m}$$

$$\theta = \theta_A' + \theta_A'' = -16,207.10^{-4} \text{ rad} \quad (37)$$

$$\gamma = \gamma_A' + \gamma_A'' = -0,83 \text{ mm} \quad (38)$$



Şekil 4.23 SW programında gerilim simülasyonu.

4.4.2 Taşıyıcı Dikey Kızakta Mukavemet Hesabı

Bir önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, taşıyıcı dikey kızak yanlarına dayanımı arttırmak ve olası yamulma ve kırılmaları önlemek için 100 x 40 x 5mm ölçülerinde dikdörtgen profiller kaynatılmıştır.

Diğer ölçüler de;

L_{ak} : Ana Kızak Toplam Uzunluğu = 2,5 m

a: Birinci Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 2,4 m

b: İkinci Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 2 m

$I_{c \text{ profil}} (I_1)$: C Profil Atalet Momenti = $31,95 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

E: C Profil ve Dikdörtgen Profil Elastisite Modülü = 200 GPa = $200 \cdot 10^9 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$

$I_{dikdörtgen \text{ profil}} (I_2, I_3)$: Dikdörtgen Profil Atalet Momenti = $136 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

$i_{c \text{ profil}} (i_1)$: C Profil Atalet Yarıçapı = 2,68 cm

$i_{dikdörtgen \text{ profil}} (i_2, i_3)$: Dikdörtgen Profil Atalet Yarıçapı = 3,31 cm

$A_{c \text{ profil}} (A_1)$: C Profil Kesit Alanı = $4,44 \text{ cm}^2$

$A_{dikdörtgen} (A_2, A_3)$: Dikdörtgen Profil Kesit Alanı = $12,4 \text{ cm}^2$

t_1 : C Profil Et Kalınlığı = 3 mm

t_2 : Dikdörtgen Profil Et Kalınlığı = 5 mm

W_1 : C Profil Birim Metre Ağırlığı = 3,48 kg/m

W_2 : Dikdörtgen Profil Birim Metre Ağırlığı = 9,7 kg/m

W: Toplam Kuvvet = 2000N

W/2 = 1000N

Üç parça birbirlerine kaynak yapıldığından üç parçanın bir arda atalet momenti bulunmak istenirse;

Toplam Atalet Momenti Hesaplama (I_T):

$$I_T = \left[I_1 + A_1 \cdot \left(\frac{i_1}{2} \right)^2 \right] + 2 \cdot \left[I_2 + A_2 \cdot \left(\frac{i_2}{2} \right)^2 \right] \quad (39)$$

$$\begin{aligned} I_T &= \left[31,95 + 4,44 \cdot \left(\frac{2,68}{2} \right)^2 \right] \\ &+ 2 \cdot \left[136 + 12,4 \cdot \left(\frac{3,31}{2} \right)^2 \right] \\ &= 379,85 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Sehim hesaplama formül (35), formül (36), formül (37) ve formül (38)' de değerler yerine yazılırsa;

$$\theta_A' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{1000.(2)^2}{2.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,0026 \text{ rad}$$

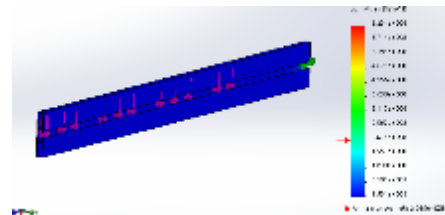
$$\gamma_A' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{1000.(2)^3}{3.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,0035 \text{ m}$$

$$\theta_A'' = -\frac{P.L^2}{2.E.L} = -\frac{1000.(2,4)^2}{2.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,00379 \text{ rad}$$

$$\gamma_A'' = -\frac{P.L^3}{3.E.L} = -\frac{1000.(2,4)^3}{3.200.10^9.379,85.10^{-8}} = -0,006 \text{ m}$$

$$\theta = \theta_A' + \theta_A'' = -0,0064 \text{ rad}$$

$$\gamma = \gamma_A' + \gamma_A'' = -0,95 \text{ mm}$$



Şekil 4.24 SW programında gerilim simülasyonu.

4.4.3 Duvara Monte Kızakta Mukavemet Hesabı

Duvara monte kılavuz kızaklarını, 3000N'luk bir yükün rahat taşınabilmesi ve herhangi bir hata olmaması için 500mm aralıklarla duvara ankrajlanmıştır.

Taşıyıcı olarak toplam 3 kızak olduğundan, bir kızığa etkiyecek olan toplam yükün 1/3' ü kadar olacaktır.

Diğer ölçüler ise;

$L/2$: Kuvvetin Mesnete Olan Uzaklığı = 0,25 m

I_c profil: C Profil Atalet Momenti = $31,95 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

E: C Profil Elastisite Modülü = 200 GPa = $200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ (N/m²)

A_c profil: C Profil Kesit Alanı = 4,44 cm²

t: C Profil Et Kalınlığı = 3 mm

W_1 : C Profil Birim Metre Ağırlığı = 3,48 kg/m

W: Toplam Kuvvet = 2000 N

$W/3 = 666\text{N}$

$R_A = R_B = P/2$

$$M_C = \frac{P.L}{4} \quad (40)$$

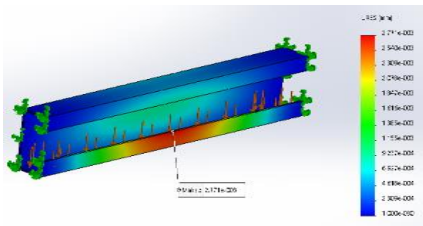
Moment için alan bulunurken;

$$A = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \frac{P.L}{E.I} \right) \cdot \frac{L}{2} = \frac{P.L^2}{16.E.I} \quad (41)$$

$\theta_C = 0$ olduğundan;

$$\theta_A = \theta_C - \theta_{C/A} = 0 - \frac{P.L^2}{16.E.I} = -0,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \quad (42)$$

$$\gamma_A = -A \cdot \frac{L}{3} = -\frac{P.L^2}{48.E.I} = -0,0000027 \text{ m} = 0,0027\text{mm} \quad (43)$$



Şekil 4.25 SW programında yer değiştirme simülasyonu.

Sonuç olarak, bu üç ayrı parçada yapılan mukavemet analizine göre parçaların hedeflenen tasarım ömrüne uygun olduğu gözlemlenmiştir. Herhangi birinde değişiklik veya düzeltme yapmaya gerek kalmamıştır.

5. Bulgular ve Tartışma

Lineer motorla tahrik olan merdiven asansörü tasarımı yapılmış olup, lineer motorun ebatları, tasarımın başındaki tasarım hedefleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kabullerin tasarımı doğrudan etkilediği gözlenmiş olup merdiven gibi dar bir alanda çalışacak olan sistemimizde motor ebatları ve hacmi çok önemli olduğundan, motordan istenilen gücün optimum olması gerekmektedir.

İstenilen kuvvetle, mıknatıs dış yarıçapı arasında doğru orantılı bir bağ bulunduğu gözlemlenmiştir. İstenilen kuvvet arttıkça, lineer motor boyutları da orantılı olarak artmaktadır. İstenilen kuvvet azaldığında sadece mıknatıs dış yarıçapı değil lineer motorun bobin sarım sayısı ve armatür çapı da azalacaktır. Bu durumda taşıma ve kılavuzlama için kullanılan kızakların et kalınlıkları veya formları da azalacaktır.

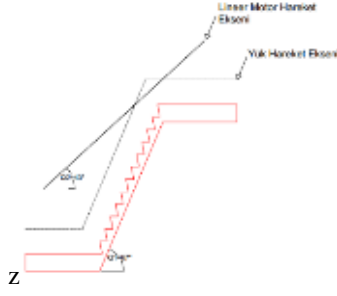
Eksenel tip mıknatıs dizgesi, flat lineer motorlarda daha fazla güç elde edilebilecek Halbach dizgesine göre, tubular lineer motorlarda kullanımı önerilmektedir. Bu çalışmada, FEMM programıyla yapılan karşılaştırmalı FE analizi de bu sonucu desteklemektedir.

Bu çalışma ile beraber, geliştirilmesi gerektiğini düşündüğüm konular ise, mıknatısların açıkta ve ulaşılabilir bir yükseklikte olması diğer bir dezavantajdır. Öyle ki, bu durum, mıknatısların kirlenmesinden dolayı hem motorun çalışmasını etkileyebilir hem de cep telefonu gibi manyetik alandan etkilenebilecek cihazların bozulmasına sebebiyet verebilir. Bu sebepten dolayı, merdiven asansörü gibi insanlarla çok yakın çalışacak lineer motorlarda, mıknatıslar ve motor için manyetik alan izolesi, koruyucusu gerekmektedir.

6. Sonuçlar

Lineer motorlar yakın geçmişimize kadar kullanımı çok yaygın olmamalarına rağmen, günümüzde hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek hassasiyet, hareketi dönüştürmek veya iletmek için dişli, kayış, kasnak, vs. olmaması ve seri üretim koşullarına uygunluğu dolayısıyla kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır.

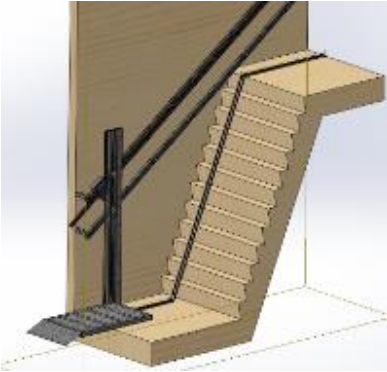
Tüp şeklinde (tubuler) lineer motor kullanımı ise, manyetik alanın kullanımı arttırmakla beraber, boyutsal olarak sığmaması gibi bir durum yaratmamıştır. Dar bir bölgede, alanı daha fazla daraltmadan, kayış, kasnak gibi hareketin iletilmesini sağlayacak ara mekanik ekipman kullanılmadan, yani verim düşmeden kılavuzlama ve hareket sağlanabilmiştir.



Şekil 6.1 Hareket eksenini farklılığı.

Lineer motorlarda dönüş yapılamaması, yani sabit mıknatısların kıvrılamaması dezavantajına rağmen, merdiven asansörlerinde teorik olarak lineer motorun kullanılabilmesi ispatlanmıştır. Bunun sonucu olarak Şekil 6.1'de de gösterildiği üzere, merdiven eğiminin, lineer motor tırmanma açısından farklı olması, yani merdiven eğimi 67° iken, lineer motor çalışma doğrusunun tabanla yaptığı açı 43° olduğu gözlemlenmiş olup, hedefe ulaşılmıştır. Teorik olarak engelli merdiven asansöründe lineer motor kullanılabilmesi ispatlanmıştır.

Bu çalışma, gelecekte yapılacak olan diğer çalışmalara, bu tip asansörlerde tubular tip lineer motor ve eksenel mıknatıs dizgisi kullanılması konusunda faydalı olacaktır.



Şekil 6.2 Genel hatlarında montaj resmini gösteren SW çizimi.

Kaynaklar




- [1] <http://www.oytunyapici.net/LM/tarihce.html> (Erişim tarihi: 15.09.2018)
- [2] <http://www.wikizeroo.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGluZWZyX2luZHVjdGlvbl9tb3RvcnM> (Erişim tarihi: 01.10.2018)
- [3] <https://aktif.net/tr/Aktif-log/Teknik-Makaleler/Lineer-Motorlar-Ile-Levitasyon-Uygulamaları-Maglev-Trenleri-Maglev-Asansörleri> (Erişim tarihi: 15.10.2018)

- [4] Taşkın Ö., 2015. Design And Implementation Of A Double-Sided Coreless Linear Motor. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mekanik Mühendisliği Anabilim Dalı, Syf. 1-17, İstanbul.
- [5] Nasar S.A., Boldea I., Linear Motion Electric Machines, 2. Baskı, New York, USA: John Wiley&Sons, 1976.
- [6] Gieras J.F., Piech Z.J., Tomczuk B., 1999. Linear Synchronous Motors. 1st ed., CRC Press, syf.1-429.
- [7] <https://www.elega.lt/en/linear-motion-systems-bridge-ballscrew-module-90x90> (Erişim tarihi: 18.10.2018)
- [8] <https://bahriyeenstitusu.org/2018/09/27/deniz-kuvvetleri-tcg-anadolu-ile-ne-kazanacak/> (Erişim tarihi: 20.10.2018)
- [9] Kazan Ö., Onat A., 2011. Modeling of Air Core Permanent-Magnet Linear Motors with a Simplified Nonlinear Magnetic Analysis. IEEE Transactions on Magnetics, 47(6), 1753-1762.
- [10] Çepni M. E., 2010. Lineer Servo Motor Ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kontrol ve Otomasyon Anabilim Dalı, Syf. 7-17, İstanbul.
- [11] <https://blog.aslanozgul.com/tanitim-yazilari/engelli-asansoru-nedir-engelli-asansoru-fiyatları.html> (Erişim tarihi: 22.10.2018)
- [12] Dinç N., 2010. Engelliler İçin Koltuk-Platform Tipi Asansörler ve Hiro-Lift Asansör Sistemleri. AKE Asansör Malzemeleri Ltd. Şti., İstanbul.
- [13] Pahl G., Beitz W., 1988. Engineering Design, The Design Council. Springer-Verlag, London.
- [14] Mayda M., Börklü H., 2014. Yeni ve İnovatif Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli ile Su Filtresi Tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2(1), 169-180.
- [15] Nasir N., Azhar F., 2018. Design of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for High Thrust and Low Cogging Force Performance. Progress In Electromagnetics Research M, 63, 83-92.
- [16] Türk Standartları Enstitüsü, TS 9111:2011, Özürlüler Ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere



Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretimini Simülasyonu

Simulation of Aluminum Alloy Automobile Wheel Production by High Pressure Die Casting

Samed Berker IŞIK^{1*} , Muzaffer ZEREN² , Kemal ATAMAY³ 

¹ Kırpart Otomotiv Parçaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8251-3237

² Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5490-3799

³ Kırpart Otomotiv Parçaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7747-5491

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 26/12/2019

Kabul Tarihi : 30/06/2020

Anahtar Kelimeler

Alüminyum
Jant
Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi
Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi
MagmaSoft 5.4.

Research Paper

Received Date : 26/12/2019

Accepted Date : 30/06/2020

Keywords

Aluminum
Wheel
Low Pressure Die Casting
High Pressure Die Casting
MagmaSoft 5.4.

Özet

Otomobil üreticileri yolcu güvenliğini göz önünde bulundurarak konforlu, küresel ısınma ile mücadelede destek olan ve yakıt tüketimi az olan araçlar geliştirmek için bir takım çalışmalar yürütmektedir. Yoğunluk, maliyet, işlenebilirlik, elektriksel iletkenlik, üretilebilirlik, estetik, korozyon direnci ve geri dönüşüm özelliklerinden dolayı Al-Si alaşımli jantlar otomobil üreticileri tarafından tercih edilmektedir. Ana ekipman üreticisi ürün için tüm spesifikasyonları belirlesede inovatif yaklaşımlarla aynı ürün özellikleri elde edebilecek, az maliyetli üretim yöntemlerini kabul etmektedir. Yüksek basınçlı otomobil jant üretimi yöntemi ile alçak basınçlı döküm yöntemi karşılaştırıldığında ana ekipman üreticilerine katma değer katarak alüminyum alaşımli jant sektörüne rekabet kazandıracığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, MagmaSoft 5.4. simülasyon programında, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretimi için simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Simülasyon sonuçları gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra jant üretiminin yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilebileceğini doğrulamıştır.

Abstract

Considering the passengers' safety, automobile manufacturers have been performing a study to develop comfortable, supportive to the fight against global warming and fuel-saving cars. Thanks to its features like intensity, low cost, machinability, electrical conductivity, productivity, esthetic, corrosion resistance and recycling, Al-Si alloy wheel have been preferred by the automobile manufacturers. Although main equipment producer has determined all specifications for the product, it accepts the cheaper production methods which produce all same specificatipons with innovative approach. When compared with low pressured die casting method, high pressured wheel manufacturing method has been found to provide added value to the main equipment producers and thanks to this, it is thought that high pressured wheel manufacturing shall nring the competition to the compounded wheel sector. There have been studied simulations on MagmaSoft 5.4. simulation program to producer wheels bu high pressured die cansting method and the results of simulations have also corrected the idea of manufacturing wheel by high pressured casting method after improvements are done.

1. Giriş

Otomobil üreticileri güvenlik ve konfordan ödün vermeden az yakıt tüketen araçlar geliştirmek için çalışmaktadır. Bu çalışmalarda alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metaller ön plana çıkmaktadır. Alüminyumun otomobil ana ve yan sanayi üreticileri

tarafından kullanımı, maliyet, işlenebilirlik, elektriksel iletkenlik, üretilebilirlik, estetik, korozyon direnci ve geri dönüşüm özelliklerinden dolayı her geçen yıl artmaktadır. Yolcu güvenliği için alüminyum ve alaşımları beklentileri karşılamakta, çarpışma anında enerji absorbe edebilen yüksek darbe emiş özelliğinden dolayı tercih edilmektedir [1].

Bu üstün özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları otomobil jant üretiminde tercih edilmekte ve kullanımı her

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): samedberker@gmail.com



geçen yıl artmaktadır. Yerli alüminyum alaşımlı jant üretimi 25 yıl önce yılda 20.000-25.000 adet iken, günümüzde yılda 9.000.000 adet kapasiteye ulaşmıştır [1].

Alüminyum çevrenin korunmasına destek olmaktadır. Petrol türevi yakıtlara bağımlı olan otomotiv sektöründe, CO₂ salınımının küresel ısınmaya etkisi göz önüne alındığında, otomobil ağırlıklarının azaltılması gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle otomotiv sektöründe alüminyum kullanımı artmış ve otomobil başına alüminyum kullanımı yıllara göre lineer artış göstermiştir. Günümüzde ağırlık azaltmak amacı ile Al-Si alaşımları otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlı jantlar için ötektik altında bulunan Al-Si alaşımları kullanılmaktadır. A356 olarak bilinen AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları en yaygın kullanılan otomobil jant alaşımlarıdır. AlSi9Mg alaşımının kullanım oranı düşük olsada otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır [2,3].

Mühendislik problemleri barındıran jant üretim prosesi inovatif yaklaşımlara açıktır. Araç sayısının artış gösterdiği günümüz piyasasında rekabetin yolu yenilikçi çözümlerden geçmektedir. Rekabet, kaliteli ürünü en hızlı şekilde, mümkün olan en ucuza üretmeyi gerektir [1].

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde, alçak basınçlı döküm yöntemine göre yüksek kontrollü katılaşma yönlendirmesinin yapmak mümkündür. Yüksek basınçlı döküm yöntemi kontrollü katılaşma ile üretim süresinin azalması, gelişmiş mikroyapısal özelliklerle ısıl işlem maliyetlerinin ortadan kalkması açısından otomobil jant üretiminde avantaj sağlayacaktır.

2. Alüminyum Alaşımlı Jantların Üretimi

Jantlar, tek parça olarak üretilen tubeless otomobil jantlarından, 6 parçalı 25" çapında ağır iş makinalarının jantlarına kadar farklı formlarda ve farklı özellikleri karşılayacak şekilde dövme, sıvama (flow-forming) ve alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir. [4].

Bu çalışmada otomobil ve hafif araç jantlarının üretiminde tercih edilen alçak basınçlı döküm yöntemi incelenmiştir.

Yüksek yüzey özellikleri ve yüksek mekanik dayanım ihtiyaçları nedeni ile eski zamanlarda tercih edilen gravite döküm yöntemi yerini alçak basınçlı döküm yöntemine bırakmıştır. Alçak basınçlı döküm yönteminde sıvı metal, hava ile temas etmediği için temiz sıvı metal ile döküm gerçekleştirilir [1].

Tek parçalı jant üretimi tasarım ve ürün geliştirme ile başlamaktadır. Daha sonra simülasyonlarla üretilecek ürünün iyileştirme çalışmaları yapılır. Jantın fiziksel özellikleri tamamıyla belirlendikten sonra dökümü için kalıp imalat süreci başlatılır [4].

Alçak basınçlı döküm yönteminde master alaşımlı alüminyum külçelere, giriş kalite bölümünde şartname gereği, mikroyapı kontrolü, görsel kontrol ve kimyasal kompozisyon analizi yapılır. Şartname şartlarını sağlayan külçe partisi ergitilmek üzere gerekli birimlerde bekletilir [1].

Ergitme ile hammadde hazırlığı başlar. %100 master alaşımlı külçelerin ergitilmesi ideal durum olsada üretimin gerekliliklerini yerine getirecek şekilde külçe ve yolluk belli oranlarda birlikte ergitilerek maliyet azaltma ve geri dönüşüm sağlanır [1].

Gaz almadan önce tane inceltme, modifikasyon ve alaşımlandırma için gerekli ilaveler yapılır. Gaz alma ünitesinde, ergiyük içinde bulunan oksit, yabancı partiküller ve H₂ sıvı metalin yüzeyine çıkartılır. Azot gazı, farklı tepkimeler ile hidrojenleri mekanik olarak yüzeye yapıştırıp, ametalik olarak yukarı çıkarır [1].

Sıvı metal dozaj ocağına aktarıldıktan sonra döküm başlar. Sıvı metal aşağıdan yukarıya doğru, kalıp içine alçak basınç ile doldurulur. Döküm kalıbının büyüklüğüne göre uygulanan basınç değişkenlik gösterebilir ortalama 1 Bar civarındadır. Kalıp doldurulduktan sonra basınç düşürülür ve katılaşma gerçekleşir [1,2].

Katılaşmayı yönlendirmek için kalıp içine soğutma kanalları yerleştirilmektedir. Alçak basınçlı dökümde hava ile soğutma uygulanan kalıplarda döküm yönüne ters olacak şekilde katılaşma gerçekleşir. Basınçlı döküm yönteminin başarısı ısı transferine ve kalıp sıcaklığına bağlıdır. Metal kalıpların et kalınlıklarının belirlenmesi, gerektiğinde soğutma kanallarının tasarlanması gerekmektedir. Kalıp maliyetleri pahalı olduğundan, bu yöntem seri üretim için ekonomik bir yöntemdir [1,4].

İnce kesitli ve kompleks geometriye sahip otomobil jantlarında sıvı metalin katılaşmadan kalıbı doldurabilmesi için kaplama uygulanmaktadır. Kaplama, bağlayıcı, seramik tanecikler ve sudan oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve ısı transferi sıvı metalin kalıba dolmasını etkilemektedir. Bu kaplamalar sıvı metalin katılaşmadan tüm kalıbı doldurmasına yardımcı olurlar. Kaplama malzemesi sıvı metalin, kalıp çeliği ile direk temasını keserek kalıp ömrünü uzatmaktadır. Yapışma problemlerini çözerek, parçanın kalıp yüzeyinden deforme olmadan çıkmasını sağlamaktadır. Kaplama ömrü tamamlanan kalıplar döküm tezgahından alınır, kumlama ile temizlenir ve tekrardan kaplanırlar [2].

Katılaşma tamamlandıktan sonra sıcak parça döküm kalıbından robot ile çıkartılır. Sonraki proseslerde tezgah ve operatöre zarar vermemesi için su soğutma tanklarına daldırılarak sıcaklığı düşürülür. Brüt jant üzerinde oluşan çapaklar temizlenir ve X-Ray kontrolüne gönderilir.

Malzeme içinde oluşabilecek süreksizlikleri (döküm boşluklarını) analiz etmek için brüt jantlar, müşteri şartnamelerine bağlı kalarak X-Ray kontrolünden geçirilir. Jant emniyet parçası olduğu için %100 X-Ray kontrol mecburiyeti vardır. X-ray kontrolünden sonra, üretilen ürüne göre ısıtma işleme veya talaşlı imalata gönderilir [1].

Isıl işlem uygulanacak alüminyum alaşımlı jantlara, T6 yapay yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanır. T6 yapay yaşlandırma işlemi sırasıyla çözeltiye alma (homojen bir katı çözelti), su verme, yaşlandırma (difüzyon ve zaman) adımlarından oluşmaktadır [1].

Isıl işlemi tamamlanan veya dökümden direkt talaşlı imalata gelen brüt jantlara göbek boşaltma, iç-dış çap delik ve offset kenarlarının işlenmesi, kapak ve stil işlenmesi, bijon ve subap deliklerinin açılması işlemleri uygulanmaktadır. Ön yüzey işlemeli jantlar, sıvı boya ve vernik uygulamalarından sonra, talaşlı imalat bölümüne tekrar gönderilir ve yüzeyleri işlenir. İşlenen yüzeyler korunarak vernik atılması için tekrar boya atölyesine gönderilir [1].

Kaçak kontrolü, güvenlik karakteristiği olduğu için %100 yapılmaktadır. Şartnamelerde belirlenen sızdırma değerinin altında kaçak veren jantlar onay olarak balans kontrol ünitesine gönderilir. Janta özel, tanımlı kontrol ağırlığı janta takılır ve döndürülür. Jantın merkezden kaçıklık değeri ve bölgesi ölçülerek tezgaha kayıt edilir. Şartnamelerde belirlenen değerlerin dışında ise iskarta olarak ayrılır. Balans ünitesinde onay olan jantların tesviye işleminde jantın üzerinde kalan çapaklar, yüzey bozukları ve keskin köşeler giderilir [1].

Boya sürecinde amaç, janta estetik görünüm kazandırmak, korozif etkilerinden korumak ve jant ömrünü özel kaplamalar ile uzatmaktır. Boya atölyesinde jantlar sırasıyla yüzey hazırlama, toz boya, sıvı boya ve vernik ünitelerinde işlem görürler. Yüzey hazırlama ünitesinde, boya sürecinde görsel olarak uygunsuzluklar oluşmaması için çeşitli banyolardan geçirilerek yüzey hazırlama işlemi uygulanır. Toz boya tesisinde amaç sıvı boya öncesinde parça yüzeyini pürüzsüz hale getirmektir. Toz boyanın kürlenmesi için toz boya fırınında bekletilen jantlar, daha sonra soğutma tünellerine sevk edilir. Sıvı boya ünitesinde sıvı boya uygulanan jantlar, boya içindeki çözücülerin uçurulması için üniteye belli bir süre tutulmaktadır. Sonrasında vernik kabini son kat olan vernik uygulaması yapılır. Sıvı boyanın kürlenmesi için sıvı boya fırınından ve son olarak soğutma tünellerinden geçirilerek bir jantın boya süreci tamamlanır [1].

Müşteri hata kataloğuna göre %100 görsel kontrole tabi tutulan jantlar, müşteri talebine göre paketlenerek, sevkiyata hazır halde ambara teslim edilir [1].

2.1. Jantlara Uygulanan Testler

Hangi üretim yöntemi ile üretilirse üretilsin jantların üzerinde oluşan gerilim kuvvetleri aynıdır. Jantlar hareket eden aracın seyrini, sürücü ve yolcuların can güvenliğini etkileyen temel otomobil bileşeni olduğu için kalite standartlarına ve şartnamelere bağlı kalarak çeşitli testlerden geçmektedir [5].

Mikroyapı analizi ISO/IEC 17025 standardında belirtildiği gibi yapılır. Jant üzerinde belirlenen metalurjik analiz bölgeleri lastik yüzeyi, feder, göbek, iç flanş ve dış flanş kesitleridir. İnceleme numuneleri 15 saniye süre ile dağlama çözeltisi içinde tutulur. Referans görüntülerle karşılaştırılarak dendrit büyüklükleri, ötektik yapı, modifikasyon dereceleri, yüzeydeki döküm özellikleri incelenir. Mikroyapı içinde oksit ve çekme boşluklarına rastlanmamalıdır. Döküm sonrası yapıda ötektik silisyum lifsi yapıda olmalıdır. Isıl işlem sonrası, ötektik yapıda ki silisyum, küresel halde olmalıdır [1].

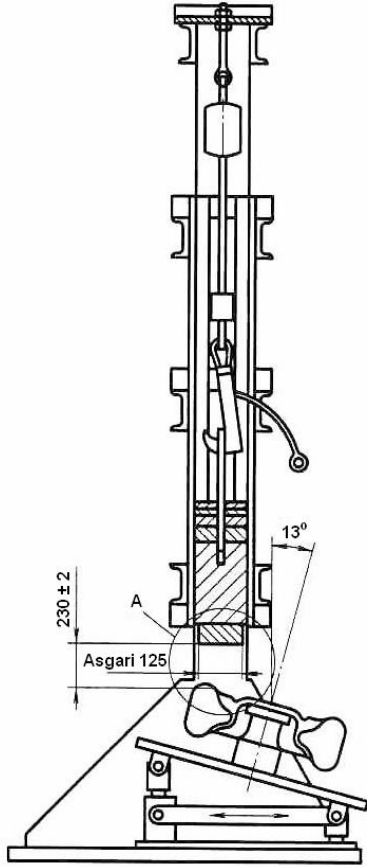
Üretilen jantın kimyasal kompozisyonu optik emisyon spektrometresi ile analiz edilmektedir [1].

Döküm yöntemi ile üretilen jantın Brinell sertlik ölçümü, ASTM E10 ve ISO 6506 standartlarına göre yapılır. Sertlik ölçümü, jant kesidi boyunca stil yüzeyi ve iç flanş üzerinden yapılır [1].

Darbe testi, jantın çalışma şartları altında bir engele çarptığı zaman kenar ve diğer hassas noktalarda kırılmaya karşı direncini kontrol etmek amacıyla yapılır. Jant ve lastik deney makinasında poyra bağlantılarına, darbe yükünün flanşa geleceği şekilde takılır.

Takılan lastik, jant üzerinde kullanılmak üzere en küçük anma kesit genişliğine sahip, radyal katlı, içsiz lastik olmalıdır. Şişirme basıncı, taşıt imalatçısı tarafından belirlenir. Çekiç, lastiğin üzerine ve jant çemberi flanşına 25 mm±1 denk gelecek şekilde olmalıdır. Jant spesifikasyonlarında belirtilen yük, jant çemberi flanşının en yüksek kısmının üstünde 230 mm±2'lik bir yüksekliğe kaldırılır ve düşmek üzere bırakılır [1].

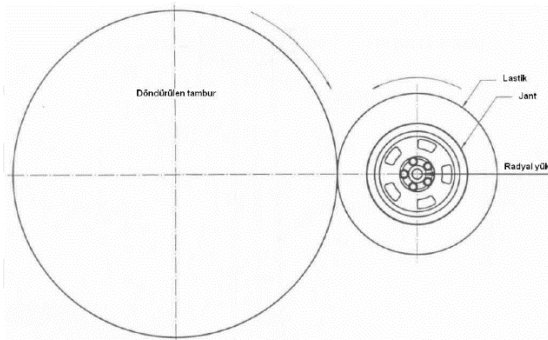
ISO 7141 standardına göre test sonucunda, jant yüzeyinden içeri doğru herhangi bir görünür kırılma yoksa ve deney tamamlandıktan 1 dakika içinde lastik basıncında herhangi bir azalma yoksa deney başarılı olarak kabul edilmelidir. Düşen ağırlık ile doğrudan temas nedeniyle oluşan kırılmalar ve çökmeler kabul edilebilir. Fakat jant merkezi kasnaktan ayrılır ise test başarısızdır. Sökülebilir jant çemberi veya ayrılabilen başka bileşeni olan jantlarda, kol veya havalandırma deliklerine yakın olan dişli bağlantılarda hasar oluşuyorsa jant yapılan deneyde başarısız olmuş kabul edilmelidir [1].



Şekil 1. Darbe testi düzeneği [1].

Dinamik radyal testinde, tambur üzerinde yuvarlanan bir jantın düz sürüş sırasında üzerinde oluşan gerilmeler simüle edilir.

Test sonucunda penetrant ile yapılan kontrolde jant üzerinde çatlak olmamalıdır. Jantın takma civata ve somunlarına uygulanan sıkma momenti başlangıç momentinden max. %30 az olmalıdır, fazlası olması durumunda test başarısız olarak nitelendirilir. Hava sızdırma olmamalıdır [5].

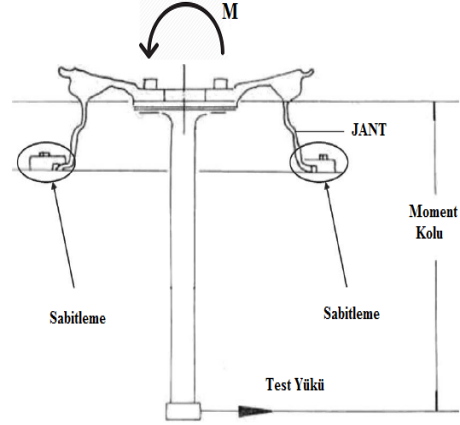


Şekil 2. Dinamik radyal test düzeneği [5].

Dinamik viraj testi viraj boyunca tekerlek üzerine etki eden kuvvetleri simüle etmek amacı ile yapılır. Sabit hızda döndürülen jantın göbek bağlantı yüzeyine sabit bir eğilme momenti uygulanarak jant üzerindeki etkileri incelenir.

Hızlandırılmış ömür testi olarak da bilinir. Müşteri şartnamelerinde, uygulanan moment değerine karşılık jantın çatlaksız olarak tamamlaması gereken tur sayısı, yani ömür belirtilmiştir. Ana ekipman üreticisi, bu yaklaşım ile jantın toplam ömür beklentisini karşıladığını garanti etmektedir [1].

Test sonucunda, penetrant ile yapılan kontrolde jant üzerinde çatlak olmamalıdır. Jantın takma civata ve somunlarına uygulanan başlangıç sıkma momentinde max. %30 kayıp olmalıdır. Fazla kayıp olması durumunda test başarısız olarak nitelendirilir [1].



Şekil 3. Dinamik viraj test düzeneği [1].

Korozyon direnci, ISO 9227 standardına göre tuz püskürtme testi ile belirlenir. Jantın normal kullanımı sırasındaki durumları simüle etmek için numuneye, çapraz çizik ve taş darbesi (ISO 565) ile hasar verilmelidir. Jant, deney düzeneği içine dik konumda yerleştirilir ve her 48 saatte bir jant 90° döndürülür. Korozyondan etkilenen (gizli yerler, vidalar, çinko veya kadmiyum tabanlar, alایش yalıtım kaplamaları, vb.) tüm bölgeler ölçülmelidir. 192 saat sonunda herhangi bir korozyon göstergesi olmamalıdır. 384 saat sonra jant işlevselliği, montaj aksamı ve lastik topuk yatağı korozyondan olumsuz etkilenmemelidir. Bu durum, dinamik viraj deneyi veya dinamik radyal deneyi ile doğrulanmalıdır [5].

Çekme testi için numuneler DIN 50125 standardına göre hazırlanır. Janttan çekme numunesi için alınması gereken referans bölgeleri müşteriler belirlemektedir. Genelde feder, dış flanş ve iç flanş bölgelerinden çekme numunesi hazırlanmaktadır. Elde edilen akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve kopma uzaması verileri malzemeye ait, dayanımı temsil eden temel verileri sağlamaktadır [1].

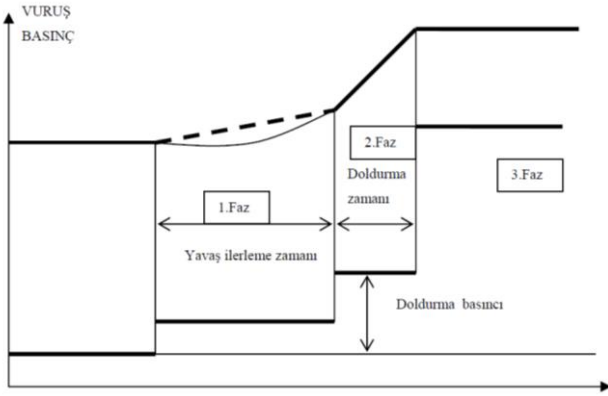
3. Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi

Ergimiş metalin, yüksek hız ve yüksek basınç altında, metal kalıba enjekte edilmesine dayalı, hidrolik ve pnömatik enerji kaynaklarından yararlanan döküm yöntemidir [6].

Otomotiv sektöründe hafif olmasından dolayı alüminyum kullanımının gereksinimleri karmaşıktır ve bu ihtiyacı basınçlı döküm yöntemi karşılamaktadır. Seri üretim için yüksek kalitede ve düşük maliyetle parça üretmenin dökümüne olanak vermektedir. [7, 8]

Yüksek basınçlı döküm tezgahlarında tezgahın fonksiyonu iki kalıp yarımını birbirine karşı sıkı tutmak, ergimiş metalin basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilmesine izin vermek ve dökülmüş parçayı çıkarmak için kalıbı açmaktır [6,10].

Yüksek basınçlı döküm yönteminde döküm prosesi 3 faz halinde alt basamaklara ayrılmaktadır. Birinci fazda, sıvı metal, parçanın figürü olan kalıp boşluğunun yolluk girişine kadar yavaş bir hızla itilir. İkinci fazda sıvı metal yüksek hız ile kısa sürede kalıp gözüne doldurulur. Üçüncü fazda, yüksek basınç altında katılma sağlanır [9,10].



Şekil 4. Yüksek basınçlı dökümde basınç profili [9].

Basınçlı döküm kalıpları hareketli ve sabit olmak üzere iki yarımından oluşur. İki kalıp yarımı sıcak iş takım çeliklerinden üretilmektedir. Kalıplarda sabit veya hareketli maçalar sıkça kullanılmaktadır. Eğer sabit maça kullanılıyorsa, maçanın eksen kalıbın açma eksenine paralel olmak zorundadır. Hareketli maçalar ise genellikle kalıp ayırım hattına paralel olacak şekilde, bazen de açılı olacak şekilde tasarlanırlar. Talaşlı işlemlerden sonra kalıp gravürünü oluşturan parçalar, sertleştirme ve tavlama işlemleri ile yüksek sertliğe sahip olurlar. Basınçlı döküm kalıplarının ergimiş metalle direkt temas etmeyen bileşenlerinin yapımında ise genellikle orta karbonlu çelikler kullanılır [7].

Enjeksiyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden biri kalıbın ısı iletkenliğidir. Dökülen alaşım ne olursa olsun kalıbın ısı iletkenliği sabittir. Fakat kalıbı yağlamak için kullanılan yağ veya gres ısı iletimini etkileyerek iletkenliği azalttığı veya arttırdığı için kalıp performansını olumlu yada olumsuz etkileyen bir parametredir [6].

Basınçlı döküm tekniğinde en önemli işlerden biri de kalıbın yağlanmasıdır. Yağlama maddesinin en önemli fonksiyonu döküm yüzeyi ile kalıp boşluğunun iç yüzeyi arasında ince bir yağ filmi meydana getirerek ergimiş

alaşımın kalıp boşluğu yüzeyini ertitip demir bileşikleri meydana getirmesini önlemektir. Aksi halde metal alaşımlarının (demir-çinko, demir-alüminyum ve diğerleri) etkisi altında kalıp kısa zamanda hasarlanarak kullanılmaz hale gelebilir [6].

4. Tasarım Doğrulama ve Simülasyon Çalışmaları

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı otomobil jant üretimi araştırmalarında ilk olarak MagmaSoft 5.4. simülasyon programı ile dökülebilirlik ve tasarımsal doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Jant dökümü için seçilen alüminyum alaşımı AlSi9Cu3, döküm sıcaklığı 670°C olarak ayarlanmıştır.

Kalıp malzemesi X40CrMoV51 seçilip, kalıp sıcaklığı yağ ile kontrol edilmek üzere 180°C'ye ayarlanmıştır.

Enjeksiyon piston malzemesi Ø80mm CuCoBe seçilip, piston sıcaklığı su ile kontrol edilmek üzere 25°C'ye ayarlanmıştır.

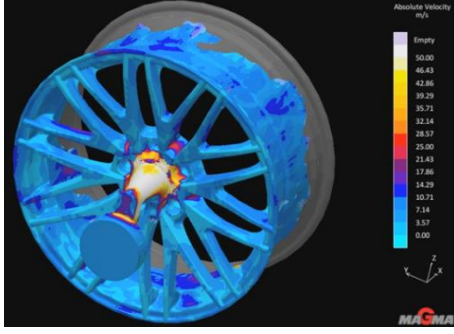
Döküm öncesi kalıp yağlama işlemi 8 saniye yağlama, 8 saniye hava üfleme olacak şekilde toplamda 16 saniye ayarlanmıştır.

Enjeksiyon hız profili ayarlarına bakıldığı zaman, 1.faz hızı artan ivmelenme ile max. 0.2 m/s, ikinci faz hızı 4.0 m/s hıza ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Katılma sırasında uygulanacak spesifik basınç ise 800-1000 bar aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır.

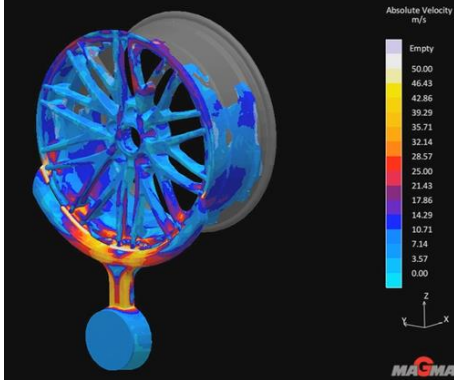
14" otomobil jantının, aynı döküm parametreleri ile farklı yolluk tasarımları ve farklı kalıp tasarımlarından elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Velocity sonucu sıvı metalin kalıp boşluğuna dolarken, hız değerlerini ve akış rejimini gösteren sonuçtur. Yüksek hız, sıvı metalin akış rejimini bozabilir. Bozulan akış rejimi türbülanslı akışa neden olabilir. Bu durum kalıp içinde sıkışan hava basıncının artışına ve hava sıkışmasından kaynaklanan döküm boşluklarının oluşumuna sebep olabilir.

Çalışmada farklı yolluk tasarımları ile parça dolumu incelenmiştir. Sıvı metalin göbek bölgesinden ve flanş bölgesinden giriş yapacağı iki farklı yolluk tasarlanmıştır. Şekil 5.'te görüldüğü gibi sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında parçanın homojen ve laminer akış rejimi ile dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.'da görüldüğü gibi sıvı metalin, flanş bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında türbülanslı akış rejimi ile parçanın düzensiz şekilde dolduğu ve kalıp genelinde değişken hızların olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle nihai tasarımda sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımı kullanılmaya karar verilmiştir.

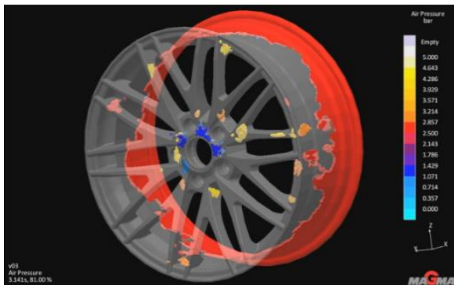


Şekil 5. Göbek bölgesi yolluk tasarımı.

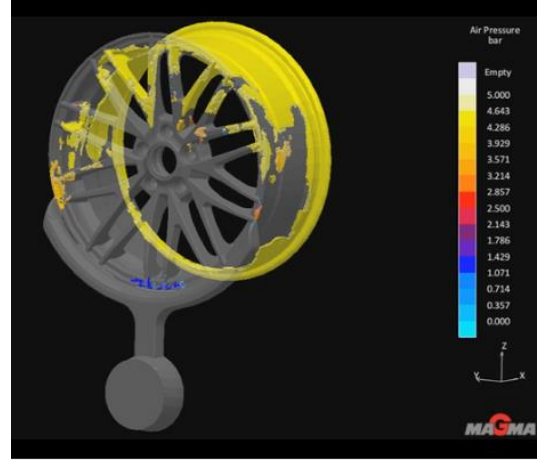


Şekil 6. Flanş bölgesi yolluk tasarımı.

Air pressure sonucu sıvı metalin kalıp boşluğunda ve sıvı metal içinde sıkışan havayı incelememize yardımcı olmaktadır. Hava sıkışmasının neden olacağı poroziteler bu sonuçta analiz edilebilir. İki farklı yolluk tasarımı, parça içinde sıkışan hava basınçlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Şekil 7.'de sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında, kalıpta hava çıkış bölgelerinin olmaması ve vakum sisteminin aktif olmadığı göz önünde bulundurulduğunda sıkışan hava basıncının 5 bar'ı geçmediği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda sıvı metalin önünde süpürdüğü havanın homojen olarak kalıbın son noktasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen hava sıkışma sonuçları sıvı metalin göbek bölgesinden dolmuş olduğu yolluk tasarımını doğrulamıştır.

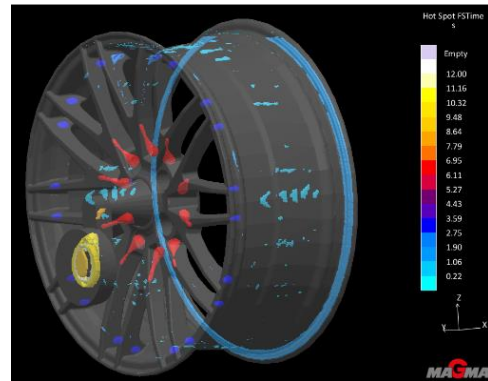


Şekil 7. Göbek bölgesi yolluk tasarımı ile hava sıkışması sonucu.



Şekil 8. Flanş bölgesi yolluk tasarımı ile hava sıkışması sonucu.

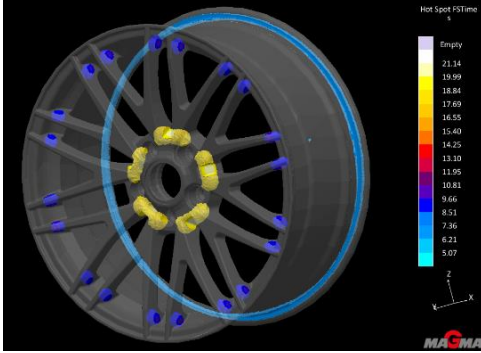
HotSpot FS time sonucu sıcak kalan bölgelerde ne kadar süre daha sıvı metal ile besleme ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Sıvı metal besleme ihtiyacı olan bölgelerde porozite oluşma ihtimali vardır. Prosesin kısıtlamalarından dolayı sıvı metal ile besleme süresinin azaldığı durumlarda soğutma kanallarının tasarımı ön plana çıkmaktadır. Kalıp tasarımlarında soğutma kanallarının devreye girmesiyle katılaşma yönlendirilerek porozite oluşum yok edilmeye çalışılmıştır. Şekil 9. soğutma kanallarının çalışmadığı durumda, katılaşmada sıcak kalan bölgeleri göstermiştir. Şekil 9.'dan anlaşıldığı üzere soğutma kanallarının olmadığı durumda jantın çeşitli bölgelerinde sıvı metal besleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır ancak yolluğun katılaşması ile sıcak kalan bu bölgelere sıvı metal besleme imkanı olmadığı için soğutma kanalları ile katılaşmanın yönlendirilmesi gerekmektedir. Soğutma kanallarından soğutma sıvısı geçirilerek bu bölgelerde katılaşmayı yönlendirmek ve hızlı katılaşma sağlamak hedeflenmiştir.



Şekil 9. Soğutma kanallarının çalıştırılmadığı tasarımda Hot Spot FS time sonucu.

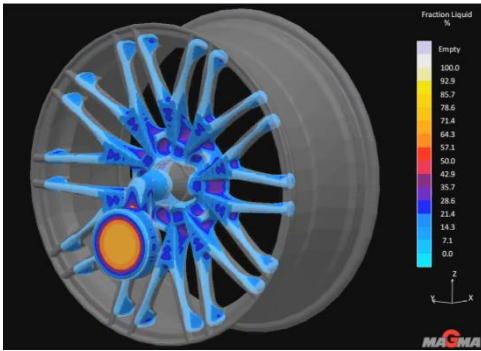
Ø16mm'lik soğutma kanallarının kalıp içine tasarlandıktan sonra, soğutma sıvısı olarak 25°C'de, 12 litre/dakika su geçirilip katılaşmanın yönlendirildiği simülasyon sonuçları şekil 10.'da gösterilmiştir. Şekil 9.'da

dağınık olan, sıcak ve sıvı metal besleme ihtiyacı olan bölgeler şekil 10.'da görüldüğü gibi belirli bölgelere toplanarak katılaşma, tasarlanan soğutma kanalları ile yönlendirilmiştir. Soğutma kanalları çalıştırdıktan sonra göbek ve flanş bölgelerinde sıcak kalan bölgelere jetcooling sistemleri ile 25°C'de, 20 bar basınçlı su ile ekstra jet soğutma kanalları tasarlanarak sonraki çalışmalarda katılaşmanın ileri seviyede yönlendirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 10. Soğutma kanallarının çalıştırıldığı tasarımda Hot Spot FS time sonucu.

Fraction liquid sonucu parçanın katılaşma sırasında sıvı kalan bölgelerinin oranını göstermektedir. 3. faz besleme etkisinin sona erdiği noktayı ifade etmektedir. Yolluk girişleri katılaştıktan sonra 3. fazda uygulanan basınç parçaya iletilmemektedir. Yüksek oranda sıvı kalan bölgeler için soğutma kanallarında optimizasyon çalışmaları yapmak gerekmektedir.

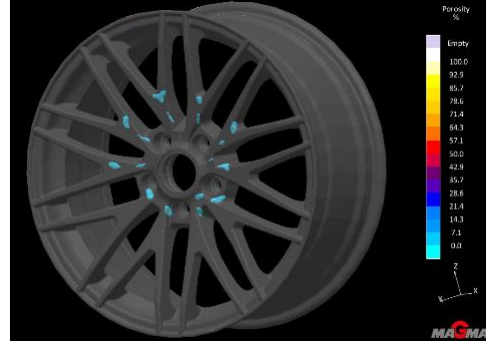


Şekil 11. Fraction liquid sonucu.

Şekil 11.'de yolluk girişi katılaştıktan sonra feder bölgesinde sıvı bölgelerin kalması, bu bölgelerde besleme yetersizliğinden kaynaklı çekinti boşluklarının oluşma ihtimalini göstermiştir. Ancak jet soğutma sistemleri ile hızlı katılaşma kontrol edilerek porozite oluşumlarının giderilmesi öngörülmüştür.

Porosity sonuçları katılaşma sonrasında parçada karşılaşılabilecek döküm boşluklarını göstermektedir. Şekil 12.'de görüldüğü gibi feder bölgesi et kalınlığı fazla olmasından dolayı döküm boşlukları ile karşılaşılabilecek

bölgedir. Porosity sonuçları, fraction liquid ve hotspot FS time sonuçlarını doğrulamaktadır. Feder bölgesinde parça tasarımı ve kalıp tasarımı çalışmalarına devam etmeye karar verilmiştir.



Şekil 12. Porosity sonucu.

5. Sonuçlar

Alçak basınçlı döküm yöntemi ile dakikalar mertebesinde dökülen jantlar, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile saniyeler mertebesinde dökülerek seri üretime hız kazandıracığı için ana ekipman üreticileri tarafından kabul göreceği düşünülmüştür.

MagmaSoft 5.4. simülasyon sonuçlarına göre başarılı bir kalıp tasarımı yapıldığı takdirde yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminin mümkün olduğuna karar verilmiştir.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimi, alçak basınçlı döküm yönteminden daha hızlı katılaşma sağlayacaktır. Dolayısıyla dökümden sonra ısıl işlem uygulamadan aynı dayanım özellikleri elde edilerek enerji maliyetlerinde avantaj sağlanacağı düşünülmüştür.

Alçak basınçlı döküm yönteminde soğutma kanallarının sıvı geçirilememektedir. Soğutucu kanallardan farklı karakterlerde sıvı geçirilerek hızlı katılaşmanın yüksek basınçlı döküm yönteminde uygulanabilir olması katılaşma sürecine ve ürün özelliklerine yeni bir boyut kazandıracığı düşünülmüştür.

Kalıp dolum hızının yüksek olmasından dolayı alçak basınçta uygulanan kalıp kaplama işlemine gerek kalmayacağı için yüksek basınçlı döküm yönteminin üretim açısından avantajlar sağlayacağı düşünülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmada desteklerini esirgemedikleri için Kırpart Otomotiv Parçaları San. ve A.Ş. ailesine teşekkür ederiz.

Kaynaklar



- [1] Tarkun D., 2015, AlSi7Mg T6, AlSi7Mg ve AlSi11Mg Alaşımlarının Binek Araç Jant Malzemesi

- Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Topçuoğlu Ö.Y., Çe Ö.B., Aybarç U., Keşkiç M., 2014, Alçak Basınç Döküm Prosesinde Kullanılan Kalıp Kaplama Malzemesinin Metal Akışkanlığına Etkisi, 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, İstanbul.
- [3] Kurban A.F., Çukur A., Dönmez A., Kaba M., 2017, Tane İnceltme İşleminin İyileştirilmesi ve Alçak Basınçlı Döküm Sistemiyle AlSi5Mg0.3 Alaşımli Jant Üretimi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [4] Oytaç M., 2006, Türkiye Jant Sanayi ve Jant Sanayinde Kullanılan Kalıp Çelikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [5] Şirin U., 2017, Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantının Dinamik Testinin Modellenmesi ve Doğrulama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [6] Duruk B., 2006, Enjeksiyon Döküm Kalıplarında CrN Uygulamasının Kalıp Ve Parça Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Vanlı A.S., 2017, Tüm Bileşenleriyle Basınçlı Döküm, Tüdoksad Akademi, Kocaeli, Türkiye, 24-25 Kasım.
- [8] Öksüz Ö. C., 2016, New Generation Tool Steel For Die Casting Dies:Isotrop, Kalıp Dünyası Dergisi.
- [9] Özçelik G., 2004, Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Mukavemet Hesapları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [10] Kenar O., 2019, Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi İle Üretilen Alüminyum Otomotiv Parçalarında Kalıp Tasarım Değişkenlerinin Parça Döküm Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.



İleri Sürümlü Yapay Sinir Ağları Eğitim ve Geliştirme Aracı Tasarımı

Design of Training and Development Tool for Feedforward Artificial Neural Networks

Serhat YILMAZ¹ , Sadettin Burak KILCI^{2,*} 

¹ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-9765-7225

² Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6583-8379

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 21/01/2020

Kabul Tarihi : 30/06/2020

Anahtar Kelimeler

Yapay Sinir Ağları
Mühendislik Eğitim Araçları
İleri Sürümlü Yapay Sinir Ağları
Geriye Yayılım Algoritması
Delphi® Programlama Dili

Research Paper

Received Date : 21/01/2020

Accepted Date : 30/06/2020

Keywords

Artificial Neural Networks
Engineering Educational Tools
Feedforward Artificial Neural Networks
Backpropagation Algorithm
Delphi Programming Language

Özet

Bu çalışmada, elektronik ve yazılım üzerine çalışan öğrencilere yapay sinir ağlarının (YSA) çalışma prensipleri hakkındaki bilgilerini pekiştirmeye yönelik bir eğitim yazılımı hazırlanmıştır. YSA parametrelerinin işlevleri ve nasıl tanımlandığı arayüz (GUI) programında uygulamalı olarak gösterilmektedir. Program algoritması eğitim, sınamaya ve uygulama altyordamları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. YSA'na girilen Eğitim Çiftleri, istenen bir örüntüyü veya bilinen bir işlevi oluşturmaya yönelik giriş ve çıkış verilerini içermektedir. Buna karşılık YSA'nın her iterasyonda verdiği cevaplar gerek görsel gerekse sayısal olarak, istenen cevaba yaklaşılma aşamalarını öğrencilere göstererek ağırlık öğrenme sürecini pekiştirmelerini sağlamaktadır. Çalışmada bir örnek olarak sinüs işlevinin eğitim ve sınamaya aşamaları verilmiştir.

Abstract

In this study, an educational software has been prepared to enhance the knowledge of the processing principles on artificial neural networks (ANNs) to students who are working on electronics and software. The functions of the ANN parameters and how they are defined are shown in the interface program as applied. The program algorithm consists of three stages: Training, Testing and Implementation Subroutines. Training Couples entered in the ANN include input and output data to create a desired pattern or a known function. On the other hand, the responses of the ANN in each iteration enable the network to reinforce the learning process by showing the students the stages of approaching the desired answers both visually and numerically. In the study, the education and testing stages of a sinus function are given as an example.

1. Giriş

Yapay sinir ağları, canlılardaki sinir sisteminin matematiksel modelinden yola çıkılarak geliştirilmiş, genelleme amaçlı, belirli bir öğrenme performansını gösterebilen hesaplama sistemleridir. Nöronlar, YSA'nın öğrenen ve bu doğrultuda genelleme yapan bölgesini oluştururlar[1]. YSA işlem birimleri olan nöronlar, birbirlerine bağlanarak paralel bir biçimde çalışırlar. Nöronun matematiksel modeli 1943'te Mc Culloch ve Walter Pitts tarafından önerilmiştir ve temel bir nöron ağının bile prensipte bir matematik ya da mantık problemini hesaplayabileceğini

göstermişlerdir [2,3]. YSA, genelleme özelliği ile klasik yöntemlerdeki ara adım ihtiyaçlarını ortadan kaldırdığı için, saklanması gereken işlenmiş veri hacmini önemli ölçüde azaltır [4]. Böylece, eğitilmiş bir YSA, eksik bilgiler ışığında oldukça tutarlı tahminler yapabilir. Kullandıkları nöron aktivasyon işlevleri eğrisel olduğu için YSA doğrusal olmayan sistemleri modellemeye oldukça uygundur [5]. YSA'nın işlem birimleri olan nöronlar, ağırlık genelleme yeteneğini oluşturmak için düzenlenmiştir. İşlem birimi düğümleri arasındaki bağlantı ağırlıklarının, istenen çıkışı verecek şekilde ayarlanmasına öğrenme adı verilir [6].

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): burakkilci1@gmail.com



Literatürde çeşitli YSA mimarileri yer almaktadır. En yaygın model, bu çalışmada da kullanılmış olan çok katmanlı ileri bildirimli algılayıcı (Multi Layered Perceptron-MLP) ağıdır. YSA, bulanık mantık, genetik algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu gibi yeni hesaplama teknikleri, işlemsel zekâ uygulamalarına temel oluşturmaktadır [11,12,13]. Günümüzde YSA çalışmaları, özellik eşleştirme kullanılarak yüzün kısıtlı bir parçasından kişi tanımadan [18], doğrusal olmayan sistemlerin uyarlanabilir kontrolüne [19], sağlık verilerindeki anomalilerin tespitine [20], yıllık en büyük su taşkınlarının tahminine [21] kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA konusunda öğrenim gören öğrencilerin; temel algoritmaları ve işleyişini uygulamalar üzerinde gözlemleyip yorumlayabilmelerini sağlamak için literatürde eğitim amaçlı pek çok çalışma yapılmıştır. YSA eğitimi ve araştırması için hazırlanan internet tabanlı bir geliştirme aracı, doğrudan erişilebilir arayüzü aracılığıyla farklı ağlar oluşturma ve analizini yapabileme imkânı vermektedir [14]. Bu çalışmada öğrenciler, istedikleri şekilde eğitim ve test verileri hazırlayıp kullanabilmekte ve parametreleri ayarlayabilmektedir. Bu parametrelerin YSA eğitim ve geliştirme kalitesini nasıl etkilediği gözlenerek, farklı örüntülerin eğitilme aşamaları üzerinde benzetim yapabilmektedir. Kullanıcılar, farklı fonksiyonları ve bunların YSA çıkışı üzerindeki etkilerini deneyebilmektedir. Benzer şekilde bir grup araştırmacı, GUI tabanlı kullanıcı dostu bir YSA modelleyicisi hazırlamışlardır [15]. Öğrenciler bu modelleyici aracılığıyla farklı YSA algoritmalarıyla deneyler yapıp kendi özgün modellerini oluşturabilmekte ve bunları anlaşılır bir şekilde takip edip yorumlayabilmektedir. Bir diğer çalışma gurubu, bir defada gerek yazılıma, gerek donanıma şeffaf bir şekilde erişilebilirlik sağlayabilen, web tabanlı olduğu için, indirme, kurulum veya herhangi bir kısıtlamaya gerek olmadan kolayca çalıştırılabilen çevrimiçi bir benzetim aracı hazırlamıştır [16]. Basit işlem birimlerini kolektif olarak kullanabilme imkânı vermesi, YSA'larını öğrenciler açısından ilgi çekici hale getirmektedir [17].

Bu çalışmada, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği öğrencilerine, üzerinde çeşitli parametreleri deneyerek YSA'nın çalışma ilkelerini öğrenebilecekleri ve yeni geliştirmeler yapabilecekleri açık kaynak kodlu bir eğitim uygulaması tasarlanmıştır. Uygulama, Delphi® 6.0 programlama dilinde [22] öğrencilerin kolay anlayabileceği kullanıcı dostu ve Türkçe bir arayüzde hazırlanmıştır. Açık kaynak kodu, verilen şablon üzerinde kullanıcıların özgün yazılımlar geliştirebilmelerine ve parametrelerin, ağı performansına etkilerini görsel olarak takip edebilmelerine imkân verecektir.

2. İleri Sürümlü Yapay Sinir Ağları

YSA; eksik bilgi koşulları altında bile, bir işlevi kabul edilebilir bir doğrulukta kestirebilme kapasitesine sahiptir [5]. Son yıllarda YSA, doğrusal olmayan pek çok sistemin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [23]. Sistemlerin girişleri ile çıkışları arasındaki doğrusal olmayan ilişki çıkarılabildiğinden YSA burada çok boyutlu bir interpolasyon işlevi görmektedir.

2.1.Yapay Sinir Hücresi Davranışı

Algılayıcı olarak ta bilinen yapay sinir hücresi (işlem birimi), biyolojik sinir hücresinin temel davranışını taklit eden basit bir matematiksel işlem birimidir. Kendisine gelen işaretleri toplar ve belli bir eşik (*thr*) seviyesini geçince çıkış üretir. Bir yapay sinir hücresi, ağırlıklı girişleri hesaplar. Her bir i_k girişini, ayarlanabilir w_k ağırlıklarını ve *thr* seviyesini göz önüne alarak toplar (Eş. 1).

$$T = \sum_{k=1}^n w_k i_k + thr \quad (1)$$

Bu ağırlıklı toplam, doğrusal olmayan bir işlevden geçirilir (Eş.2).

$$y = \varphi(T) = \frac{e^{\lambda T} - e^{-\lambda T}}{e^{\lambda T} + e^{-\lambda T}} = \tanh(\lambda T) \quad (2)$$

Burada φ ; genelde türevlenebilir ve monoton artan bir aktarım işlevi, λ ; üstel ifadenin katsayısıdır. [24].

2.2.YSA'nın Yapısı

Çok katmanlı bir algılayıcıda (Multi Layer Perceptron-MLP) ağ mimarisi katmanlar şeklinde düzenlenmiştir. Katmanlarda bulunan her bir işlem birimi, komşu katmandaki birimlerle belirli bir ağırlıklı (*w*) bağlantı kurar. Bu mimaride bilgi akışı önceki katmanlardan sonraki katmanlara doğrudur. Bu nedenle bütün bağlantılar ileri doğrudur [3].

2.3. Geriye Yayılım Algoritması

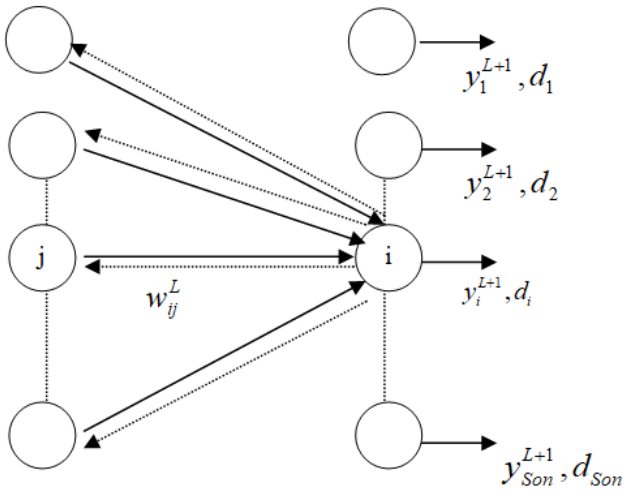
Genelleştirilmiş delta kuralı veya bilinen adıyla geriye yayılım algoritması diferansiyel zincir kuralına göre hata gradyen fonksiyonunu belirleyen bir yöntemdir [25]. Hata geriye yayma, çıkıştan ağırlıklara doğru zincir kuralına göre kısmi türevlerin alınmasıdır (Eş.8). Bu yöntemde göre ileri yöndeki hesaplamalarda yapılan çıkış hatasının

karesel bir işlevi olan maliyet işlevinin (J_r) etkisi çıkış birimlerinden başlayarak katman katman geriye doğru yansıtılır [3]. $\{x(n), d(n)\}_{n=1}^{Son}$ eğitim kümesi $x(n)$ giriş vektörü ve $d(n)$ istenen çıkış vektöründen oluşmaktadır. j . işlem biriminin çıkışı y_j ile temsil edilir. w_{ij} önceki katmandaki i . birimden sonraki katmandaki j . birime olan bağlantı ağırlığını temsil eder. Son katmandaki çıkışlar birden fazla ise çıkışların toplam hatası bir J_r maliyet işlevi ile temsil edilebilir (Eş.3). Çıkış katmanındaki hatanın geriye yayılımı Şekil 1'de verilmiştir. Burada L , ilgili işlem biriminin bulunduğu katman numarasını vermektedir [27];

y_i^{L+1} : $L+1$. katmandaki i . işlem biriminin çıkışı

w_{ij}^L : $L+1$. katmandaki i . işlem birimiyle k . katmandaki j . işlem birimini bağlayan ağırlık

T_i^{L+1} : $L+1$. katmandaki i . işlem biriminin toplam net girişi



Şekil 1. Çıkış katmanı için J_r 'nin geriye doğru yayılımı [26].

3. İleri Sürümlü YSA ile Eğitim ve Geliştirme Aracı Tasarımı

Kuramsal konular, özellikle matematik içeren kavramlar, geleneksel olarak sınıf ortamında verilmektedir. Ancak mühendislik gibi kuramsal bilgilerin teknik uygulamalara dönüştürülmesi gereken meslek alanlarında etkileşimli eğitim yazılımları gibi araçların da öğrenim sürecine katılması kuramsal bilgilerin içselleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Öğrenciler, etkileşimli grafik arayüzleri ile bir sistemdeki parametrelerin sonuçlara etkilerini anlık olarak görüp yorumlayabilmekte ve tasarıma müdahale edebilmektedir [27,28]. Bu kısımda öğrencilerin, verilen çeşitli giriş-çıkış giriş-çıkış örnekleri (örneğin bilinen bir fonksiyonun giriş-çıkış ilişkisi gibi) üzerinde eğitim, sınav ve uygulama algoritmalarını inceleyip

geliştirebilecekleri bir YSA program altyapısı hazırlanmıştır. Algoritmalar, nesne yönelimli bir programlama dili olan Borland Delphi.6.0'da gerçekleştirilmiştir. Her bir yordamın dayandığı kuramlar ve ardından bunların arayüzde oluşturduğu görsel sonuçlar verilmiştir. Tasarlanan program, YSA Eğitim ve Geliştirme Aracı (YSA-EGA) olarak adlandırılmıştır.

3.1. YSA-EGA'nin Eğitim Aşamaları

Eğitim sürecinde, öncelikle YSA-EGA'nın eğitimi için programda gerekli olan sabitler, değişkenler, yordamlar ve işlevler tanımlanır. Sabitler, sırasıyla eğitimin kaç iterasyon süreceği, programın sorunsuz çalışabilmesi için hesaplama yapacağı gizli katman sayısının bir limite sınırlandırılması gibi yapısal bilgileri içerir (Ek. A). YSA-EGA'nda ağırlık eğitimi için verilen giriş-çıkış çiftleri, programda eğitim çifti olarak adlandırılmıştır. Her iterasyon sonunda öğrenme adım büyüklüğü (η) yeniden ayarlanır. Maliyet fonksiyonu (J_r) bu ayarlama belirleyici rol oynar. Bu fonksiyondaki değişim negatif çıkarsa, adım büyüklüğündeki değişim belirlenen gamma (γ) değeri kadar olacaktır. Ama fonksiyondaki değişim pozitif olursa, yani maliyet fonksiyonu artıyorsa, η deki değişim belirlenen beta (β) değerinin negatif değeri ile γ nın çarpımının değeri kadar olacaktır. Sonuç negatif geleceği için değişim negatif olacak ve böylece η küçülecektir [26].

Örnek çiftlere ait beklenen (d_i) ve gerçek (y_i) çıkış değerlerinin oluşturduğu hatalar toplanır. J_r istediğimiz tolerans değerine düşmemiş ise veya belirlenen iterasyon sayısına ulaşılmadı ise eğitime bir sonraki iterasyon ile devam edilir. Her iterasyon sonunda J_r , eski J_r ile güncellenir. Bu sayede bir önceki iterasyon hatasıyla şimdiki karşılaştırılarak eğitim sonunda elde edilen hatada artış ya da azalma olup olmadığı belirlenir. Buna göre eğitim adımının yönü ve büyüklüğü yeniden hesaplanır. Çok girişli çok çıkışlı bir sistem için o anki bir örnek eğitim çifti (giriş-çıkış çifti) vektörüne ait hatalardan J_r bulunur (Eş. 3) [29].

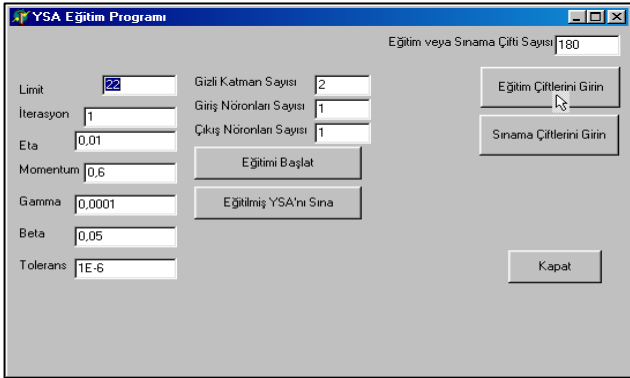
$$J_r = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_{k+1}} (d_i - y_i)^2 \quad (3)$$

Eğitim kümesine ait tüm örnek eğitim çiftlerinden elde ettiğimiz toplam hata ile "toplam küme hatası" belirlenir (Eş. 4).

$$E = \sum_{i=0}^M J_r(i) \quad (4)$$

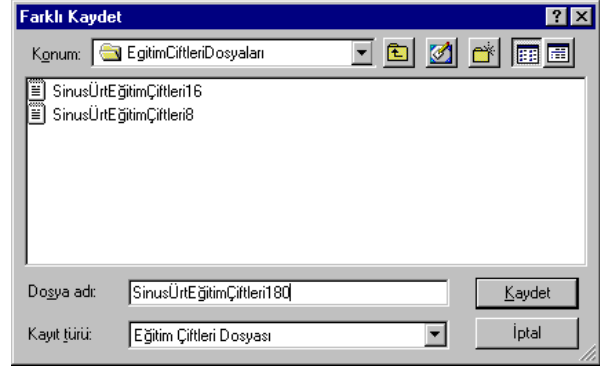
Burada M eğitim çifti sayısıdır. Küme hatası her iterasyonun sonunda eski küme hatasını güncellendikten

sonra sıfırlanır [29]. Katmanlarda işlem birimleri arasında bağlantı ağırlıkları Geriye Yayılım Algoritması ile güncellenir [26]. İleri yönde hesaplama; eğitim çiftleri kullanıcı tarafından bir dosyaya el ile girilebildiği gibi, benzetimi yapılacak işlev belli ise, program aracılığıyla istenen örnekleme aralığıyla otomatik olarak da oluşturulup dosyaya kaydedilebilir. Örneğin aşağıda bir sinüs işlevi, $[0, 2\pi]$ aralığında otomatik örneklenip kaydedilmiştir (Şekil.2). Program arayüzünde “Eğitim Çiftlerini Girin” düğmesi ile ağı eğitecek eğitim çiftlerini oluşturan yordam etkinleştirilir.



Şekil 2. YSA-EGA Eğitim Programı ana menüsü üzerinde eğitim çiftlerinin oluşturulması.

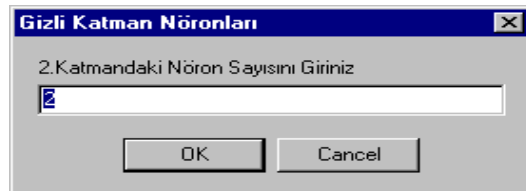
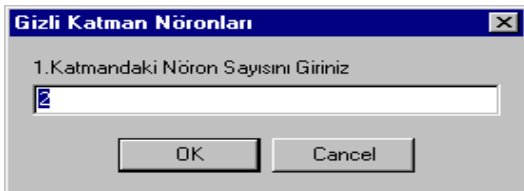
Bu örnek için 0 ile 360° arasında 180 adet eğitim çifti örnek alınmış, üretilmiş ve bir dosyaya kaydedilmiştir (Şekil.3).



Şekil 3. Eğitim çiftlerinin oluşturulması ve kaydedilmesi.

Elimizde eğitim çiftleri bulunduğunda, YSA-EGA eğitim programını çalıştırarak ileri yönde hesaplamalara geçebiliriz. Ağ parametrelerini ileri yönde hesaplayan altıyordama ait program kodları eklede Şekil.A.1'de verilmiştir.

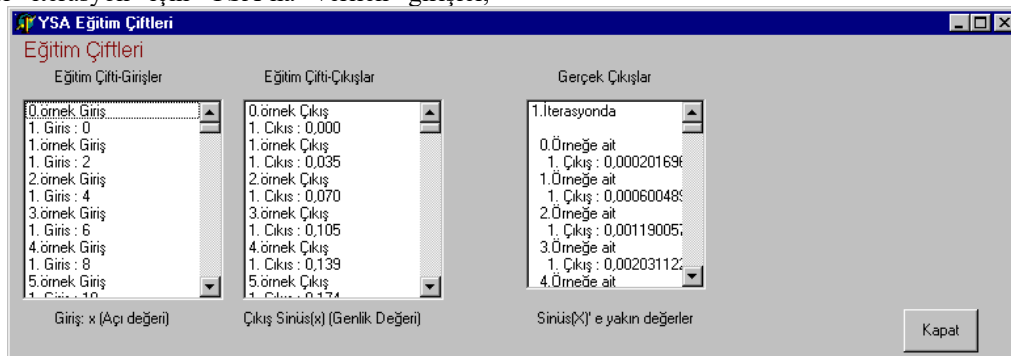
Bunun için algoritmada arayüze girilen “yapısal bilgiler”, ağ parametreleri olarak YSA-EGA'na yüklenir. YSA'na ait yapısal bilgilerde; Eğitim Çiftlerinin tutulduğu dosyanın adı, gizli katman sayısı, giriş ve çıkış işlem birimlerinin kaçar adet olacağı, aynı şekilde her bir gizli katmanda kaçar adet işlem birimi olacağı gibi, önceden tanımladığımız sabitler bulunur. Ağla ilgili yapısal bilgiler Şekil 3.'teki menüde görüldüğü gibi programa girilir ve program başlatılır. “Eğitim Çiftlerini Yükleme” yordamında; ilk katmandaki (x[i j]) ile bunlara karşılık son katmanda istenen (d[i j]) eğitim çiftlerinin tutulduğu dosyadan sırayla hafızaya yüklenir. Ardından gizli katmanlarda kaçar adet işlem birimi olacağı sırayla girilir (Şekil 4).



Şekil 4. Gizli Katman işlem birimi sayılarının programa girişi.

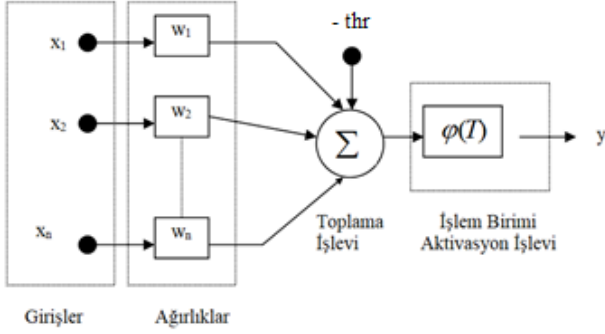
Eğitim çiftleri aynı sırayla “YSA Eğitim Çiftleri” Arayüzünde ekrana yazdırılır (Şekil.5) ve ağın eğitimi başlatılır. Her iterasyon için YSA'na verilen girişler,

üretmesini istediğimiz çıkışlar ve ağın ürettiği gerçek çıkışlar görülmektedir.



Şekil 5. YSA-EGA'na girilen eğitim çiftleri ve ağın verdiği cevaplar.

Örnekte, ağa sinüs işlevi öğretilmektedir (Şekil.5 ve Şekil.9). Girişler açı $[0, 2\pi]$, çıkışlar ise genliktir $[-1,1]$. Eş.1'i Şekil 6 için yeniden yorumlayacak olursak; YSA girişleri (x_1, x_2, \dots, x_n) , atanan ağırlıkları $(w_1, w_2 \dots w_n)$ göz önüne alarak ileri yönde bir toplama işlevine gelir (Eş. 5), toplama sonucu bir aktivasyon işlevinden geçirilerek (Eş. 6) çıkış (y) hesaplanır (Şekil.8) [26,31]. Programlama sırasında eşik seviyesinin başlangıç değeri negatif $(-thr)$ alınmıştır:



Şekil 6. Bir YSA işlem birimi [26].

$$T = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n - t = \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i \right) - thr \quad (5)$$

$$y = \varphi(T) \quad (6)$$

İşlem biriminin çıkışı, girişler, bağlantı ağırlıkları, eşik seviyesi ve doğrusal olmayan bir aktivasyon işlevinin bir işlevidir. Programda T ve y, sırasıyla Eş.5 ve Eş.6'dan

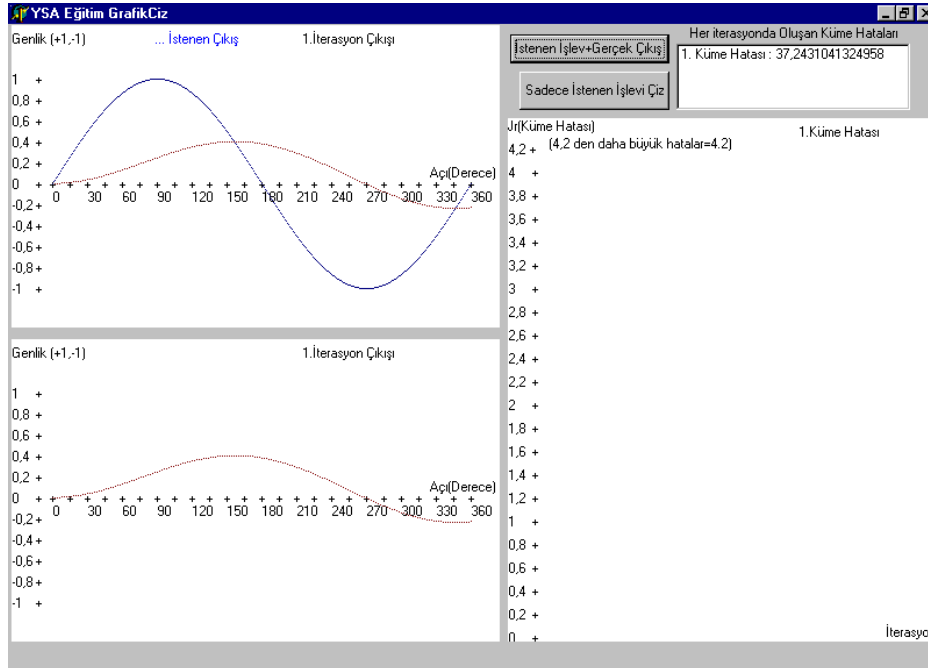
hesaplanmış ve doğrusal olmayan aktivasyon işlevi olarak gizli katmanlarda tanh kullanılmıştır (Eş. 2). YSA'da, tüm işlem birimleri için ileri yönde hesaplamalar yapılarak, gerçek çıkışlar bulunur (Şekil.5). İleri yönde hesaplamalar tamamlanınca, çıkış katmanındaki çıkışlar kullanıcı arayüzüne sayısal olarak yazdırılır (Şekil.5) ve grafiği çizdirilir (Şekil.7). Hatanın geriye yayılımı ve ağırlık parametrelerinin güncellenmesi için sırasıyla çıkış ve gizli katmanlara ait yerel gradyenler (delta değerleri) hesaplanır [25].w değerindeki değişim yerel gradyen güncelleme kuralına göre yapılır (Eş. 7).

$$\Delta w = -\eta \nabla_w J_r \quad (7)$$

Burada ∇_w : w'ya göre kısmi türevdir. $\nabla_w J_r$ zincir kuralına göre tanımlanır (Eş. 8) [25].

$$\frac{\partial J_r}{\partial w_{ij}^L} = \frac{\partial J_r}{\partial y_i^{L+1}} \frac{\partial y_i^{L+1}}{\partial T_i^{L+1}} \frac{\partial T_i^{L+1}}{\partial w_{ij}^L} \quad (8)$$

Eğitim adımları boyunca, ağın cevabında meydana gelen iyileşme grafiklerle gösterilmiştir. Sol üstteki grafikte, ağın öğrenmesini istediğimiz işlev, tek başına ya da son eğitimde ağın verdiği gerçek çıkışlarla birlikte çizilebilmektedir. Bu tercih; "Sadece İstenen İşlevi Çiz" düğmesi veya "İstenen İşlev+Gerçek Çıkış" düğmesinden biri seçilerek sağlanmaktadır (Şekil.7).



Şekil 7. YSA-EGA eğitim grafikleri (1. İterasyon).

Eş. 8'teki parameter güncelleme denklemi; gerekli türev sadeleştirmeleri ve momentum düzeltme faktörleri eklenerek programda işler hale getirilmiştir (Eş. 9). Eşitliğin en sağında, programda kullanılan değişkenler verilmiştir.

$$\Delta w_{ij}^L(k+1) = \mu \Delta w_{ij}^L(k) + \eta \delta_i^{L+1} y_j^L = \text{MomentA} + \text{DIFF} \quad (9)$$

w değerleri güncellendikçe (Eş. 10) [3] YSA-EGA; daha gerçekçi sonuçlar bulmaya başlayacak ve işleve ait örüntü giderek orijinaline benzeyecektir (Şekil.10).

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \Delta w_{ij}(k+1) \quad (10)$$

Parameter güncellenmesi ile ilgili altyordam eklerde Şekil.A.2'de verilmiştir. Sol altta ise gerçek çıkışlar eğitimin belirli adımlarında çizdirilerek ağıın cevabında iyileşme olup olmadığı gözlemlenmektedir. Eşitlik 9'daki delta artımları çıkış ve gizli katmanlarda şu şekilde olacaktır: Çıkış katmanındaki yerel gradyenler, Eş. 11 ve Eş. 12'deki delta artımları kullanılarak hesaplanır. Giriş katmanı için;

$$\delta_i^{L+1} = \frac{-\partial J_r}{\partial T_i^{L+1}} \quad (11)$$

Çıkış katmanı için ;

$$\delta_i^{L+1} = (d_i - y_i^{L+1}) \phi'(T_i^{L+1}) \quad (12)$$

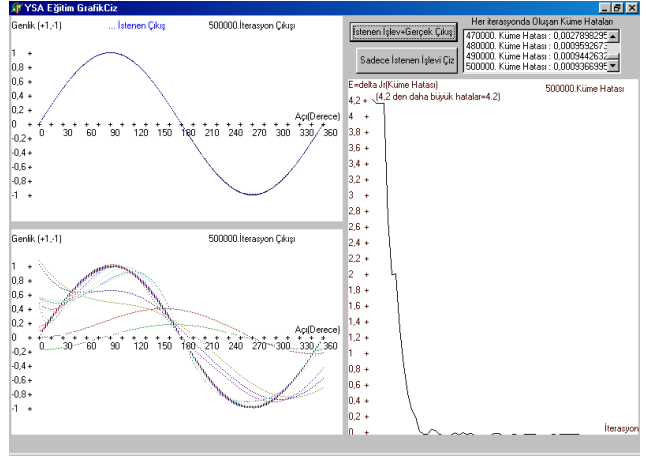
Gizli katman için ise parameter güncelleme Eş. 13 ile yapılmaktadır [26] ;

$$\delta_i^{L+1} = \left(- \sum_{h=1}^{n_{L+2}} \delta_h^{L+2} w_{hi}^{L+1} \right) \phi'(T_i^{L+1}) \quad (13)$$

Burada n; katmandaki işlem birimi sayısını ifade etmektedir. Delta (δ) artımlarının güncellenmesi ile ilgili altyordam eklerde Şekil A.3'te verilmiştir. Eşitlik 9'da kullanılarak tüm ağırlıklar güncellenir [25]. Delta değerlerinin Güncellenmiş ağırlıklar, istenen örüntüye gittikçe daha yakın çıkışlar sağlamaya başlar. Sağ tarafta, küme hatasının her iterasyonda ne kadar değiştiği görülmektedir. Ağırlık matrisi W en uygun değerlerine ulaşmaya başlayınca, hata da sifıra oldukça yaklaşmaktadır (Şekil. 8).

Öğrenme süreci tamamlandıktan sonra veya küme hatası son iterasyon bitmeden istenen tolerans değerine ulaşırsa, eğitilmiş ağı parametreleri saklanmalıdır. Eğitilmiş ağı parametreleri, kullanıcının açtığında rahat biçimde okuyup bilgi alabilmesi için açıklamalı bir rapor şeklinde

düzenlenmiş olarak bir dosyaya kaydedilir. Bu dosya sadece okuyucu için hazırlanmıştır. Daha sonra aynı parametreler, YSA-EGA denetim programı tarafından yüklenebilecek formatta, sıralı olarak ek bir dosyaya daha kaydedilir.



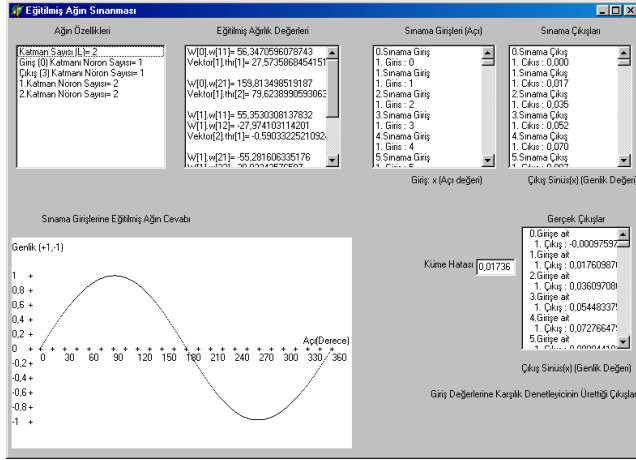
Şekil 8. YSA-EGA eğitim grafikleri (500 000. İterasyon).

3.2. Eğitilmiş YSA-EGA Parametrelerinin Sınanması

Eğitim sonunda YSA'nın başarımını gözlemlemek için test verileri ağı girilir. Bu test verileri, eğitim sırasında kullanılan eğitim çiftleri dışında örneklerin bulunduğu, sınamaya çiftleri adını verdiğimiz bir dizi veridir.

Sınama çiftleri bir sistemden alınabildiği gibi program tarafından da üretilebilir. Bunun için, Şekil.2'deki "Sınama Çiftlerini Girin" düğmesi altında farklı kodlamalar geliştirilebilir. Bu kodlamalar, örüntüsü bulunmak istenen işleve ait verileri, işlevin kendinden üretmeye yönelik de olabilir. Bu örneğimizde; seçilen düğmenin altındaki altyordam, sinüs işlevine $[0-2\pi]$ aralığında eşit aralıklı 360 farklı açı değeri girer. Buna karşılık, aynı sayıda genlik değeri elde eder ve bunları sınamaya çifti olarak dosyaya kaydeder. Sınama altyordamı şu şekilde çalıştırılır; daha önce eğitilmiş olan ağı parametrelerini yüklenir, istenen sınamaya verileri ile ağı test edilir (Şekil.2). Bu örnekte YSA, sınamaya verilerinin yarısını bilmemektedir. Ağıın girişler için doğru çıkışları sağlayıp sağlayamadığını gözler. Öncelikle sınanacak YSA-EGA parametreleri, dosyadan yüklenir. Ardından önceden kaydedilmiş sınamaya çiftleri yüklenir ve arayüzde gösterilir (Şekil.21): Giriş Katmanı ve Çıkış Katmanındaki işlem birimlerinde sınamaya için kullanılacak değerler sırayla hafızaya yüklenir. Programın sınamaya arayüzünde, kullandığımız YSA'na ait yapısal bilgiler, eğitilmiş parametrelerin değerleri rapor edilir. Sınama girişleri, bu girişlere karşılık olması istenen çıkışlar, ağıın gerçek çıkışları ve istenen çıkışlarla gerçek çıkışlar arasındaki toplam küme hatası (E) ekrana

yazdırılır. Burada E , YSA'nın nesnel bir başarımlı ölçütü olarak kullanılır. Eğitilmiş ağıın sınama girişlerine YSA'nın gerçek cevabı grafiksel olarak çizdirilir (Şekil.9).



Şekil 9. Eğitilmiş YSA'nın sınama sonuçları.

Sınama yordamında girdilerden çıkışlara doğru, ileri yönde hesaplama bir kez yapılır ve Eş.6'daki doğrusal olmayan aktivasyon işlevleri programda Eş. 14'deki biçimde ve gizli katmana ait yerel gradyenlerde

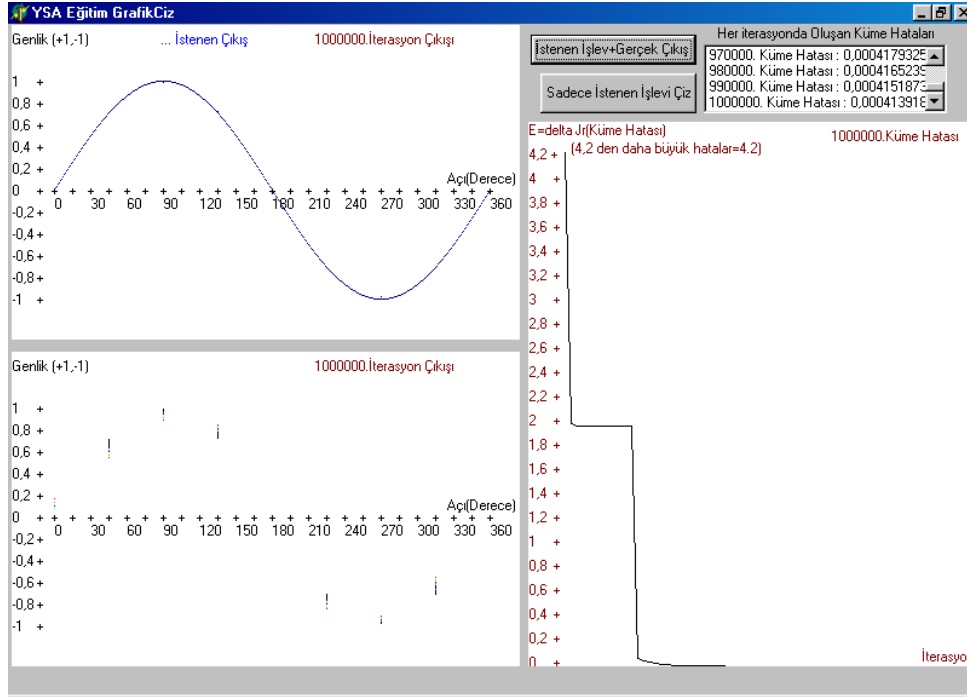
kullanılmak üzere aktivasyon işlevlerinin türevleri Eş. 15'deki biçimde bir kez daha hesaplanır [26].

$$\varphi(T) = \tanh = \tanh\left(\left(\sum w_{ij}y_j\right) - \text{thr}(i)\right) \quad (14)$$

$$\varphi'(T) = 1 - \left(\left(\sum w_{ij}y_j\right) - \text{thr}(i)\right)^2 \quad (15)$$

3.3. YSA-EGA'nın Daha Az Eğitim Verisi ile Eğitimi ve Sınanması

Benzer bir eğitim ve sınama denemesini, eğiteceğimiz sisteme ait elimizde çok daha az sayıda veri ile yapacak olursak, ağın başarımlı nasıl etkilenir? Bu kısımda, eğitim için 8 örnek eğitim çifti kullanılmıştır (Şekil.3). Bu durumda; sinüs işlevine ait bildiğimiz 8 noktaya ait açı ve genlik bilgileriyle ağ eğitilir. Eğitim sonunda 8 noktanın da istenen konuma geldiği görülmektedir. Nitekim, istenilen sinüs işlevi, YSA-EGA'nın eğitim sonunda bulunduğu noktalardan geçmektedir (Şekil.10).



Şekil 10. YSA-EGA eğitim adımları.

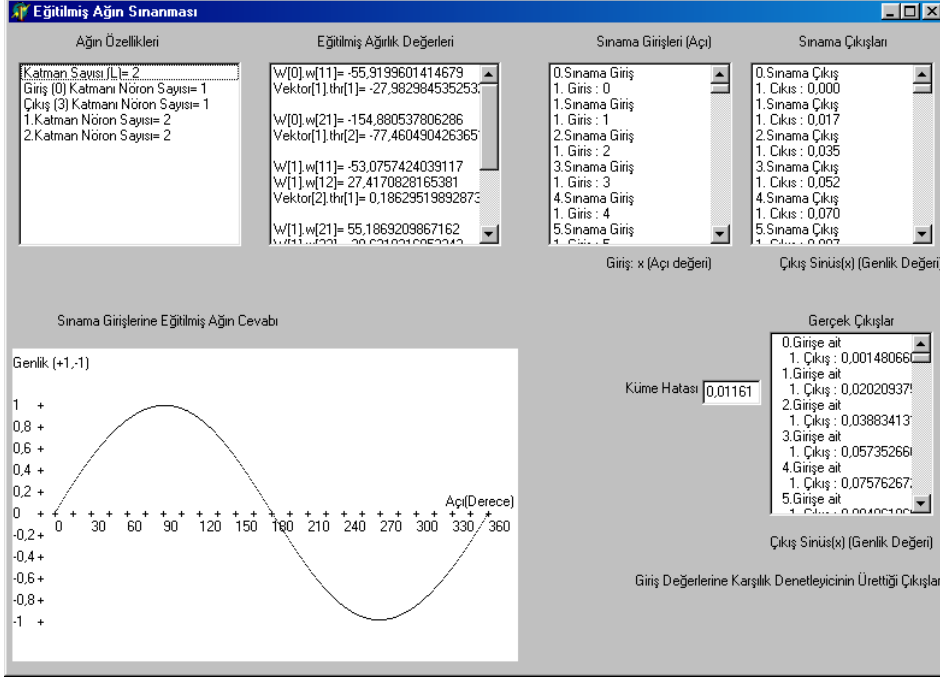
Şekil.11'de, 8 örnekle eğitilmiş ağın 0 ile 360° arasındaki sınama girişlerine cevabı görülmektedir. Bu arayüz, ayrıca YSA'na ait özellikler, parametreler ve giriş çıkış değerlerini de raporlamaktadır. 8 örnekle yapılan eğitimde Küme Hatası 0.01161 çıkmıştır. Programın sınama arayüzü sınama girişlerine eğitilmiş ağın cevabını çizdirmektedir.

İleri sürümlü YSA'nda eğitim, bireysel veya toplumsal olabilir [26]. Bu çalışmada toplumsal küme hatası kullanılarak, tüm eğitim kümesinin toplam hatası en küçük

hale getirilmeye çalışılmıştır. Kullanıcı Ek. A' daki en dış döngüyü kaldırarak, her eğitim çiftine göre bireysel hata hesaplayıp, ağ parametrelerini buna göre de güncelleyebilir. Böylece bireysel eğitim yöntemini de deneyebilir. Eşitlik.14'deki aktivasyon fonksiyonunu değiştirip, problem özgü, sigmoid veya sert geçişli gibi başka tip bir işlev kullanılabilir. İleri sürümlü YSA'da ağırlıklar, L. katmana ait j. birim ile onu takip eden L+1. katmandaki i. birim arasında hesaplama yapmaktadır. Döngülerde değişiklik yapılarak, L. katman daki i. birim

ile kendi katmanındaki diğer birimler arasında da hesaplama yapılabilir. Programda döngüye ait sorgulanan indis değiştirilerek, L(k) ile (k+1) katmanlardaki işlem birimleri arasında bilgi akışı olabileceği gibi, L(k) 'dan L(k-1)'e geri yönde bir hesaplama ve bilgi akışı da gerçekleştirilebilir. İşlem birimi içerisindeki toplayıcıya ileri

yönde gelen verilere ek olarak, geri bildirim verileri de dahil edilerek, dinamik yapıda bir YSA elde edilebilir. Gizli katmanlar, arayüzde 1 olarak seçip, yazılımda aktivasyon işlevini Gauss işlevi olarak değiştirerek, Gauss Merkezci YSA elde edilebilir.

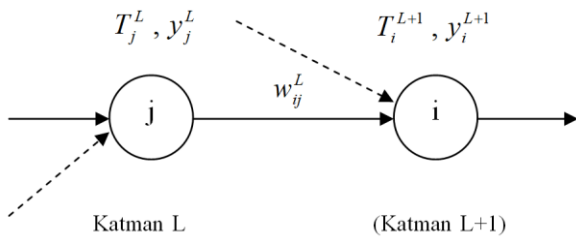


Şekil 11. 8 örnekle eğitilmiş YSA'nın sınama sonuçları.

3.4. YSA-EGA'nın Uygulama Yordamı ve Arayüzü

Programda Uygulama Yordamı, Sınama Yordamı ile aynı altyapıyı kullanmaktadır. Eğitilmiş YSA-EGA "Uygulama"da kullanılacak girdilere göre ileri yönde bir kez hesaplama yapmaktadır. Programda, ileri yönde veri akışı için tanımlanan değişkenler şu şekildedir:

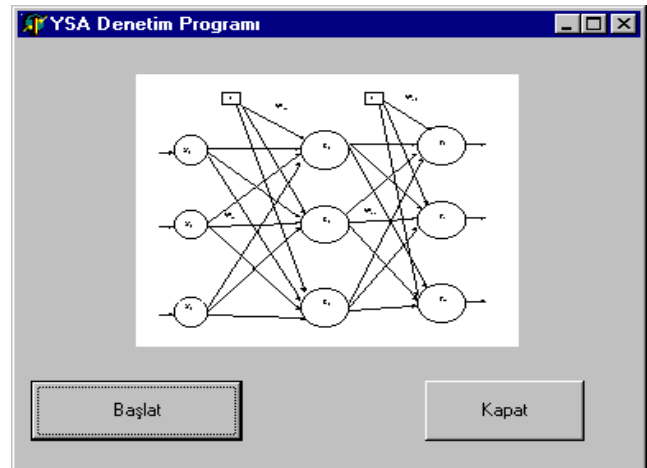
Katmanların sırasını gösteren indis L olarak tanımlansın ve n adet gizli katmanımız bulunsun [3] (Bose ve Liang,1996). Burada Katman L+1'in i. işlem birimini, Katman L'nin j. işlem birimine birleştiren bağlantı ağırlığı w_{ij}^L olarak verelim. Katman L'nin j. işlem birimi çıkışı y_j^L 'dir. Takip eden katman L+1'deki i. toplamı T_i^{L+1} ve çıkış şeklinde tanımlanır.



Şekil 12. Program için hazırlanan işlem birimleri ve içinde buldukları ilgili katmanların sıralama indislerinin

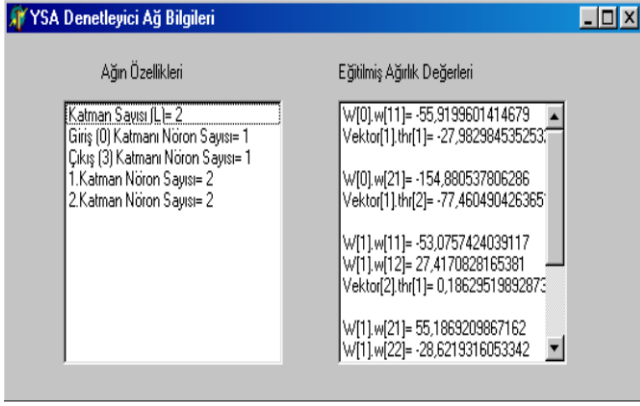
tanımlanması [3].

YSA-EGA'da geliştirilen Uygulama Yordamı, girişlere bağlı olarak eğitilmiş YSA'nın çıktılarına denetlediği için programda "YSA Denetim Programı" arayüzü ile temsil edilmiştir (Şekil.13). Uygulama, doğrusal olmayan bağıntılar kurmayı gerektiren her çalışma için geliştirilebilir ve farklı isimler alabilir.



Şekil 13. YSA Denetleyici başlangıç menüsü.

“Başlat” düğmesi ile eğitilmiş ağ parametrelerinin bulunduğu dosya açılır. Dosyadan, katman sayısı, katmanlardaki işlem birimi sayıları gibi ağa ait yapısal bilgiler ve eğitilmiş $w[i,j]$ ağırlık değerleri yüklenir (Şekil.14). Benzer şekilde her katmandaki işlem birimine ait bilgiler bir vektör elemanı olarak kayıt tipi [22] bir değişkende saklanır (Tablo 1).



Şekil 14. Kullanılan YSA denetleyicinin özellikleri.

Tablo 1. Kullanılan İşlem Birimi Bilgileri ve Programda Saklanma Biçimi (Informations Of the Neurons and Their Storage Formats in The Program)

Değişken	Açıklaması
Vektor	Bir katmandaki i. nörona ait bilgiler ($i=[1.Limit]$)
$y[i]$:	Çıkış değeri
Delta[i]:	Delta değeri
thr[i]	Eşik değeri
ToplamJ[i]	İşlem birimine gelen girişlerin net toplamı

Okunan giriş değerlerine karşılık, ağırlık ileri yönde çıkış değerleri hesaplanır, denetleyicinin çıkışları ekrana yazdırılır ve grafik olarak çizdirilir. “İleri Yön Değerlerini Hesapla” altıyordamında (Ek. A), her bir işlem birimi için önce Eş. 5’te verilen net toplam bulunur. Toplam değişkeni programda ToplamJ olarak tanımlanmıştır.

Tablo 2. “İleri Yön Değerlerini Hesapla” Altıyordamında kullanılan değişkenler.

Değişken	Açıklaması
ToplamJ	Bir önceki katmandaki her bir işlem birimi için net toplam. Denklem.1’de genel formülü verilen toplam işlevi, programda $(\sum w_{ij}y_j) - thr(i)$ olarak geçmektedir.
$W(L).w(ij)$	Katman L’deki j. işlem birimi ile bir sonraki katmandaki i. işlem birimi arasındaki ağırlık değerlerinin ($w(ij)$) tümü, $W(L)$ ağırlık matrisinde saklanır.

Tablo 2. (Devam) “İleri Yön Değerlerini Hesapla” Altıyordamında kullanılan değişkenler.

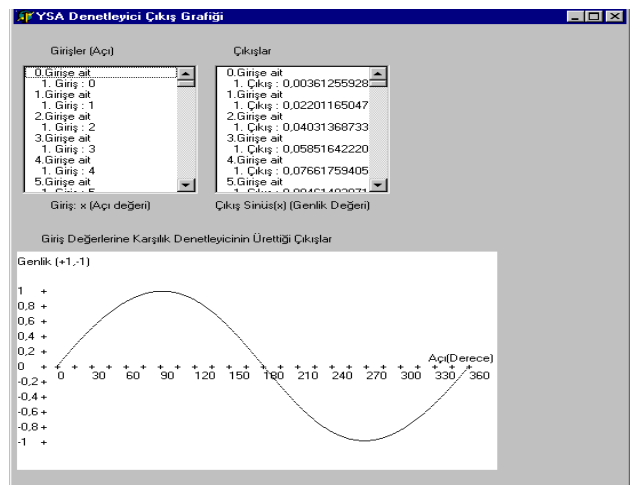
Değişken	Açıklaması
y_j	Bir önceki katmandaki ilgili işlem birimi çıkışı; Programda $\varphi(T) = \text{Vektor}[L].y[j]$ formülü ile hesaplanmaktadır.
T	Bir sonraki katmanın i. işlem birimine ait net toplam giriş. Programda $\text{Vektör}[L+1].\text{ToplamJ}[i]$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Programda belirlediğimiz $W(L)$. $w(ij)$ ağırlık değerleri (Eş. 10) bir önceki katmandaki y_j (Eş. 6) ile çarpılır. Bütün ağırlıklı çıkışlar toplanır. Eşik seviyesi de eklenerek bir sonraki katmanın i. işlem birimine ait net toplam giriş (Eş. 5) bulunur. Bu giriş, işlem biriminin bulunduğu katman gizli katman ise doğrusal olmayan geçiş işlevinden, son katman ise doğrusal geçiş işlevinden geçirilir (Tablo 3). Böylece çıkışlar hesaplanır.

Tablo 3. Programda geçiş işlevlerinin tanımlanması.

Değişken	Açıklaması
$\varphi(\text{ToplamJ})$	Doğrusal olmayan geçiş işlevi: Programda; $\tanh\left(\left(\sum w_{ij}y_j\right) - thr(i)\right)$ formülü ile temsil edilmiştir.
$\varphi(\text{ToplamJ})$	Doğrusal geçiş işlevi: Programda $=\left(\sum w_{ij}y_j\right) - thr(i)$ formülü ile temsil edilmiştir.

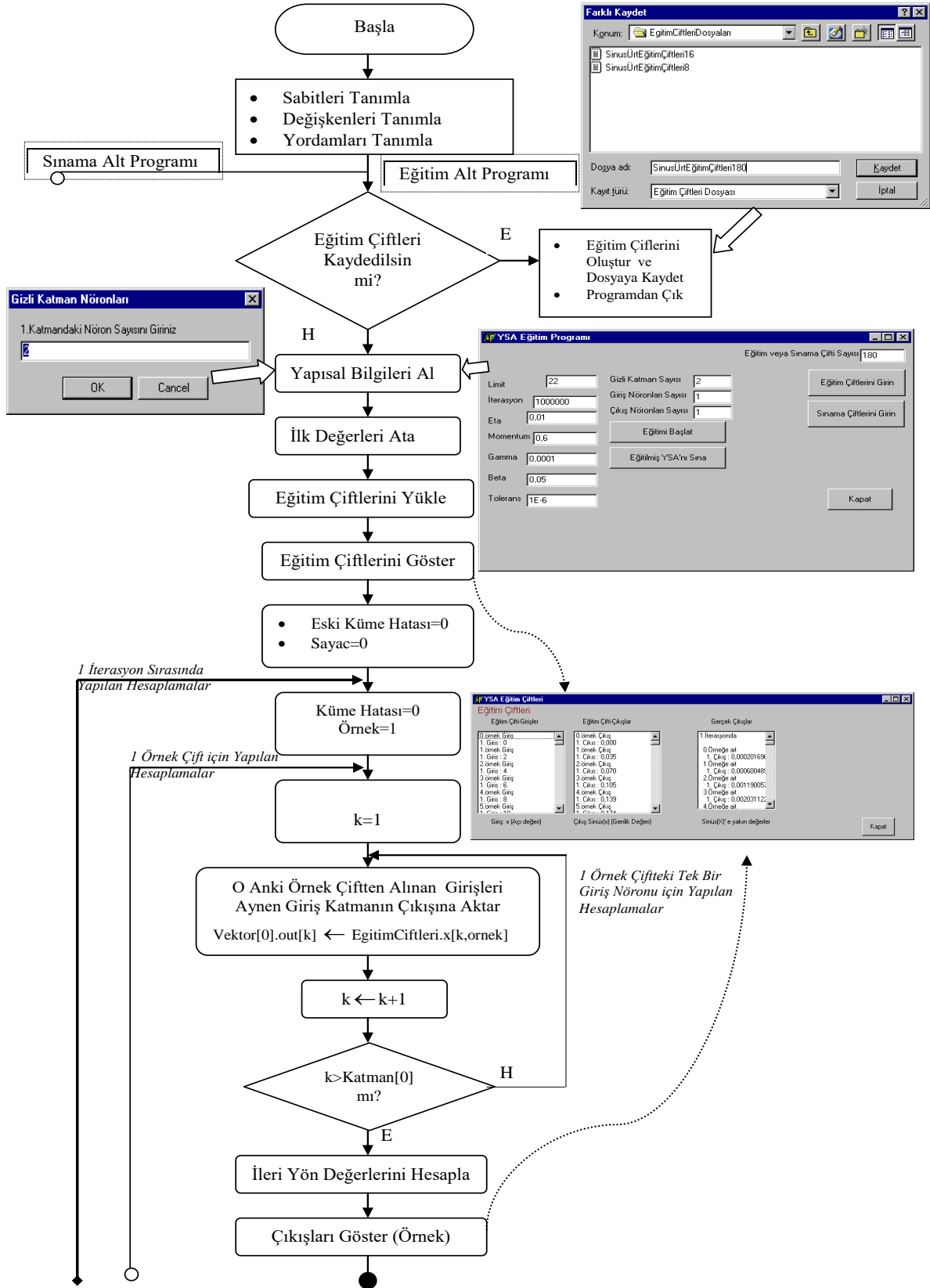
Son olarak “Çıkışları Göster” Altıyordamı ile ‘İleri yön değerlerini hesapla’ altıyordamında hesaplanan çıkışlardan son katmana ait çıkışlar (Vektor[L+1]. $y[j]$) ekrana yazdırılır. Grafik olarak çizdirilir. Aynı işlem, her eğitim çifti için tekrarlanır (Şekil.15).

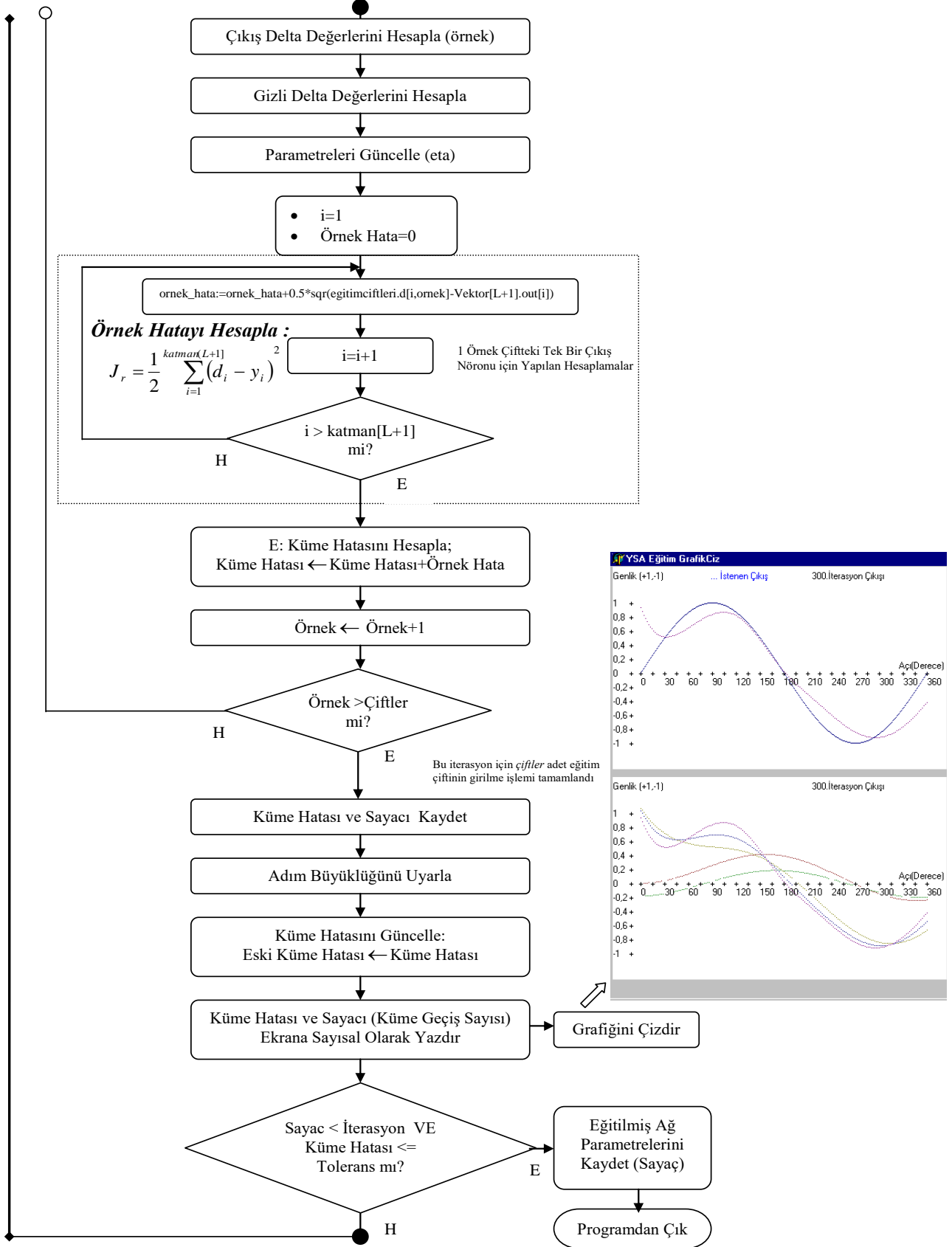


Şekil 15. Giriş değerlerine karşılık denetleyicinin ürettiği çıkışlar.

Bu örnekte açılış girişlerine YSA-EGA'nın yanıtı gerçek bir bir sinüs işlevine oldukça benzediği görülmektedir.

Şekil.16'da YSA arayüz yazılımının (GUI) akış şeması verilmiştir.





Şekil.16. Eğitim altyordamının akış şeması.

Akış şeması bu çalışmada hazırlanan eğitim, sınav algoritmalarındaki aşamalarla geliştirilen arayüz arasındaki ilişkileri özetlemektedir. Kullanıcı, akış şemasında hangi aşamada arayüzün hangi kısmına erişildiği, arka planda YSA eğitiminin nasıl çalıştığı, hangi noktada hangi döngüler üzerinden eğitim çiftlerine, katmanlara erişildiği, parametre artım değerlerini hesaplandığı ve buradan ağırlık parametrelerinin güncellendiğini sıralı olarak görebildiğinden, tespit ve müdahale edebilecektir. Güncellenmiş parametreler üzerinden ileri yönde hesaplanan çıkış veya çıkışların grafik olarak arayüzde çizdirileceği aşama akış şemasında tarif edilmiştir. Bu aşamaların klavuzluğunda, kullanıcı müdahale edip, değiştirebileceği yerleri tespit edebilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada öğrenciler için açık kaynak kodlu bir YSA eğitimi ve program geliştirme aracı önerilmiştir. Tasarlanan YSA-EGA'nın, bir sisteme ait doğrusal olmayan giriş-çıkış bağıntılarını yaklaşık olarak çıkarsayabildiği gösterilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak bir sinüs işlevinin örüntüsü, önce çok örnek, daha sonra az örnekle eğitilmiştir.

Çalışmada YSA-EGA'nın eğitim, sınav ve uygulama kiplerinde çalışması açıklanmış ve hazırlanan programın arkasındaki kuram verilmiştir. Örnek sinüs işlevinin YSA tarafından oldukça doğru bir biçimde öğrenildiği gerek görsel gerek sayısal sonuçlarda görülmektedir (Şekil.9-11). YSA-EGA'nın başarımında sayısal ölçüt olarak, tüm eğitim çiftleri kümesine ait toplumsal maliyet işlevi olan küme hataları (Eş.4) kaynak alınmıştır ve çalışmada yapılan her iki örnek eğitim çifti kümesi için başarımları karşılaştırılmıştır (Tablo.4).

Tablo.4 Eğitim ve sınav sonuçları.

	Eğitim Çifti	Sınav Çifti	Gizli Katman	Her Gizli Katmandaki İşlem Birimi	İterasyon Sayısı	Küme Hatası	
						Eğitim	Sınav
1	180	360	2	2	500.000	0.0009366995	0.01736
2	8	360	2	2	1.000.000	0.000413918	0.01161

Sinüs gibi eksponansiyel artış ve azalışlar gösteren örüntülerde öğrenme başarımı yüksek olmaktadır. İlk eğitim, 180 veri ile yapılmıştır. Küme hatası 500.000 iterasyondan sonra değişmemiş, 0.0009366995 civarında kalmıştır. Tüm eğitim kümesine ait toplam maliyet işlevi, kümeyi oluşturan eğitim çiftleri fazla olduğu ve her birinin hatası kümeye katıldığı için görece daha yüksek çıkmıştır. 8 örnekle yapılan ikinci eğitimde öğrenme 1.000.000 iterasyona kadar sürmüş ve küme hatası 0.000413918 çıkmıştır. Çok ve az örnekle eğitilen iki YSA, 360 veri ile sınanmıştır. Az örnekle eğitilen YSA, buna rağmen sınavda daha düşük küme hatası (0.01161) oluşturmuştur (Tablo.4). Önerilen YSA-EGA, düzenli değişim gösteren örüntülerde çok az veri ile oldukça yüksek doğrulukta çıkarsama yapabilmektedir. Geliştirilen yazılım altyapısı, eğitim ve üzerinde çeşitli uygulamalar geliştirmeye uygun olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada olduğu gibi öğrencilerin kolay adapte olabileceği etkileşimli Türkçe Arayüzler hazırlanabilir. Benzer şekilde uluslararası çalışmalar için yabancı dilde farklı YSA Arayüzleri geliştirilebilir.

YSA algoritmalarının açık kaynak kodu üzerinde gerçekleştirilmesi, yeni tasarımların önünü açacaktır. Bu çalışma ile ilgili kaynak kodları internet ortamında paylaşılmıştır [32]. Bu çalışma, YSA'nın eğitim, sınav ve

uygulama aşamalarının nasıl gerçekleştirilebileceği ile ilgili çalışır durumda yordamlar ve işlevler sunmakta ve açıklamaktadır. Açık kaynak kodlu olduğu için, kullananlar, esinlendikleri aşamalara kendi bilgilerini katarak çok farklı çalışmalar gerçekleştirebilir.

Kaynaklar

- [1] Majors M., Stori J., Cho D., 1994. Neural network control of automotive fuel-injection systems. IEEE Trans Control Syst, 14(3), 31–36.
- [2] McCulloch W.S., Pitts W., 1943. A Logical Calculus of the Ideas Imminent in Nervous Activity. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115-133.
- [3] Bose N.K., Liang P., 1996. Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and Applications, Mc Graw Hills Series in Electrical and Computer Engineering.
- [4] Karri V., Ho TN., 2009. Predictive models for emission of hydrogen powered car using various artificial intelligent tools. Neural Comput & Applic 18, 469–476.

- [5] Kişi Ö., 2004. River flow modelling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(1), 60-63.
- [6] Arora N., 2009. Regulating air-fuel balance in combustion engines using adaptive learning in neural network. In: *Proceedings of the international conference on methods and models in computer science*, Delhi, India, pp 1–6, Aralık 2009.
- [7] Haehn D., Tompkin J., Pfister H., 2019. Evaluating ‘Graphical Perception’ with CNNs. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1),641-650.
- [8] Jaafar K., Ismail N., Tajjudin M., Adnan R., Rahiman, M.H.F., 2016. Hidden Neuron Variation in Multi-layer Perceptron for Flood Water Level Prediction at Kusial Station. 2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & its Applications (CSPA2016), Melaka, Malaysia, 4-6 Mart 2016.
- [9] Patil K., Jadhav N., 2017. Multi-Layer Perceptron Classifier and Paillier Encryption Scheme for Friend Recommendation System. *Third International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India.
- [10] Syed M.A., Kumara Y.S., 2015. Web Service classification using Multi-Layer Perceptron optimized with Tabu search. *2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 290-294, Bangalore, India.
- [11] Puhan P.S., Behera S., 2017. Application of Soft Computing Methods to Detect Fault in A.C Motor. *International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, pp. 1-5, Mumbai, India.
- [12] Kumari U., 2017. Soft computing applications: A perspective view, *2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICES)*, pp. 787-789, Coimbatore, India.
- [13] Rosenberg L., Baltaxe D., Pescetelli N., 2016. Crowds vs swarms, a comparison of intelligence, *Swarm/Human Blended Intelligence Workshop (SHBI)*, pp. 1-4, Cleveland, Ohio, USA.
- [14] Corbett F.D., Card H.C., 1998. Java Tools for Research and Education in Artificial Neural Networks, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol.1, pp. 417-420, Ontario, Canada.
- [15] Nasr G.E., Joun C., Zaatari W.A., 2004. GUI Based Artificial Neural Network Simulator. *7th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering*, NEUREL, pp.135-138, Belgrade, Serbia and Montenegro.
- [16] Manic M., Wilamowski B., Malinowski A., 2002. Internet Based Neural Network Online Simulation Tool. *IECON 02 IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society*, Volume: 4, pp.2870-2874, Sevilla, Spain.
- [17] Ramirez M.R., Brar P.S., 1993. Novel Uses of Neural Networks, *IEEE FIE 93 Frontiers in Education Conference*, pp.710-713, Washington, DC, USA.
- [18] He L., Li H., Zhang Q., Sun Z., 2019. Dynamic Feature Matching for Partial Face Recognition. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(2), 791-802.
- [19] Liu X., Wang S., Zhang W., Li Q., 2018. Research of Nonlinear Adaptive Control Based on BP Neural Network. *10th International Conference on Modeling, Identification and Control (ICMIC)*, pp.2-4, Guiyang, China.
- [20] Han N., Gao S., Li J., Zhang X., Guo J., 2018. Anomaly Detection in Health Data Based on Deep Learning. *Proceedings of IC-NIDC, the IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, pp.188-192, Guiyang, China.
- [21] Shaozhong Z., Juqin Y., 2010. Flux and Level Prediction based on An Wavelet Neural Network Flood Model. *3rd International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*, pp. 67-70, Wuhan, China.
- [22] https://adhelp.microfocus.com/uft/en/14.51/UFT_He lp/Subsystems/FunctionReference/Subsystems/OMR Help/Content/Delphi/DELPHIDOCSLib_P.html, (Erişim Tarihi: 11 Kasım 2018).
- [23] Hsu K.L., Gupta H.V., Sorooshian S., 1995. Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water resource research*, 31(10), 2517-2530.
- [24] Kosko B., *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice-Hall International Editions, 1992.
- [25] Moon T.K., Stirling W.C., *Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing*, Prentice Hall Inc., 2000.
- [26] Efe M.O., Kaynak O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi.
- [27] Johansson M., Gafvert M., Astrom K.J., 1998. Interactive tools for education in automatic control. *IEEE Control Systems*, 18(3), 33-40.
- [28] Shiakolas P.S., Piyabongkam D., 2003. Development of a Real-Time Digital Control System With a

- Hardware-in-the-Loop Magnetic Levitation Device for Reinforcement of Controls Education. IEEE Transactions on Education, 46(1), 79-87.
- [29] Aşkın D., İskender İ., Mamızadeh A., 2011. Farklı Yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak kuru tip transformatör sargısının termal analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(4), 905-913.
- [30] Kulkarni A.D., 2001. Computer vision and fuzzy-neural systems, Prentice Hall, NJ, USA.
- [31] Bulut M., Başoğlu B., 2017. Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 575-583.
- [32] <https://avesis.kocaeli.edu.tr/serhaty/dokumanlar>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2020).