



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

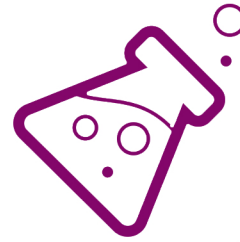
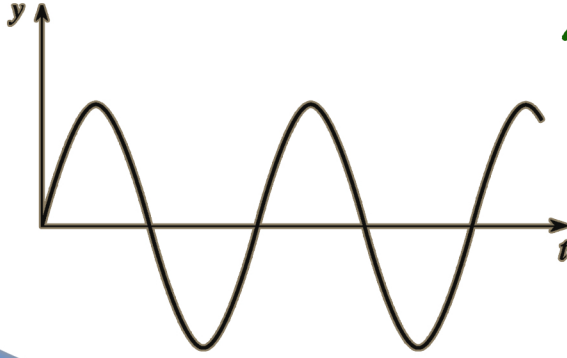
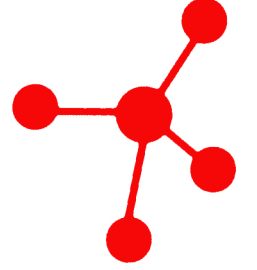
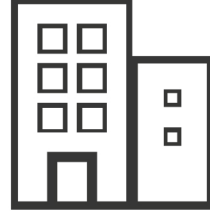
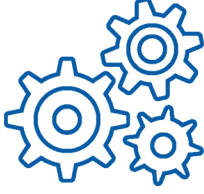
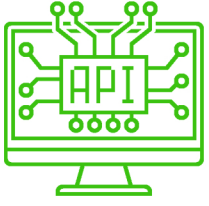
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 6

SAYI
ISSUE 11

ARALIK
DECEMBER

2019



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Cilt:6 Sayı:11

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA

Editörler

Doç. Dr. Tanju TEKER

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER

Dr. Öğr. Üyesi Şerif ÇİTİL

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN

Yazışma Adresi / Correspondence

Address Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ.....(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR.....(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU.....(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN..... (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZAZ (İnönü Üniversitesi)
- 14-Dr. Öğr. Üyesi Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ.....(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7-Doç. Dr. Sema Koç KAYHAN.....(Gaziantep Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

Andezitlerde Ayrışma Derecesinin Rüzgar Türbini Temel Sistemine Etkisinin Nümerik Analizi

Numerical Analysis On The Effect Of Weathering Grade Of Andesites On The Wind Turbine Foundation System

Ahmet Turan ARSLAN, Bayram KAHRAMAN 64-77

Çekme Yüküne Maruz Alın-Eğrisel Ve Düz Bindirme Bağlantısının Kohezif Bölge Modeli Kullanılarak Karşılaştırılması

The Comparison Of The Butt -Curvilinear And Stepped Lap Joint Subjected To Tensile Load By Using The Cohesive Region Model

Şerif ÇİTİL, İsmail BOZKURT 78-85

Ykbdd / Orta Karbonlu Çelik Çiftinin Nikel Ara Tabaka Kullanarak Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi

Combination Of Hcrwci/ Medium Carbon Steel Couple By Friction Welding Using Nickel Interlayer

Tanju TEKER, Eyüp Murat KARAKURT 86-94

Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nde Biyogaz Üretim Verimliliğinin Araştırılması

Investigation Of Biogas Production Efficiency In Seyhan Wastewater Treatment Plant

Harun TÜRKMENLER 95-101

Power Flow Analysis Of Ac/Dc Hybrid Systems In Smart Grids

Akıllı Şebekelerde Ac/Dc Hibrid Sistemlerin Güç Akış Analizi

Ahmet NUR, Asım KAYGUSUZ, Ulaş KILIÇ..... 102-110

ANDEZİTLERDE AYRIŞMA DERECESESİNİN RÜZGAR TÜRBİNİ TEMEL SİSTEMİNE ETKİSİNİN NÜMERİK ANALİZİ

Ahmet Turan ARSLAN¹, Bayram KAHRAMAN^{2*}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, İzmir, 35360, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35160, Türkiye

Geliş tarihi: 03.07.2019 Kabul tarihi: 29.11.2019

ÖZET

Rüzgar enerjisi, günümüzde bütün ülkeler ve konu ile ilgili bilimsel çevreler tarafından kabul görmüş, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bilindiği gibi teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan ihtiyaçların karşılanması da büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fakat bu fosil yakıtların bitme tehlikesi ve aynı zamanda çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında alternatif enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz olmuştur. Eski çağlardan beri insanlar rüzgar enerjisinden çeşitli şekillerde faydalanmak istemişlerdir. İlk rüzgar türbinleri inşaatı 20. yüzyıl başlarında başlamış ve bununla birlikte rüzgar gücünden elektrik üretimi yıllara bağlı olarak gittikçe artmıştır. Bugün dünyada hemen her ülke rüzgar enerjisinden çeşitli şekillerde faydalanmaktadır. Türkiye rüzgar enerjisi bakımından çok ciddi bir potansiyele sahip olup, tahmin edilen potansiyel yaklaşık 60 GW'tır. 2023 yılına kadar ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından en az % 30 elektrik üretimi ve 20 GW rüzgar enerjisi kurulu gücü planlanmaktadır. Bu çalışmada, farklı ayrışma derecesine sahip İzmir ili ve yakın civarında geniş alanlar kaplayan pembe ve gri andezitler üzerine inşa edilen rüzgar türbinlerine ait yüzeysel temel sisteminin duraylılık ve dönmeye karşı güvenliği, Phase2 2019 V10.006 bilgisayar programı kullanılarak incelenmiştir. Statik koşullarda yapılan nümerik analizler sonucunda, andezitlerdeki ayrışma derecesinin artması ile temel sistemindeki dönmenin arttığı, kayma göçmesi ve yenilmeye karşı güvenlik faktörünün de önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar türbini, Nümerik analiz, Andezit, Kayma Göçmesi, Deformasyon, Hoek-Brown ölçütü.

NUMERICAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF WEATHERING GRADE OF ANDESITES ON THE WIND TURBINE FOUNDATION SYSTEM

ABSTRACT

Wind energy is a clean and renewable energy source that is accepted by all countries and scientists dealing with this subject in today's world. As it is known, our world has faced intense energy demand with technological developments and increased population. The fulfillment of this demand is largely provided from fossil fuels. However, it is inevitable to turn to alternative energy sources given the danger of extinction of fossil fuels and also the damage it gives to the environment. Since ancient times, people have benefited from the power of the wind in various ways. At the beginning of the 20th century, the first wind turbines were established and, however, the power generation of the wind power increased gradually. Today, almost every country in the world is benefiting from wind energy in various ways. Turkey has very serious potential in terms of wind energy and the estimated potential is about 60 GW. At least 30% electricity generation and 20 GW wind power board power are planned from renewable sources until 2023 years. In this study, the wind turbines built on pink and gray andesites with different degrees of decomposition have been investigated for the safety and rotation of the foundation systems.

* e-mail: bayram.kahraman@deu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9429-6591>

ahmet.arslan@deu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8018-1707>

In this review, Phase2 2019 V10.006 software were used. As a result of numerical analyses made in static conditions, the increase in the degree of decomposition in the andesite increases the rotation in the foundation system, and the factor of safety against shear failure and failure has been significantly decreased.

Keywords: *Wind turbine, Numerical analysis, Andezite, Shear Failure, Deformation, Generalized Hoek-Brown Criterion.*

1. Giriş

Rüzgar türbinlerinin üretildiği 1980’li yılların sonundan itibaren hem rüzgar türbini sayılarında hem de üretilen enerji miktarlarında önemli artışlar olmuştur. Rüzgar türbinleri için ekonomik olması nedeniyle genellikle yüzeysel temeller tercih edilir. Eğer temel zemini taşıma gücü veya oturma yönünden problemlili ise, çeşitli iyileştirme yöntemleri uygulanarak temel zemini iyileştirilebilir. Hangi zemin iyileştirme yönteminin uygulanacağı mevcut zemin koşullarına, proje için gerekli taşıma kapasitesine ve temel zemininden beklenen elastisite modülüne bağlıdır. Seçilen yöntem, yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyarak aşırı oturmalara izin vermemelidir. Ayrıca uygulanacak yöntemin basitliği, esnekliği ve hızlı uygulanabilirliği de oldukça önemlidir [1].

Yenilenebilir enerji sektöründeki hızlı gelişmelere bağlı olarak özellikle Türkiye gibi gelişen ülkelerde rüzgar türbinlerinin inşasına son yıllarda hız verilmiştir. Ege bölgesinde de bu gelişmelere paralel olarak rüzgar türbini inşaatları hız kazanmış ve farklı jeolojik formasyonlar üzerinde rüzgar türbinleri inşaa edilmektedir.

Rüzgar türbini temelleri, üst yapı yüklerini zemine güvenle aktarması gereken özellikte yapılardır. Türbin temelleri standart bir yapı temeli olmayıp, kulenin hizmet ömrü (yaklaşık 25 yıl) boyunca dış zorlamalara ve yorulma etkilerine maruz kalacak özel temel sistemleridir. Temelin maruz kaldığı yüklerin dinamik karakteristikte olması, yüksek moment / düşey yük oranı (eksantrisite) ve yaklaşık 25 yıl boyunca temelden beklenen üst düzey yorulma dayanımının sağlanması, bu yapıyı standart temel sistemlerinden ayırmaktadır. Temel dizaynı ve uygulamasında yapılacak hatalar, işletme aşamasında giderilmesi oldukça maliyetli yapısal çatlakların gelişmesine ve dayanım yetersizliklerine neden olacak, daha ileri durumlarda göçme düzeyinde stabilite kaybı (kayma-devrilme) ile karşılaşılacaktır. En sık kullanılan karasal rüzgar türbini temel tipleri, yüzeysel plak, grup kazıklı, kaya ankrajlı ve tekil kazıklı temel sistemleridir [2].

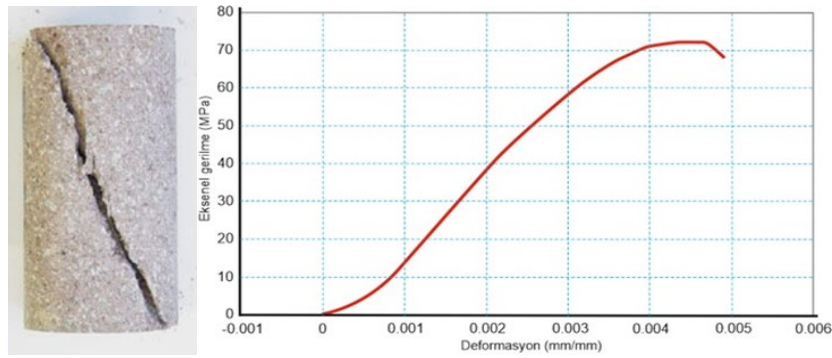
2. Andezitlerin Mühendislik Jeolojisi Özellikleri

Kaya kütlelerinde temel tasarımı yapmak için kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin mekanik ve deformabilite özellikleri ile birlikte kütle içerisindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü temelin duraylılığı, kaya kütlelerinin mekanik özellikleri ile kütle içerisinde gelişen süreksizliklerin konumuna ve dayanım parametrelerine bağlıdır. Bu nedenle andezitlerin mekanik, deformabilite özellikleri ve andezitlerde gelişen akma bantları, soğuma çatlakları ve tektonik kökenli süreksizliklerin mühendislik jeolojisi özellikleri, arazi ve laboratuvar destekli çalışmalarla belirlenmiştir. Andezitlerin tek ve üç eksenli basınç dayanımı ve kesme kutusu deneyleri TU Bergakademie Freiberg Institut für Geotechnik Gesteinsmechanik laboratuvarlarında yapılmıştır (Şekil 1).

Tek ve üç eksenli basınç deneyleri için her bir ayrışma derecesine ait üçer adet karot örneği hazırlanmış ve deneylerde kullanılmıştır. Örnek olarak Şekil 2’ de az ayrışmış pembe andezitlerde yapılan tek eksenli deney sonrasında kaydedilmiş gerilme deformasyon grafiği ve yenilmiş karot örneği verilmiştir.

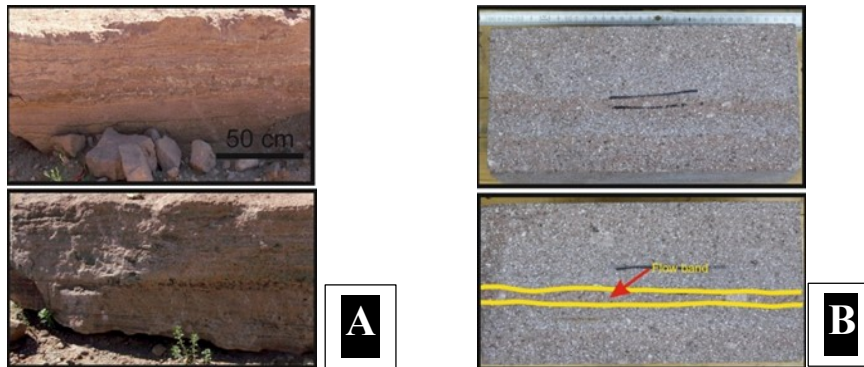


Şekil 1. Tek ve üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan Compression System TIRAtest 28500, servo kontrollü MTS 815 ve kesme kutusu deneyleri için kullanılan GS 1000 kesme kutusu deney sistemi



Şekil 2. Tek eksenli basınç deneylerinde kullanılan az ayrılmış (SW) pembe andezit karot örneğinin deney sonrası görünümü ile tek eksenli basınç deneyi sırasında kaydedilen gerilme deformasyon grafiği

Andezitik kaya kütleleri, kaya malzemesi ve süreksizlikler içermekte olup süreksizliklerin andezitik kaya kütlesi üzerindeki etkileri mühendislik uygulamaları açısından belirlenmelidir. Andezitlerde, tektonik kökenli süreksizlikler, akma bantları ve soğuma çatlakları olmak üzere üç farklı süreksizlik tipi gözlenmiştir (Şekil 3).





Şekil 3. A: Arazide andezit blok örneklerin görünümü, **B:** Andezitlerde gelişen akma bantlarının görünümü, **C:** Soğuma çatlaklarının görünümü, **D:** Soğuma çatlaklarının yüzey görünümü

Pembe ve gri andezitlerde gelişen akma bantları, soğuma çatlakları ve tektonik kökenli süreksizliklerin özellikleri Koca ve Kıncal [3] tarafından belirlenmiş olup, ayrıntılı özellikler Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Andezitlerde gelişen soğuma çatlakları ve akma bantlarına ait süreksizlik özellikleri [3]

Akma bantları	
Aralık	1-3 cm çok dar - dar
Açıklık	Genellikle kapalı eklemler
Devamlılık	1.5 – 3.5 m düşük - orta devamlılık
Soğuma çatlakları	
Aralık	50 cm -1 m orta - geniş Dolgu malzemesi: 1 - 4 mm kil dolgulu
Açıklık	1 mm – 5 cm açık – çok geniş
Devamlılık	3– 15 m orta devamlılık

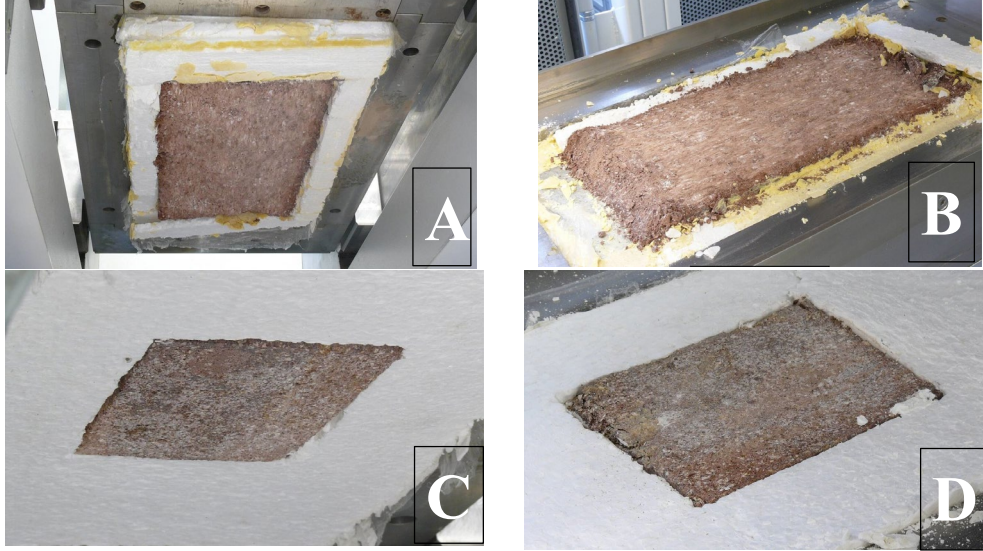
Andezitlerde gelişen akma bantları ve soğuma çatlakları üzerinde kesme kutusu deneyleri yapmak için araziden blok örnekler alınarak bu blok örnekler üzerinde kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiş, pik (maksimum) ve rezidüel (kalıcı) kayma dayanımları, kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ_b) ve rezidüel içsel sürtünme açısı (ϕ_r) değerleri bulunmuş ve sonuçlar yorumlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Az ayrışmış pembe andezitlerde gelişen akma bantları ve soğuma çatlakları üzerinde yapılan kesme deneylerinde bulunan görünür kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri.

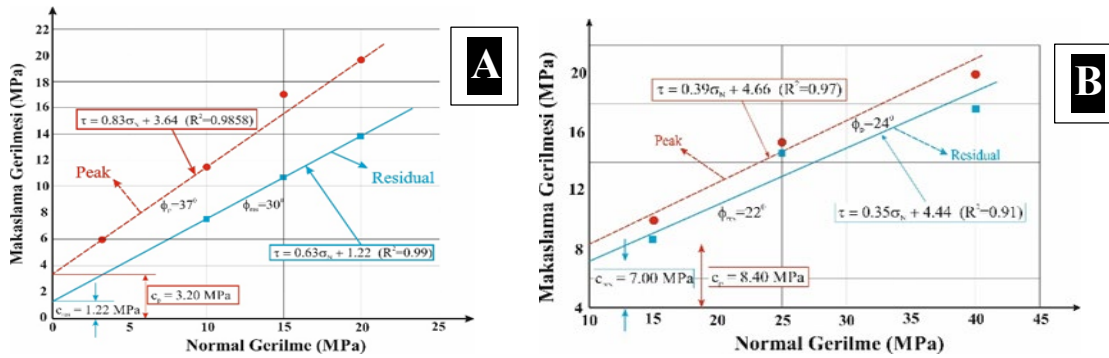
	Kohezyon (c) (MPa)		İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)		Regresyon Denklemi		(R^2)	
	Pik	Rezidüel	Pik	Rezidüel	Pik	Rezidüel	Pik	Rezidüel
Akma bantı	3.20	1.22	37	30	$\tau=0.83\sigma_N+3.64$	$\tau=0.63\sigma_N+1.22$	0.98	0.99
Soğuma çatlağı	8.40	7.00	24	22	$\tau=0.39\sigma_N+4.66$	$\tau=0.35\sigma_N+4.44$	0.97	0.91

Deneylerde normal gerilme değişim aralıkları akma bantları için 3, 10, 15, 20 MPa; soğuma çatlakları için 15, 25 ve 40 MPa seçilerek, normal yükler buna göre uygulanmıştır. Deneylerde Almanya'da TU Bergakademie Freiberg Institut für Geotechnik Gesteinsmechaniklabor'da bulunan GS

1000 kesme kutusu deney cihazı kullanılmıştır. Bu deney cihazındaki iş yükünün yoğun olması nedeni ile, kesme kutusu deneyleri az ayrılmış pembe andezitlerde gelişen akma bantları ve soğuma çatlakları üzerinde yapılabilmektedir. GS 1000 makaslama kutusu, 1000 kN' a kadar normal kuvvet, 200 kN' dan (çekme) + 800 kN' a (basınç) kadar kesme kuvveti, her iki yönde ± 500 kN büyüklükte 40 Hz' e kadar dinamik yük uygulayabilmektedir (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4. Az ayrılmış pembe andezitlerde gelişen akma bantları ve soğuma çatlakları üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleri sonrasında yenilmiş yüzeylerin görünümü (A, C: üst yüzey; B, D: alt yüzey)



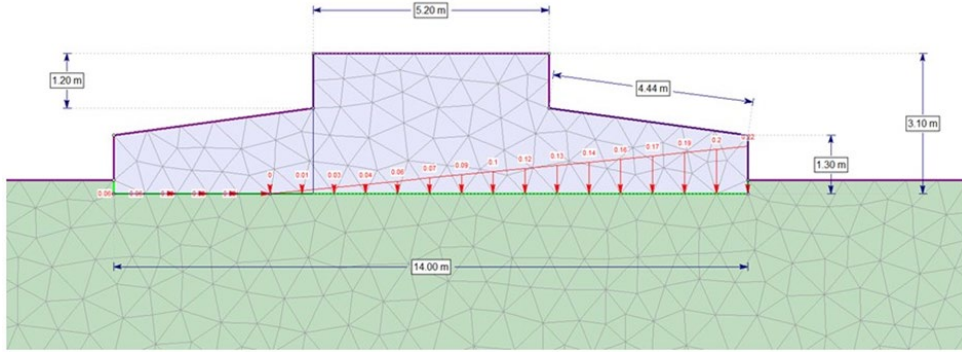
Şekil 5. A: Az ayrılmış (SW) pembe andezitte gelişen akma bantına ait pik ve rezidüel normal gerilme – kayma dayanımı ilişkisi B: Az ayrılmış (SW) pembe andezitte gelişen soğuma çatlaklarına ait pik ve rezidüel normal gerilme – kayma dayanımı ilişkisi.

Ayrıca kaya kütle parametrelerine bağlı Hoek-Brown ve Barton, Görgül yenilme kriterleri göz önüne alınarak mühendislik analizleri yapılmıştır [4, 5] (Çizelge 3).

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada andezit kaya kütlesi üzerine inşa edilecek rüzgar türbini temeli, sekizgen formda 14x14m boyutlarında, temel derinliği yüzeyden yaklaşık 0.60 m, temele gelen yük dağılımları proje

detaylarına bağlı olarak (türbin ve temel geometrisi, yerel rüzgar değerleri) yatay yük 522.9 kN, düşey yük 13168.3 kN, moment 37361.1 kNm, olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Nümerik analizlerde kullanılan rüzgar türbini temeli model geometrisi

Analizler Phase² 2019 V10.006 programı ile yapılmıştır. İki boyutlu sonlu eleman ağ sisteminde 1726 adet düğüm noktası kullanılmıştır. Sayısal analiz sonuçlarına göre yapılan değerlendirmelerde, özellikle güncel çalışmalarda ve literatürde baz alınan strength factor (güvenlik faktörü), total displacement (toplam yerdeğiştirme) ve gerilme durumu gibi parametreler üzerinde detaylı olarak durulmuştur. Phase² sayısal (nümerik) modelleme programı, sınır elemanları yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve bu iki yöntemin tekniklerini birlikte kullanan karma yöntemlerden istenilen herhangi birini kullanarak gerilme ve deformasyon analizini değerlendiren bir yazılımdır.

Sayısal modellemelerde kaya kütle özelliklerinin tanımlanmasında geliştirilmiş Hoek Brown malzeme modeli kullanılmıştır. Geliştirilmiş Hoek Brown malzeme modeli çatlaklı kayalar için uygun bir model olup, toplamda dokuz parametre ile tanımlanmaktadır. Sayısal modellemelerde rüzgar türbini temeli sekizgen formda ve ortadan geçen eksene göre simetrik olup bu temel altında bulunan farklı ayrışma derecelerine sahip andezitlerin malzeme ve kütle özellikleri arazi ve laboratuvar çalışmaları sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Farklı ayrışma derecelerine sahip pembe ve gri andezitlerin kayma dayanımı parametrelerini belirlemek için ASTM [6,7] standartlarına göre laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Pembe ve gri andezitlerin fiziko-mekanik ve elastik özellikleri ise ISRM [8] tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Andezitlerde gelişen süreksizlik setlerinin mühendislik özellikleri, arazide ayrıntılı olarak incelenmiş, ISRM [8]'e göre sınıflandırması yapılmıştır. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerini saptamak için Hoek vd. [9] tarafından önerilen sayısal GSI (Geological Strength Index) abağı kullanılmış, pembe ve gri andezitler için GSI değerleri belirlenmiştir. 1994' e kadar RMR (Rock Mass Rating) puanıyla birlikte kullanılan bu ölçüte RMR yerine Jeolojik Dayanım indeksi (GSI) dahil edilmiştir. Bu sınıflama sisteminde kaya kütleleri, kayacın içerdiği süreksizliklerin neden olduğu bloklanma durumuna ve süreksizlik yüzey koşullarına bağlı olarak 20 farklı sınıfa ayrılmıştır.

Hoek vd. [10] tarafından önerilen eşitliklerle pembe ve gri andezitlerin tek eksenli basınç dayanımı, kaya kütle sabitleri, kohezyonu ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Ayrıca, RocData V5.009 Rocscience [11] programından yararlanılarak pembe ve gri andezitler için kaya malzemesi sabitleri (m_i) seçilmiştir. Kazı işlemi sırasında mekanik kazı uygulanacağı varsayılmış ve örselenme faktörü (D) 0 olarak kabul edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı ayrışma derecelerine sahip pembe ve gri andezitlerin malzeme ve kütle özellikleri

Parametre	Gri Andezit n=6		Pembe Andezit n=6		Gri – Pembe Andezit n=6
	SW	MW	SW	MW	HW
Sağlam Kaya Dayanımı σ_{ci} (MPa)	75	38	46	27.50	12.58
Elastisite Modülü E_i (MPa)	20000	15000	7500	4010	1000
Poisson oranı (ν)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	50	35	45	27	15
Örselenme Faktörü (D)	0	0	0	0	0
Hoek–Brown sabiti m_i	25	12	20	10	8
Hoek–Brown sabiti m_b	4.192	1.178	2.805	0.737	0.384
Hoek–Brown sabiti s	0.0039	0.0007	0.0022	0.0003	0.0001
Hoek–Brown sabiti a	0.506	0.516	0.508	0.527	0.561
Dilatans açısı ($^{\circ}$)	0	0	0	0	0
Kohezyon, c (MPa)	4.922	1.569	2.631	0.908	0.270
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ ($^{\circ}$)	38.45	27.59	34.99	23.69	18.14
Çekme Dayanımı, σ_t (MPa)	-0.069	-0.024	-0.036	-0.011	-0.003
Kaya Kütle Basınç Dayanımı, σ_{cm} (MPa)	4.517	0.915	2.062	0.382	0.063
Global dayanım, σ_{cm} (MPa)	20.387	5.180	10.105	2.778	0.745
Elastisite Modülü, E_{rm} (MPa)	6143.7 2	1701.1	1677.3	270.38	36.45

Yer bilimlileri mühendisliğinde bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile birlikte şev stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi günden güne artan bir şekilde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrisi, farklı zemin ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm yenilme mekanizması tiplerinde uygulanmaktadır. Şev modellemelerinde çeşitli malzeme modelleri kullanılarak gerçek durumdaki gibi malzeme davranışı elde edilebilmekte, oluşan gerilme ve yer değiştirme parametreleri doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Rüzgar türbinlerine ait yüzeysel temel sisteminin kayma dayanımı ve dönmeye karşı güvenliği Phase² 2019 V10.006 [12] bilgisayar programı kullanılarak incelenmiştir. FEM analizlerinde öncelikle genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü kullanılmış, belirli parametrelerin değerlerindeki değişikliğin rüzgar türbini temel sisteminin stabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Andezit kaya kütleleri üzerine inşa edilecek rüzgar türbini temeli, sekizgen formda, simetrik, 14x14 m boyutlarında, temel derinliği yüzeyden yaklaşık 0.60 m olarak kabul edilmiştir. Genelleştirilmiş Hoek - Brown Ölçütü ile yapılan duraylılık analizlerinde, GSI değerleri az ayrılmış (SW) gri ve pembe andezitler için 50 – 45; orta derecede ayrılmış (MW) gri ve pembe andezitler için 35 – 27; oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitler için 15 değeri nümerik analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmış ve farklı ayrışma derecelerinde duraylılık incelemeleri yapılmıştır. RocData V 5.009 yapılan analizlerde az ayrılmış (SW) gri andezitler için kohezyon (c_m) 4.92 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 39°; az ayrılmış (SW) pembe andezitler için kohezyon (c_m) 2.63 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 35°; orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitler için kohezyon (c_m) 1.57 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 28°; orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitler için kohezyon (c_m) 0.91 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 24°; oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitler için kohezyon (c_m) 0.27 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 18° değerleri, girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

3.1. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü Kullanılarak Yapılan Analizler

Laboratuvar deneylerinden elde edilen kaya malzemesine ait dayanım parametreleri, tabaka, eklem ve fay gibi süreksizlikler içeren kaya kütlelerinin dayanımını tam olarak yansıtamamaktadır. Bu

tür süreksizlikler, yenilme düzlemleri olduğundan, kaya kütlesi dayanımını azaltmaktadır. Kaya kütlesi dayanımını, kaya malzemesi özelliklerinden doğru bir yaklaşımla tahmin edebilmek için Hoek vd. [13] tarafından geliştirilmiş Hoek-Brown ölçütü önerilmiş olup çatlaklı kaya kütleleri için geliştirilmiş Hoek-Brown ampirik bağıntısı Eşitlik 1’de verilmiştir:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left[m_b \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} \right) + s \right]^a \quad (1)$$

Bu denklemden, σ_1 ve σ_3 yenilme anındaki maksimum ve minimum asal gerilmeler; m_i ve s kaya malzemesine, m_b ise kaya kütlesine ait Hoek-Brown sabitleri; σ_{ci} kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, a ise kaya kütle özelliklerine göre önerilen üstel bir ifadedir. Hoek-Brown sabitleri, GSI ve D değeri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmaktadır:

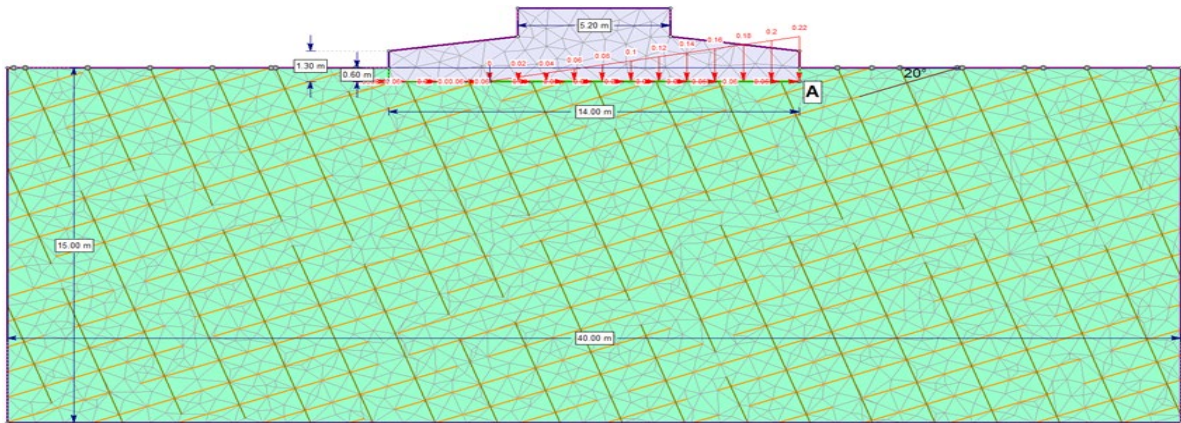
$$\frac{m_b}{m_i} = e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right)} \quad (2)$$

$$S = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \quad (4)$$

GSI parametresi, blok boyutu ve yüzey koşulları gibi süreksizlik özelliklerinin kaya kütlesi dayanımındaki azaltıcı etkisini dikkate alarak Marinou ve Hoek [14] tarafından oluşturulan tablolardan belirlenebilen, arazi verilerine dayanan bir değerdir. GSI değeri 10 (çok zayıf kaya) ve 100 (sağlam kaya) arasında değişir. D ise, patlatma şeklinin kaya kütlesi üzerinde oluşturduğu deformasyon dikkate alınarak Hoek [15]’de verilen tablodan faydalanılarak belirlenebilir. D değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, sırasıyla örselenmemiş kaya kütlesi ve çok örselenmiş kaya kütlesini temsil etmektedir. Kaya materyalini tanımlayan m_i , 4 ile 33 arasında değer alır ve tablodan veya kaya materyali üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyinde uygulanan asal gerilmelerden faydalanılarak bulunabilir [16].

Pembe ve gri andezitlere ait kaya malzemesi parametreleri laboratuvarında yapılan tek eksenli basınç, tek eksenli deformasyon, üç eksenli basınç deneyleri sonucunda elde edilen parametreler RocData V 5.009 programında değerlendirilerek, kaya kütlesine ait parametreler farklı ayrışma derecesine sahip pembe ve gri andezitler için Çizelge 3’de toplu olarak sunulmuş, Phase² 2019 V10.006 programında yapılan analizlerde de bu parametreler kullanılmıştır. Phase² 2019 V10.006 programında yapılan modellemelerde (Şekil 7), farklı ayrışma derecelerine sahip gri ve pembe andezitler için kabul edilen GSI parametreleri, farklı süreksizlik açılarındaki değişimlere göre değerlendirilerek her bir süreksizlik açısı değişimine karşılık gelen güvenlik faktörü (FS) parametresi hesaplanmış ve Çizelge 4’de sunulmuştur.

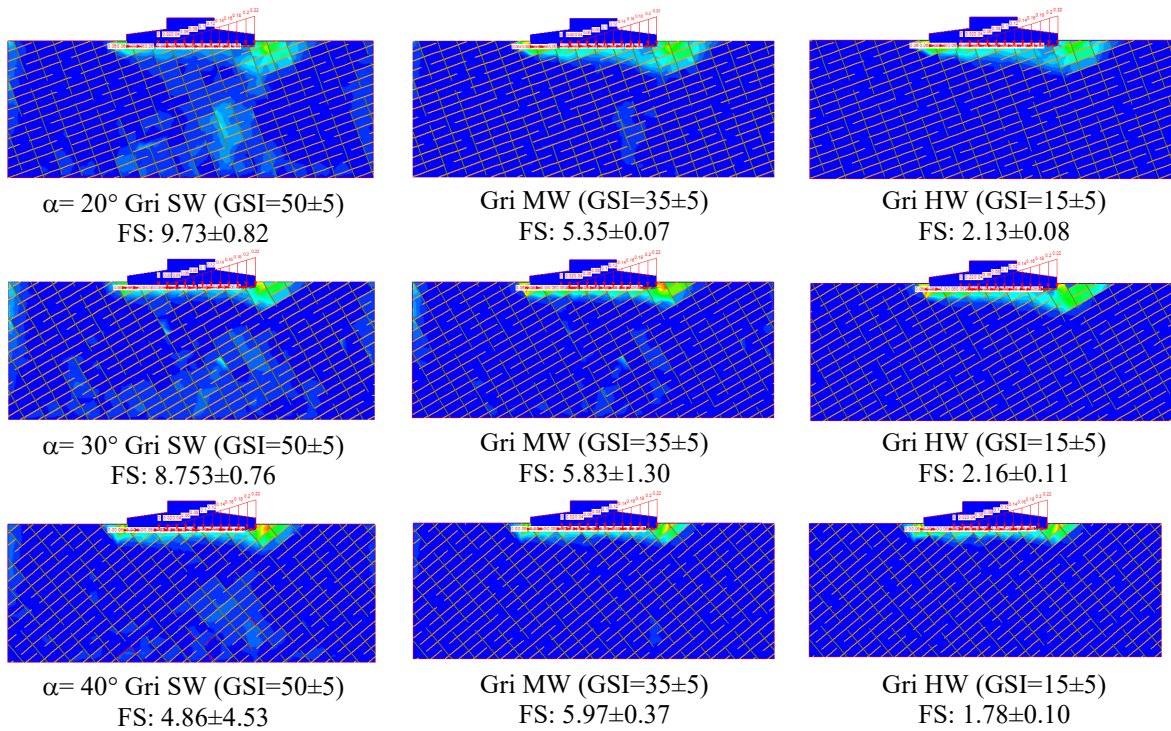


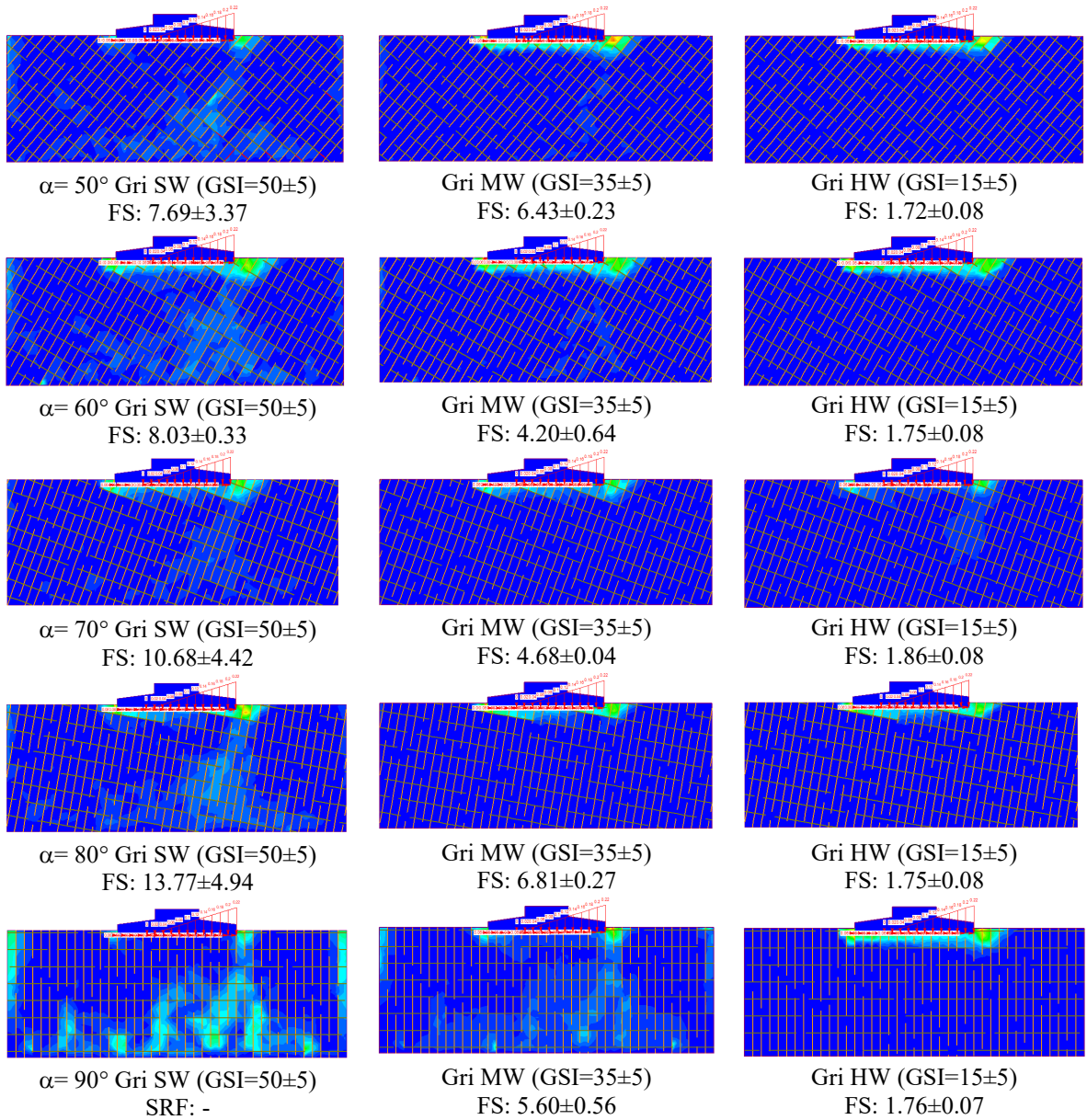
Şekil 7. Phase² 2019 V10.006 programında kullanılan model

Çizelge 4. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü kullanılarak (GSI \pm 5) değerleri için hesaplanan güvenlik faktörü (FS) değerleri

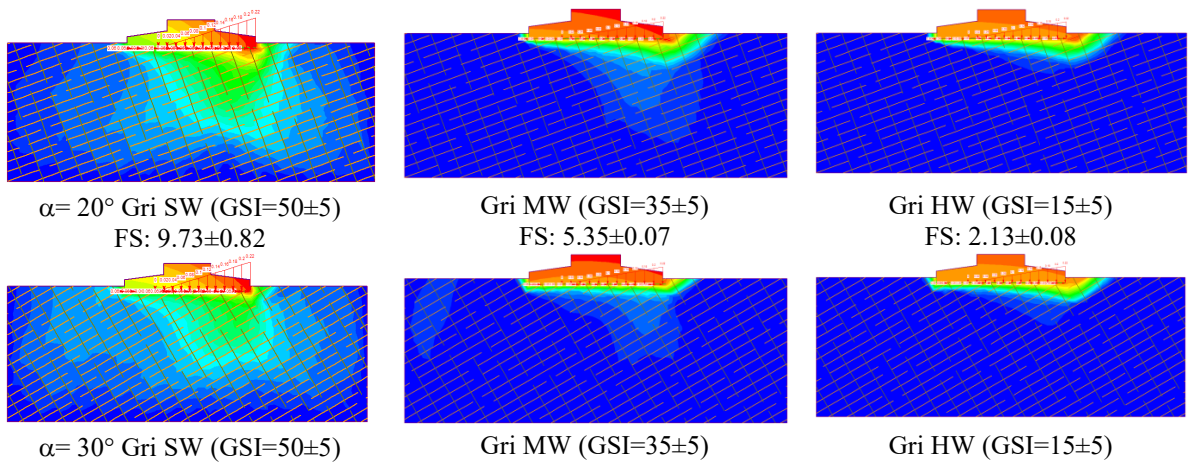
Süreksizlik açısı α (°)	Gri Andezit (SW)	Pembe Andezit (SW)	Gri Andezit (MW)	Pembe Andezit (MW)	Gri-Pembe Andezit (HW)
	GSI = 50 \pm 5	GSI = 45 \pm 5	GSI = 35 \pm 5	GSI = 27 \pm 5	GSI = 15 \pm 5
SRF					
20	9.73 \pm 0.82	5.51 \pm 1.61	5.35 \pm 0.07	4.00 \pm 0.12	2.13 \pm 0.08
30	8.53 \pm 0.76	5.71 \pm 1.78	5.83 \pm 1.30	3.13 \pm 0.37	2.16 \pm 0.11
40	4.86 \pm 4.53	5.80 \pm 0.37	5.97 \pm 0.37	3.48 \pm 0.03	1.78 \pm 0.10
50	7.69 \pm 3.37	6.17 \pm 0.18	6.43 \pm 0.23	3.49 \pm 0.02	1.72 \pm 0.08
60	8.03 \pm 0.33	6.50 \pm 0.23	4.20 \pm 0.64	3.50 \pm 0.02	1.75 \pm 0.08
70	9.30 \pm 0.13	4.95 \pm 1.29	4.68 \pm 0.04	3.63 \pm 0.06	1.86 \pm 0.08
80	13.77 \pm 4.94	7.12 \pm 0.47	6.81 \pm 0.27	3.58 \pm 0.06	1.75 \pm 0.007
90	-	6.40 \pm 0.73	5.60 \pm 0.56	3.34 \pm 0.19	1.76 \pm 0.07

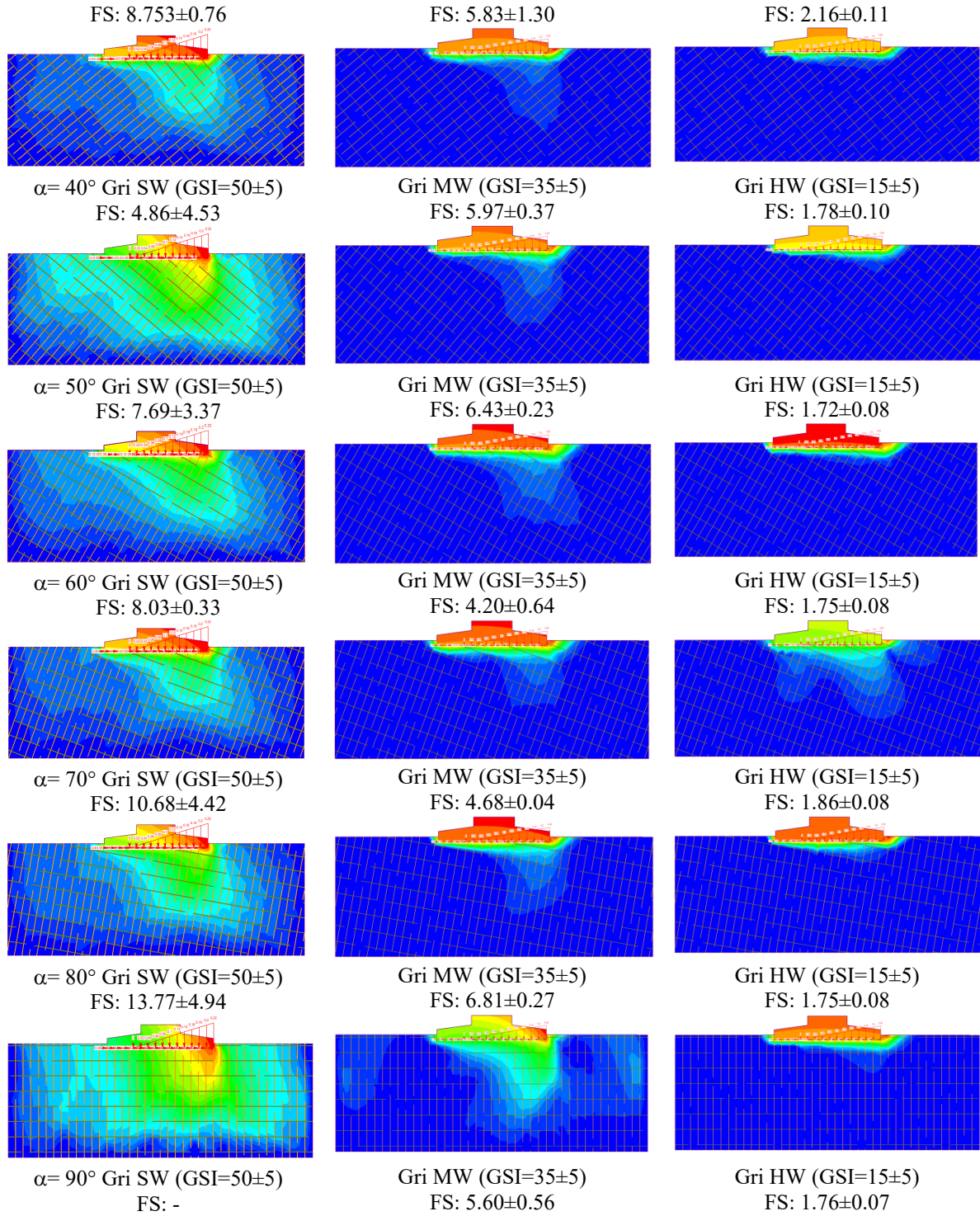
Rüzgar türbini temeli altında bulunan farklı ayrışma derecelerine sahip andezitler ile ilgili yapılan sayısal modellemelerde her bir durum için güvenlik faktörü (FS) değerleri hesaplanarak, temel tabanı altında oluşan gerilme ve deformasyonlar ile, buna bağlı olarak gelişen düşey ve yatay yöndeki yer değiştirmeler hesaplanmış, Şekil 8 ve Şekil 9'da toplu olarak sunulmuştur. Phase² ile yapılan çözümlere göre temel tabanı köşesinde alınan A noktasındaki (Şekil 7) kayma deformasyonlarının dağılımları incelendiğinde, az ayrışmış (SW) gri andezitlerde min. 7.50×10^{-5} , maks. 1.16×10^{-3} , ort. 5.34×10^{-4} , orta derecede ayrışmış (MW) gri andezitlerde min. 6.50×10^{-4} , maks. 1.02×10^{-3} , ort. 1.19×10^{-3} , az ayrışmış (SW) pembe andezitlerde min. 1.20×10^{-4} , maks. 1.85×10^{-3} , ort. 1.09×10^{-3} ; orta derecede ayrışmış (MW) pembe andezitlerde min. 8.75×10^{-4} , maks. 4.75×10^{-3} , ort. 2.95×10^{-3} , oldukça ayrışmış (HW) pembe ve gri andezitlerde min. 5.40×10^{-3} , maks. 3.92×10^{-2} , ort. 2.25×10^{-2} olarak hesaplanmıştır.





Şekil 8. Phase² ile yapılan çözümlere göre statik koşullarda kayma deformasyonlarının kesit üzerindeki dağılımları





Şekil 9. Phase² ile yapılan çözümlere göre statik koşullarda toplam yer değiştirme konturlarının kesit üzerindeki dağılımları

A noktasındaki toplam yer değiştirme dağılımları incelendiğinde, az ayrılmış (SW) gri andezitlerde min. 0.09 cm, max. 0.47 cm, ort. 0.32 cm; orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitlerde min. 0.09 cm, max. 0.86 cm, ort. 0.53 cm; az ayrılmış (SW) pembe andezitlerde min. 0.05 cm, max. 0.99 cm, ort. 0.57 cm; orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitlerde min. 0.07 cm, max. 1.80 cm, ort. 0.87 cm; oldukça ayrılmış (HW) pembe ve gri andezitlerde min. 1.12 cm, max. 14.40 cm, ort. 8.64 cm olarak hesaplanmıştır.

Güvenlik faktörü (FS) dağılımları andezitlerdeki ayrışma derecesine bağlı olarak değişmekte olup, az ayrılmış (SW) gri andezitlerde ortalama FS: 8.0, orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitlerde FS: 5.6; az ayrılmış (SW) pembe andezitlerde FS: 6.0, orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitlerde FS: 3.5, oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitlerde FS: 1.84 olarak hesaplanmıştır.

4. Bulgular

Bu çalışmada, farklı ayrışma derecesine sahip pembe ve gri andezitler üzerine inşa edilen rüzgar türbinlerine ait yüzeysel temel sisteminin stabilitesi ve dönmeye karşı güvenliği Phase² 2019 V10.006 bilgisayar programı kullanılarak incelenmiştir. Andezitlerin mekanik ve deformabilite özellikleri, andezitlerde gelişen akma bantları, soğuma çatlakları ve tektonik kökenli süreksizliklerin mühendislik jeolojisi özellikleri arazi ve laboratuvar destekli çalışmalarla belirlenmiştir. Akma bantları, tektonik kökenli süreksizlikler ve soğuma çatlakları üzerinde kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiş, pik ve rezidüel kayma dayanımları, görünür kohezyon (c), görünür içsel sürtünme açısı (ϕ_b) ve rezidüel sürtünme açısı (ϕ_r) değerleri bulunmuştur. Deneylerde normal gerilme değişim aralıkları akma bantları için 3, 10, 15, 20 MPa; soğuma çatlakları için 15, 25 ve 40 MPa seçilerek normal yükler buna göre uygulanmıştır.

Az ayrılmış pembe andezitlerde gelişen akma bantları üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde pik kohezyon 3.20 MPa, rezidüel kohezyon 1.22 MPa; soğuma çatlakları üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde ise pik kohezyon 8.40 MPa, rezidüel kohezyon 7.00 MPa; akma bantlarında pik içsel sürtünme açısı 37° , rezidüel içsel sürtünme açısı 30° , soğuma çatlaklarında pik içsel sürtünme açısı 24° , rezidüel içsel sürtünme açısı 22° olarak belirlenmiştir.

Andezit kaya kütlesi üzerine inşa edilecek rüzgar türbini temeli, simetrik, sekizgen formda 14×14 m boyutlarında, temel derinliği yüzeyden yaklaşık 0.60 m olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar bu temel tipine göre yapılmıştır. Sayısal modellemelerde kaya kütle özelliklerinin tanımlanmasında genelleştirilmiş Hoek Brown malzeme modeli kullanılmıştır. Sayısal modellemelerde rüzgar türbini temeli altında bulunan farklı ayrışma derecelerine sahip andezitlerin malzeme ve kütle özellikleri arazi ve laboratuvar çalışmaları sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Genelleştirilmiş Hoek - Brown ölçütü ile yapılan stabilite analizlerinde GSI değerleri az ayrılmış (SW) gri ve pembe andezitler için 50 – 45; orta derecede ayrılmış (MW) gri ve pembe andezitler için 35 – 27; oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitler için 15 değeri nümerik analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmış, farklı ayrışma derecelerinde stabilite incelemeleri yapılmıştır. RocData V 5.009 yapılan analizlerde az ayrılmış (SW) gri andezitler için kohezyon (c_m) 4.92 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 39° ; az ayrılmış (SW) pembe andezitler için kohezyon (c_m) 2.63 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 35° ; orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitler için kohezyon (c_m) 1.57 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 28° ; orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitler için kohezyon (c_m) 0.91 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 24° ; oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitler için kohezyon (c_m) 0.27 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ_m) 18° girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Phase² programında yapılan modellemelerde, farklı ayrışma derecelerine sahip gri ve pembe andezitler için kabul edilen GSI parametreleri, farklı süreksizlik açılarındaki değişimlere göre değerlendirilerek her bir süreksizlik açısı değişimine karşılık gelen güvenlik faktörü (FS) parametresi hesaplanmıştır. Güvenlik faktörlerinin (FS) dağılımları andezitlerdeki ayrışma derecesine bağlı olarak değişmekte olup, az ayrılmış (SW) gri andezitlerde ortalama FS: 8.0, orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitlerde FS: 5.6, az ayrılmış (SW) pembe andezitlerde FS: 6.0, orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitlerde FS: 3.5, oldukça ayrılmış (HW) gri ve pembe andezitlerde FS: 1.8 olarak belirlenmiştir. Temelin köşesinde yer alan A noktasındaki toplam yer değiştirmeler incelendiğinde, az ayrılmış (SW) gri andezitlerde min. 0.09 cm, maks. 0.47 cm, ort. 0.32 cm; orta derecede ayrılmış (MW) gri andezitlerde min. 0.09 cm, maks. 0.86 cm, ort. 0.53 cm; az ayrılmış (SW) pembe andezitlerde min. 0.05 cm, maks. 0.99 cm, ort. 0.57 cm; orta derecede ayrılmış (MW) pembe andezitlerde min. 0.07 cm, maks. 1.80 cm,

ort. 0.87 cm; oldukça ayrıışmış (HW) pembe ve gri andezitlerde min. 1.12 cm, maks. 14.40 cm, ort. 8.64 cm olarak hesaplanmıştır. Toplam yer değiştirme miktarı göz önüne alındığında, az–orta derecede ayrıışmış andezitlerde çok düşük seviyelerde yer değiştirmeler gözlemlenirken, oldukça ayrıışmış andezitlerde bu yer değiştirme miktarı 14.40 cm düzeylerine kadar çıkabilmektedir. Bu yer değiştirme miktarı kabul edilebilir sınır değerleri aşmakta ve temelin güvenliğini sağlamamaktadır.

Phase² ile yapılan çözümlemelerde temelin taban köşesinde alınan A noktasındaki kayma deformasyonlarının değerleri; az ayrıışmış (SW) gri andezitlerde min. 7.50×10^{-5} , maks. 1.16×10^{-3} ort. 5.34×10^{-4} ; orta derecede ayrıışmış (MW) gri andezitlerde min. 6.50×10^{-4} , maks. 1.02×10^{-3} , ort. 1.19×10^{-3} , az ayrıışmış (SW) pembe andezitlerde min. 1.20×10^{-4} , maks. $1,85 \times 10^{-3}$ ort. $1,09 \times 10^{-3}$, orta derecede ayrıışmış (MW) pembe andezitlerde min. 8.75×10^{-4} , maks. 4.75×10^{-3} , ort. 2.95×10^{-3} ; oldukça ayrıışmış (HW) pembe ve gri andezitlerde min. 5.40×10^{-3} , maks. 3.92×10^{-2} , ort. 2.25×10^{-2} olarak hesaplanmıştır. Şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığını ifade edebilmek için, teorik olarak yaklaşık 10^{-5} 'den küçük mertebede olması gerektiği kabul edilmektedir. Şekil değiştirme seviyesinin yaklaşık olarak 10^{-3} civarında olması durumunda, malzeme davranışı elasto-plastik olacaktır. Kayma Şekil değiştirmelerinin 10^{-2} 'den büyük olması durumunda, kalıcı Şekil değiştirmeler oluşmaya başlar. Dolayısıyla, az ayrıışmış (SW) ve orta derecede ayrıışmış (MW) gri ve pembe andezitlerde elasto-plastik davranış beklenirken, oldukça ayrıışmış (HW) pembe ve gri andezitlerde kalıcı Şekil değiştirmeler oluşacaktır. Bu nedenle andezitlerin oldukça ayrıışmış seviyelerinde rüzgar türbini inşasından kaçınılmalıdır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı ayrışma derecesine sahip pembe ve gri andezitler üzerinde inşa edilecek yüzeysel rüzgar türbini temelinin stabilitesi, dönmeye karşı güvenliği ve temele gelen yüklerden dolayı oluşacak deformasyon dağılımları, temel tabanı köşesinde alınan bir noktanın yer değiştirme miktarı, Phase² 2019 V10.006 programı ile analiz edilerek araştırılmıştır. Statik koşullarda yapılan bu hesaplamalarda, rüzgar türbini temeli altında gelişen kayma deformasyonu konturlarının gelen yüke bağlı olarak temel tabanı altında yoğunlaştığı, temele aktarılan yük dağılımına bağlı olarak dağılım gösterdiği, kayma deformasyonlarının tüm koşullarda süreksizlik yüzeylelerinin makaslama dayanımını aşamadığı için süreksizlik yüzeylelerinde herhangi bir yenilmenin oluşmayacağı, ayrışma derecesinin güvenlik faktörü üzerinde azaltıcı bir etki yaptığını ve projelendirme yapılırken ayrışma derecesinin de göz önünde bulundurulmasının taşıyıcı sistemin güvenliği açısından önemli olduğu, yapılan hesaplamalar sonucunda anlaşılmıştır. Burada sunulan bulgular, sadece bu çalışmada kullanılan parametreler için geçerlidir. Elde edilen sonuçlar gerçek projelere doğrudan uygulanmadan önce, orada mevcut kaya formasyonu için geçerli kayma dayanımı parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi ile, ayrıntılı bir Şekilde araştırılması gereklidir. Dinamik koşullarda kaya kütlelerinde temel tasarımı yapmak için kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin mekanik ve deformabilite özellikleri ile birlikte kütle içerisindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin de bilinmesi gereklidir. Bu amaçla farklı ayrışma derecelerine sahip pembe ve gri andezitlerde dinamik koşullarda tek ve üç eksenli basınç dayanımı deneyleri ile birlikte andezitlerde gelişen akma bantları, soğuma çatlakları ve tektonik kökenli süreksizlikler üzerinde dinamik durumda kesme kutusu deneyleri TU Bergakademie Freiberg Institut für Geotechnik Gesteinsmechanik laboratuvarlarında devam etmektedir. Deneyler tamamlandığında elde edilen sonuçlar kullanılarak analizler yapılıp irdelenecek ve sonuçlar tartışılacaktır.

Bu nümerik çalışma, bu konu ile ilgili gelecekte yapılacak araştırmalar için faydalı bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Aydoğmuş, T., Yıldız, A.A., Arslan, A.T., Örnek, M., Yüzeysel Temeller Altında Geosentetik Donatı Etkisinin Nümerik analizi. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, 16-17 Kasım 2006,
- [2] <https://www.linkedin.com/pulse/rüzgar-türbinlerinde-temel-tasarımının-önemi-mert-geç>.
- [3] Koca, M.Y., Kıncal, C., Abandoned Stone Quarries in and Around the Izmir City Centre and their Geo-environmental Impacts –Turkey, Engineering Geology, vol.75, 49-67, 2004.
- [4] Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F., Support of Underground Excavations in Hard Rock, Balkema, Rotterdam, 1995.
- [5] Barton N., “Physical and Discrete Element Models of Excavation and Failure in Jointed Rock”, Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering, (Ed.) Pasamehmetoğlu, A.G., Turkish National Society for Rock Mechanics, Istanbul, Balkema, Rotterdam, pp. 35-46, 1993.
- [6] ASTM, Standard test methods for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens, ASTM D7263-09, West Conshohocken, PA, 2009.
- [7] ASTM, Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487-11, West Conshohocken, PA, 2011
- [8] ISRM, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974 – 2006, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, 2007.
- [9] Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., Quantification of the Geological Strength Index chart, 47th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, San Francisco, USA, 2013.
- [10] Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. Proceedings of NARMS-TAC2002, Mining Innovation and Technology, Toronto, Canada, s. 267-273, 2002.
- [11] RocData V 5.009, Two-dimensional finite element analysis program. Rocscience Inc, 2018.
- [12] Phase² 2019 V 10.006, Two-Dimensional Finite Element Analysis Program. Rocscience Inc, 2018.
- [13] Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., Hoek-Brown Criterion-2002 Edition. In Proceedings of North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, 1, 267-273, 2002.
- [14] Marinos, P., Hoek, E., “Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch”. Bulletin of the Engineering Geology and the Environment, 60, 85-92, 2001.
- [15] Hoek, E., Rock Mass Properties, In Practical Rock Engineering. Canada: The University of Toronto Press, 2006.
- [16] Kadağcı, K. T., Koca, M. Y., “Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38, 1, 1-19, 2014.

ÇEKME YÜKÜNE MARUZ ALIN-EĞRİSEL VE DÜZ BİNDİRME BAĞLANTISININ KOHEZİF BÖLGE MODELİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Şerif ÇİTİL¹, İsmail BOZKURT^{2*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 04.07.2019 Kabul tarihi: 18.09.2019

ÖZET

Yapıştırma bağlantıları endüstride kullanılan geleneksel birleştirme tekniklerine iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Düzgün gerilme dağılımı, sızdırmazlık, korozyon, farklı türden parçaları birleştirebilme özellikleri ve daha birçok avantajlarından dolayı yapıştırma bağlantılarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yapıştırma bağlantılarının birçok avantajı olmasına rağmen soyulma gerilmelerine karşı mukavemetleri iyi değildir. Bu yüzden yapıştırma bağlantılarında bağlantı modeli büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, alın eğrisel bindirme bağlantısı ile düz bindirme bağlantısı olmak üzere iki tip bağlantı modeli kullanılmıştır. Bu bağlantı modelleri alüminyum alaşımlı plakalar (A2024-T3) kullanılarak imal edilmiş ve akrilik yapısal yapıştırıcı (DP810) ile birleştirilmiştir. Eğrisel üst üste binme ve düz üst üste binme bağlantıları çekme yüküne maruz bırakılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar analizi için üç boyutlu olarak bağlantı modelleri oluşturulmuş ve yapıştırma bağlantısının mukavemetini tahmin etmek için enerji prensiplerini temel alan kohesive bölge modeli kullanılmıştır. Ayrıca nümerik çözümlerin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcı, bağlantı modeli, sonlu elemanlar, gerilme analizi

THE COMPARISON OF THE BUTT -CURVILINEAR AND STEPPED LAP JOINT SUBJECTED TO TENSILE LOAD BY USING THE COHESIVE REGION MODEL

ABSTRACT

Adhesive joints are a well alternative to traditional joining techniques used in industry. Due to the uniform stress distribution, sealing, corrosion, the ability to bonded different types of parts and many other advantages, the interest in adhesive joints is increasing day by day. Although bonding joints have many advantages, their strength to peel stresses is not good. Therefore, the joint model is very important in adhesive joints. In this study, two types of joint models were used, including the butt-curvilinear lap joint and the stepped lap joint. These joint models were manufactured using aluminum alloy plates (A2024-T3) and bonded with acrylic structural adhesive (DP810). The butt-curvilinear and stepped lap joints were subjected to tensile load and the results compared. Three-dimensional joint models were created for finite element analysis and a cohesive region model based on energy principles was used to estimate the strength of the adhesive connection. In addition, validation tests were performed to verify numerical solutions.

Keywords: Adhesive, curved-lap joint, finite elements, pipe, stress analysis

* e-posta: ibozkurt@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-2126-3710>
scitil@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3714-3772>

1. Giriş

Yapısal yapıştırıcılar birçok avantajlarından dolayı günümüzde hemen hemen her alanda kullanılmaktadır [1]. Yapısal yapıştırıcıların yaygınlığı arttığından dolayı, kullanılacak malzemeye göre yapıştırıcı seçimi ve bağlantı tasarımının yapılmasını ön plana çıkarmaktadır. Buda yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemetlerinin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Yapıştırma bağlantısında uygun bir yapıştırıcının seçilmesi gerektiği gibi, uygun bir bağlantı tasarımının da yapılması gerekmektedir. Çünkü bağlantı tipi bağlantının mukavemetini etkilemektedir [2]. Aerodinamik yapının önemli olduğu durumlarda özellikle gömülü bağlantı tiplerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Bu durumla ilgili olarak düz, açılı, basamaklı ve alın bindirme bağlantı tipleri ön plana çıkarmaktadır [3]. Yapıştırıcılar özellikle çekmeden ziyade kaymaya karşı dirençlidirler [4]. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantılarında kayma gerilmeleri bindirme uzunluğunun uç bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bağlantı rotasyonlarından dolayı bağlantının uç bölgesinde soyulma gerilmelerinin oluşmasına neden olmaktadır [5]. Bu durumda bağlantının uç bölgesinde gerilme yoğunluğunun azaltılması gereklidir. Bunun için bağlantının özellikle bindirme uzunluğunun uç bölgesinde gerilme yoğunluğunu azaltacak şekilde tasarlanması gerekmektedir [6-8]. Gömülü bağlantı tiplerinde yüzey geometrilerini değiştirerek bağlantının yüzey alanının arttırmak mümkündür. Aynı bindirme uzunluğunda ve genişliğindeki gömülü bir bağlantı modelinin yüzey geometrisini değiştirerek bindirme genişliğini değiştirmekte mümkündür. Bağlantının uç kısımlarında gerilme yoğunluğunun azaltmak için özellikle bindirme genişliğinin artırılması gerekmektedir. Yapılan bağlantının geometrik parametreleri yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanını etkilediğinden dolayı bağlantının mukavemetinin önemli ölçüde etkilemektedir [9-12].

Yapıştırma bağlantılarında hasar oluşumunun doğru bir şekilde tahmin etmek için uygun bir analitik analiz gerektirir. Yapıştırma bağlantıları yapılan tasarımların hasar analizleri başlangıçta lineer elastik varsayımlara göre yapılırdı. Bu çözüm modelinde hasar elastik bölgede gerçekleştiği için gevrek malzemeler için uygun bir modeldi fakat yapıştırıcıların çoğu non-lineer bir davranış sergilediklerinden dolayı yapıştırma bağlantıları için yeterli bir çözüm modeli olmamıştır. Daha sonraları elastik-plastik ve plastik deformasyon teorisiyle çözümlemelere gidilmiştir. Bu çözüm modellerinin birincisinde yapıştırıcı tabakası elastik ve plastik bölge olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Plastik bölgeler gerilme yoğunluğunun olduğu uç bölgelerinde yer almak üzere elastik ve plastik bölgeler ayrı kabul edilerek çözümlemeler yapılmıştır. İkincisinde ise elastiklik modülü yüke bağlı olarak bir secant modülü olarak yer almıştır. Secant modülü toplam şekil değiştirmeye toplam gerilmeyi ilişkilendirilerek çözümlemeye gidilmiştir. Fakat bu iki çözüm modelinin tam olarak doğrulanamadığından dolayı uygulanamamıştır. Yapıştırma bağlantılarının analizinde bir başka yaklaşım ise modifiye edilmiş von-Mises akma kriteridir. Bu yaklaşımda lineer olmayan altı diferansiyel denklemden oluşan sistem türetilmiş ve değişken adımlı sonlu farklar yöntemi kullanılarak tekrarlı olarak çözümlemeye gidilmiştir [13]. Fakat son yıllarda kohezif bölge modeli yapıştırıcılar için uygun bir model olmuştur. Enerji prensiplerini temel alan kohezif bölge modelinde normal ve kayma gerilmeleriyle bunlara karşılık gelen yer değiştirmeler arasındaki ilişkilerden yararlanılır. Ayrıca kohezif bölge modelinde gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tepe noktasına kadar elastik davranış sergilediğini ve eğrinin en üst noktasından itibaren hasar başlayarak kopma meydana geldiğinin söylemektedir [14].

Bu çalışmada aynı bindirme uzunluğu ve genişliğindeki alüminyum alaşımlı levhalar üzerine alın eğrisel bindirme bağlantısı ile düz bindirme bağlantısı oluşturulmuş ve daha sonra çekme yüküne maruz bırakılarak nümerik çözümlemeye gidilmiştir. Nümerik Çözümlemelerin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, alın eğrisel bindirme bağlantılarının oluşturulması için özellikle uzay ve havacılık alanında yaygın olarak kullanılan Alüminyum alaşımlı levhalar (2024-T3) kullanılmıştır. Bağlantı elemanı olarak 3M şirketi tarafından üretilen iki bileşenli akrilik yapısal yapıştırıcı (DP810) kullanılmıştır. Yapıştırıcı ve alüminyum alaşımlı levhanın mekanik özelliklerini belirlenmesi için bulk numuneleri hazırlanmış ve oda sıcaklığında 1 mm/dak bir hızla çekme cihazında çekilerek mekanik verileri elde edilmiştir. Ayrıca yapıştırıcının kayma şekil değiştirme verilerinin elde edilmesi için TAST modeli kullanılmıştır. Alüminyum alaşımlı levhanın ve yapıştırıcının mekanik özellikleri ise Tablo1 ve Tablo 2 de verilmiştir [15].

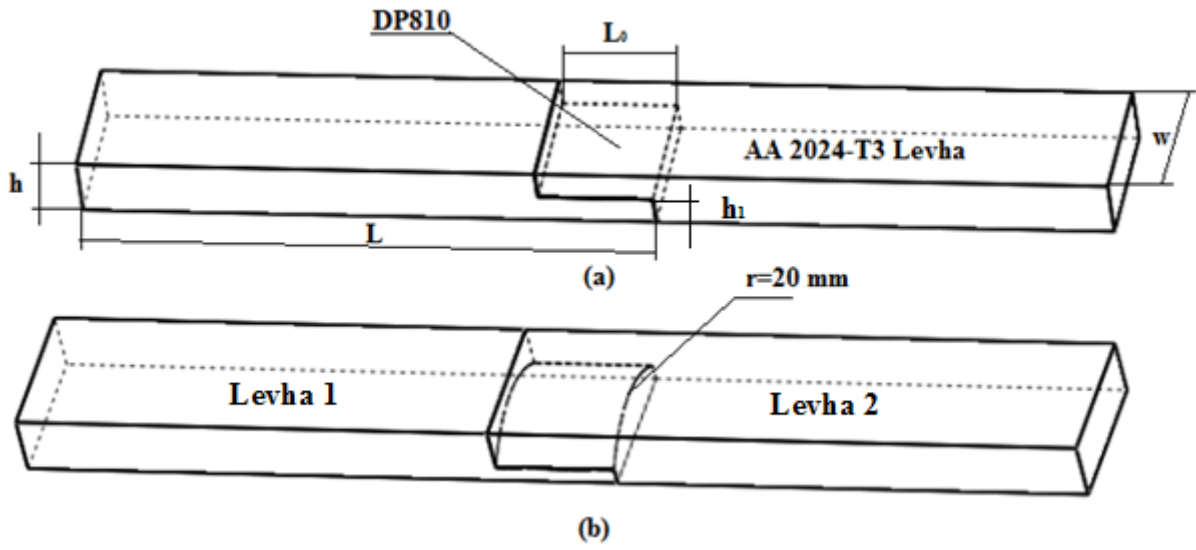
Tablo 1. Alüminyum alaşımın (2024-T3) mekanik özellikleri

Elastiklik Modülü, E [MPa]	71875
Poisson Oranı, ν	0.33
Akma Mukavemeti, σ_y [MPa]	361.74
Kopma Mukavemeti, σ_f [MPa]	481.9
Kopma uzaması, ϵ_f (%)	0.1587

Tablo 2. Yapıştırıcının (DP 810) mekanik özellikleri

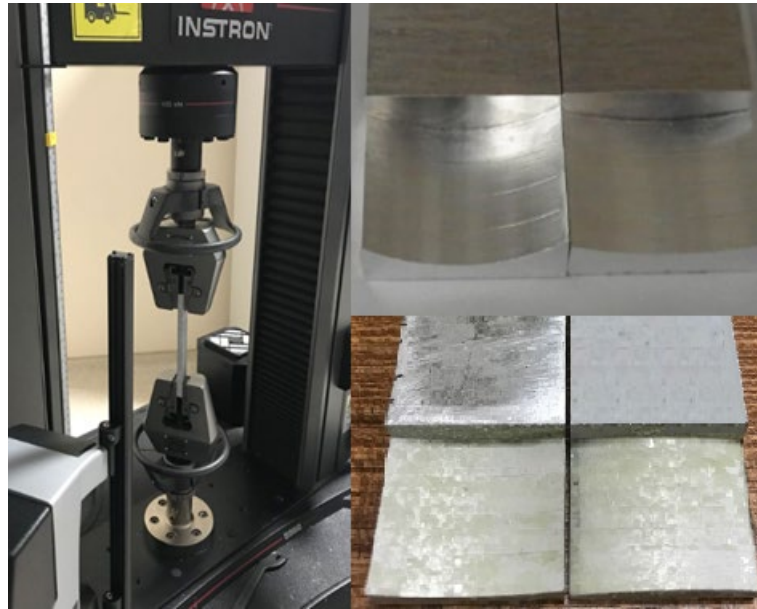
Elastiklik Modülü, E [MPa]	497.76±28.75
Poisson oranı, ν	0.35
Akma Mukavemeti (Normal) , σ_y [MPa]	15.38±3.48
Kopma Mukavemeti , σ_f [MPa]	20.07±2.61
Kopma uzaması (Normal), ϵ_f (%)	0.078±0.02
Kayma Modülü, G [MPa]	184.35±28.75
Akma Mukavemeti (Kayma), τ_y [MPa]	15.28±4.8
Kopma Mukavemeti (Kayma), τ_f [MPa]	29.73±2.02
Kopma uzaması (Kayma), γ_f (%)	0.12±0.008
Tokluk (Normal doğrultuda), G_n^0 [N/mm]	0.7
Tokluk (Kayma doğrultusunda), G_s^0 [N/mm]	1.9

Çekme yüküne maruz bindirme bağlantılarının sonlu elemanlarla yapılan çözümlerin doğrulanması için L= 100 mm uzunluğunda, h=10 mm kalınlığında, w=25 mm genişliğinde alüminyum levhalar üzerine, alın eğrisel bindirme bağlantısı oluşturmak için $L_0= 20$ mm bindirme uzunluğunda ve $r= 20$ mm yarıçapında alın eğrisel bindirme bağlantıları oluşturulmuştur. Ayrıca $t=0.2$ mm yapıştırıcı kalınlığının elde edilmesi için, levha 1'e $r_1=19.9$ mm yarıçaplarında eğrisel yüzeyler oluşturulmuş, levha 2'ye ise $r_2=20.1$ mm'lik yarıçaplarında eğrisel yüzeyler oluşturulmuştur (Şekil 1). Oluşturulan numunelerin levha-yapıştırıcı arasında iyi bir tutunmanın sağlanması için levha yüzeyleri temizlik işlemine tabi tutulmuş ve alüminyum levha üzerine yapıştırıcı uygulanmıştır. Yapıştırıcı uygulanan deney numuneleri bir kalıba konularak oda sıcaklığında bir gün bekletilerek elde edilmiştir.



Şekil 1. Bindirme bağlantılarının geometrik parametreleri (a) Düz Bindirme bağlantısı (b) alın eğrisel bindirme bağlantısı

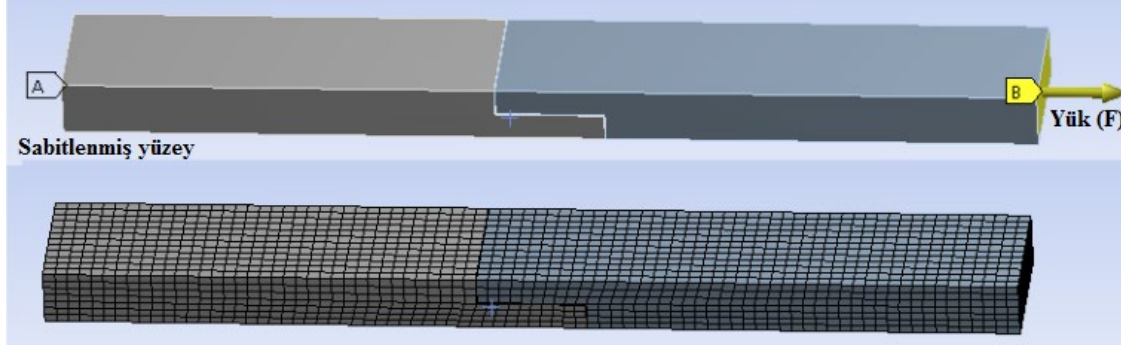
Elde edilen deney numuneleri, 100 kN lük çekme cihazında, 0.5 mm/dak bir hızla, oda sıcaklığında çekme yüküne maruz bırakılmıştır (Şekil 2). Elde edilen hasar yükleri sonuç bölümünde verilmiştir.



Şekil 2. Çekme cihazında deneylerin yapılması

3. Nümerik Analiz

Alın eğrisel bindirme bağlantılarının sonlu elemanlar çözümü için Ansys Workbench (Versiyon 15) programında üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve oluşturulan modellere yük ve sınır şartları uygulanarak çözümler yapılmıştır (Şekil 3). Yapılan çalışmanın lineer olmayan malzeme özellikleri Tablo1 ve Tablo 2’den elde edilerek tanımlanmıştır.



Şekil 3. Sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli

Bu çalışmada sonlu elemanlar analizi için kohezif bölge modeli olarak üçgen (bilinear) ve üstel (exponential) kuralı kullanılmıştır. CZM kanunlarına göre gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin (Çekme, kayma) en üst noktasına kadar olan bölgede malzeme elastik bölgededir. en üst noktadan sonra ise malzeme plastik bölgeye girdiğini söylemektedir [16]. Kohezif bölge modeli lineer elastik davranış sergileyen ara yüzeydeki kayma ve çekme durumlarına karşılık gelen gerilme ve şekil değiştirme halleri cinsinden ifade edilir. Burada kohezif bölge modelinin üçgen kuralında t_n ve t_s eşitlik 1’deki gibi ifade edilir [17].

$$t_{n,s} = K_{n,s} \delta_{n,s} (1 - d_{n,s}) \quad (1)$$

$$d_{n,s} = \begin{cases} 0 & \delta_{n,s}^f \leq \delta_{n,s} \\ \left[\frac{\delta_{n,s} - \delta_{n,s}^0}{\delta_{n,s}} \right] \left[\frac{\delta_{n,s}^f}{\delta_{n,s}^f - \delta_{n,s}^0} \right] & \delta_{n,s} < \delta_{n,s}^f \leq \delta_{n,s}^0 \\ 1 & \delta_{n,s}^f \geq \delta_{n,s}^0 \end{cases} \quad (2)$$

$K_{n,s}$ (çekmede K_n , kaymada K_s) kohesive rijitliğini, $d_{n,s}$ (çekmede d_n ve kaymada d_s) üçgen (bilinear) cohesive kanunu için hasar parametrelerini (2) ifade eder (burada $d_{n,s}=0$ ise malzeme elastik bölge olduğunu, $d_{n,s}=1$ ise malzemenin tamamıyla hasara uğradığını göstermektedir), $\delta_{n,s}^0$ maksimum cohesive çekme anındaki yer değiştirmeyi, $\delta_{n,s}^f$ ayrılma tamamlandığı andaki yer değiştirmeyi, $\delta_{n,s}$ deformasyon boyunca elde edilen maksimum yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Kohezif bölge modelinin üstel modelinde [18-19] ise t_n ve t_s eşitlik 3 ve 4’deki gibi ifade edilir.

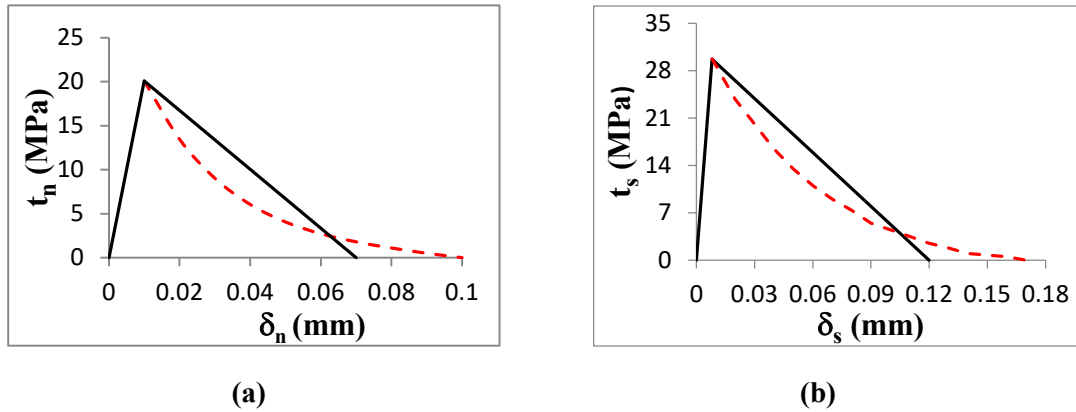
$$t_n = e \sigma^{\max} \Delta_n e^{-\Delta_n} e^{-\Delta_t^2} \quad (3)$$

$$t_s = 2e \sigma^{\max} \frac{\delta_n}{\delta_t} \Delta_t (1 + \Delta_n) e^{-\Delta_n} e^{-\Delta_t^2} \quad (4)$$

Burada σ^{max} , çekmedeki maksimum gerilmeyi ifade etmekte, Δ_n, Δ_t , ise eşitlik (5) ile ifade edilmektedir.

$$\Delta_{n,t} = \frac{\delta_{n,s}}{\delta_{n,s}^0} \quad (5)$$

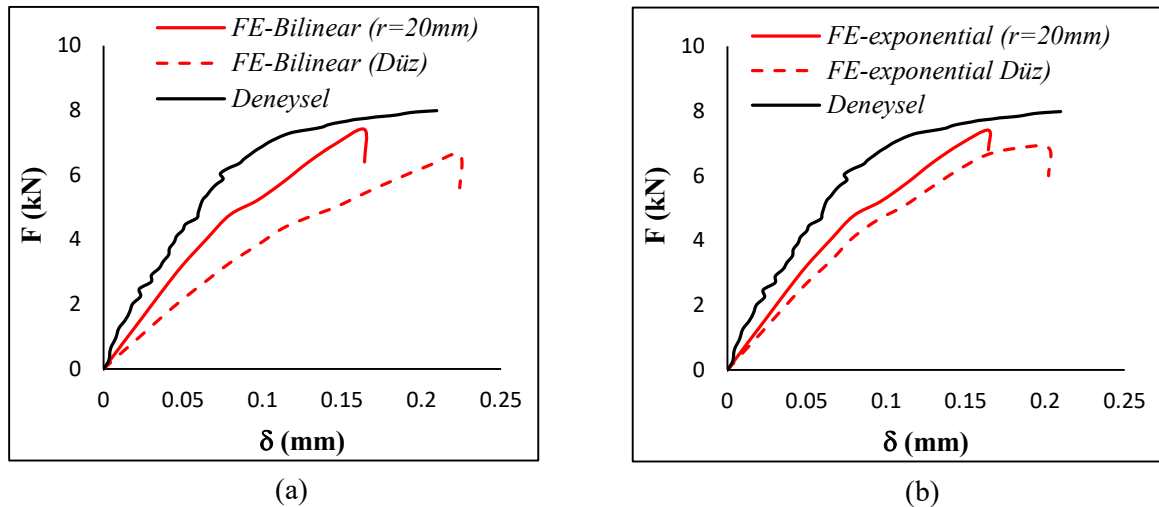
Bu çalışmada nümerik modeller kohezif bölge modeli kanunlarına göre üçgen (bilinear) ve üstel (exponential) kurallarına göre çözümlenmiştir. Kohezif bölge modeli ile yapılacak nümerik analizlerde, Şekil 1 ve Tablo 2 dikkate alınarak t_n ve t_s eğrileri elde edilmiştir. (Şekil 4).



Şekil 4. Kohezif bölge kuralına göre DP810'nun (a) Kohezif Normal mukavemet değeri (t_n) (b) Kohezif Kayma mukavemet değeri (t_s)

4. Araştırma Bulguları

Şekil 5 (a), (b)'de kohezif bölge kanunlarına göre nümerik hasar yüklerinin üçgen, üstel ve deneysel sonuçları verilmiştir. Şekil 5. a, b incelendiğinde her iki çözüm yöntemine göre alın eğrisel bindirme bağlantısının düz bindirme bağlantısına göre daha fazla hasar yükü çektiği görülmektedir. Bu durum alın eğrisel bindirme bağlantısının bindirme genişliği eğrisel bir geometrik yapıya sahip olduğundan dolayı bindirme genişliği düz bindirme bağlantısına göre daha uzun olmaktadır.



Şekil 5. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Alın eğrisel bindirme bağlantısının bindirme genişliği yayın uzunluğuna kadar olmaktadır (Şekil 1). Bindirme genişliği arttığından dolayı birim uzunluk başına düşen soyulma gerilmelerinin düşmesine sebep olmuştur. Ayrıca bindirme genişliği arttıkça yapıştırıcının uygulandığı yüzey alan artmasına ve birim alan başına düşen gerilme değerinin düşmesine sebep olmuştur.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada çekme yüküne maruz alüminyum alaşımlı levhalar için yapıştırıcı ile birleştirilmiş alın eğrisel bindirme bağlantısı ile düz bindirme bağlantısının nümerik olarak kohezif bölge modeline göre karşılaştırılması yapılmış ve deneysel olarak doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre alın eğrisel bindirme bağlantısının bindirme genişliğinin artmasıyla özellikle hasarın başladığı uç bölgelerde birim uzunluk başına düşen soyulma gerilmelerinin azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Alın eğrisel bindirme bağlantısının düz bindirme bağlantısına göre daha fazla hasar yükü çektiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2018-0003 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Barbosa, AQ, da Silva LFM, Abenojar J, Figueiredo M, Ochsner A. Toughness of a brittle epoxy resin reinforced with micro cork particles: Effect of size, amount and surface treatment. *Composites: Part B* 2017; 31: 299–310.
- [2] Lia R, Noda NA, Takaki R, Sano Y, Takase Y, Miyazaki, T. Most suitable evaluation method for adhesive strength to minimize bendeffect in lap joints in terms of the intensity of singular stress field. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2018; 86: 45–58.
- [3] Bendemra H, Compston P, Crothers PJ. Optimisation study of tapered scarf and stepped-lap joints in composite repair patches. *Composite Structures* 2015; 130: 1–8.
- [4] Costa-Mattos HS, Monteiro AH, Sampaio EM. Modelling the strength of bonded butt-joints. *Composites: Part B*; 41: 654–662.
- [5] Moreira RDF, Campilho RDSG. Strength improvement of adhesively-bonded scarf repairs in aluminium structures with external reinforcements. *Engineering Structures* 2015; 101: 99–110.
- [6] Marques EAS, da Silva LFM. Joint Strength Optimization of Adhesively Bonded Patches. *The Journal of Adhesion* 2008;. 84: 915–934.
- [7] Adams RD, Pepiatt NA. Stress analysis of adhesive-bonded lap joints. *Journal of strain analysis* 1974; 9: 185–196.
- [8] Adams RD, Harris JA. The influence of local geometry on the strength of adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 1987; 7: 69–80.
- [9] Aydın MD, Özel A, Temiz Ş. The effect of adherend thickness on the failure of adhesively-bonded single-lap joints. *Journal of adhesion science and technology* 2005; 19: 705-718.
- [10] Özel A, Aydın M, Temiz Ş. The effects of overlap length and adherend thickness on the strength of adhesively bonded joints subjected to bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2004; 18: 313-325.
- [11] Özel A, Temiz Ş, Aydın MD. Effect of overlap length on durability of joints bonded with a pressure-sensitive adhesive. *Journal of adhesion science and technology* 2005; 19: 57-71.

- [12] Adams RD, Harris JA. The influence of local geometry on the strength of adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 1987; 7: 69-80.
- [13] Stein N, Rosendahl PL, Becker W. Modelling load transfer and mixed-mode fracture of ductile adhesive composite joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2018; 82: 299–310.
- [14] Campilho RDSG, Banea MD, Neto JABP, da Silva LFM. Modelling adhesive joints with cohesive zone models: effect of the cohesive law shape of the adhesive layer. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2013; 44: 48–56.
- [15] Çitil Ş, Bozkurt İ, Aydın MD. Experimental and 3D non-linear stress analysis of adhesively bonded pipes with curved-surface lap joints. *The Journal of Adhesion* 2019; 95: 515–528.
- [16] Jimenez S, Duddu R. On the parametric sensitivity of cohesive zone models for high cycle fatigue delamination of composites. *International Journal of Solids and Structures* 2016; 82: 111–124.
- [17] Alfano G, Crisfeld MA. Finite element interface models for the delamination analysis of laminated composites: mechanical and computational issues. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 2001; 50: 1701-1736.
- [18] Xu XP, Needleman A. Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 1994; 42: 1397-1434.
- [19] Ansys HTML Documentation, Cohesive Zone Material (CZM) Model –SHARCNet, 2017.

YKBDD / ORTA KARBONLU ÇELİK ÇİFTİNİN NİKEL ARA TABAKA KULLANILARAK SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Tanju TEKER¹, Eyyüp Murat KARAKURT^{2*}

^{1,2}Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 09.09.2019 Kabul tarihi: 26.11.2019

ÖZET

Bu çalışmada; nikel ara tabakalı orta karbonlu çelik ile yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD), farklı sürtünme süreleri (8, 10 ve 12 s) kullanılarak sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak morfolojisi; optik mikroskop (OM), enerji dağılım spektrometresi (EDS), X-Işını kırınımı (XRD) ve mikrosertlik analizleri ile incelenmiştir. Buna göre, kaynaklı bağlantılar aşırı plastik deforme olmuş bölge, plastik deforme olmuş bölge, kısmi plastik deforme olmuş bölge ve esas metal olmak üzere dört bölgeye ayrılmıştır. EDS sonuçlarından anlaşılmaktadır ki; tüm kaynaklı bağlantıların birleştirme bölgelerinde atom geçişleri gerçekleşmiştir. En yüksek mikrosertlik değeri ise 12 s sürtünme süresine maruz kalan kaynaklı bağlantıda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme kaynağı, YKBDD, Orta karbonlu çelik, EDS, XRD

COMBINATION OF HCrWCI/ MEDIUM CARBON STEEL COUPLE BY FRICTION WELDING USING NICKEL INTERLAYER

ABSTRACT

In this study; medium carbon steel with nickel interlayer and high chromium white cast iron (HCrWCI) were combined by friction welding method using different friction times (8, 10 and 12 s). Welding morphology was analyzed by optical microscope (OM), energy dispersion spectrometer (EDS), X-Ray diffraction (XRD) and microhardness. Accordingly, the welded joints were divided in to four zones, the full plastic deformed zone, the plastic deformed zone, the partially plastic deformed zone, and the base metal. The results of EDS analysis indicated that the atomic transitions were performed at the weld interface of all weld joints. The highest microhardness value was obtained in welded joint which was subjected to the friction time of 12 s.

Keywords: Friction welding, HCrWCI, Medium carbon steel, EDS, XRD

1. Giriş

Sürtünme kaynağı yöntemi; sürtünme sırasında meydana gelen hareket enerjisinin termal enerjiye dönüşümüne bağlı olarak elde edilen birleştirme yöntemidir [1,2]. Kaynak edilecek parçalardan biri sabit tutulurken, diğeri açısız bir hızla dönmeye başlar. Aynı aksel yönde bir basınç uygulanır [3]. Böylece sabit olan malzemeden, aksel dönme hareketine sahip olan diğere malzemeye doğru bir ısı transferi gerçekleşir [4]. Meydana gelen bu sıcaklık artışı, temas bölgelerini lokal ergime sıcaklıklarına çıkarır. Böylece bu bölgelerde kalıcı plastik deformasyonlar meydana gelir [5]. Genellikle, burada oluşan sıcaklık artışı, kaynak edilecek olan malzemelerin ergime sıcaklığından düşük olarak ölçülür [6].

* e-mail: tteker@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7293-0723>
eyyupmuratkarakurt@gmail.com ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7293-1742>

Temas eden bölgelerde meydana gelen plastik deformasyonları takiben uygulanan aksel basınç kuvvetiyle malzemeler tam ergime olmadan birleştirilmiş olur [7,8].

Parçaların birleştirilmesi sırasında kaynak bölgesinde tam olarak bir ergime havuzu oluşmadığından ve ilave malzeme kullanılmadığı için bu yöntem bir kaynak işleminden daha çok, dövme işlemine benzemektedir [9]. Sürtünme sonrası aksel basıncının etkisiyle dışarı taşması, yığılma fazının bir sonucudur [10]. Bu dışarı taşan malzeme; sürtünme ısı tarafından mikroyapısında değişiklik olan kısımlar olduğu için dar bir ITAB alanı meydana gelir [11]. Madhusudhan ve diğ., maraging çeliği ile düşük karbonlu çelik çiftlerine, hem nikel ara tabakasız hem de nikel ara tabakalı sürtünme kaynak işlemi yapmışlardır. Buna göre; nikel ara tabaka kullanılmadan yapılan sürtünme kaynak işleminde kaynaklı çiftin çekme mukavemeti, çentik darbe direnci esas metallere göre daha düşük çıkmışken, nikel ara tabakalı kaynaklı numunelerde böyle bir durum ortaya çıkmamıştır. Bu da göstermektedir ki; nikel ara tabakanın malzeme çiftleri arasında difüzyon bariyer oluşturarak karbon ve mangan gibi kolay difüze olan atomların göçüne izin vermeyerek kırılma ve sert fazların oluşumunu engellediğinden başarılı bir kaynaklı birleştirme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır [12].

Bu çalışmada; nikel ara tabakalı orta karbonlu çelik ile yüksek kromlu beyaz dökme demirin, farklı sürtünme süreleri kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği incelenerek en optimum sürtünme kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen Ø12x75 mm ölçülere sahip olan silindir şekilli içi dolu olan yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) ile yine aynı ölçülere sahip orta karbonlu çelik (AISI 1030) çifti kullanılmıştır. Ayrıca bu iki malzeme arasına sürtünme kaynağı sırasında yerleştirilecek olan yine ticari olarak temin edilen Ø8x2 mm ölçülere sahip olan nikel pullar, ara tabaka olarak kullanılmıştır. Sürtünme kaynağı deneylerinde kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği (%ağ.).

Malzeme	Fe	Ni	C	Cr	Si	Mn	P	S	Mo
YKBDD	Kal.	0.5	3.2	27.4	1.16	2.3	0.01	0.02	2.3
AISI 1030	Kal.	-	0.36	-	0.25	0.8	0.02	0.04	-
Nikel	0.3	Kal.	0.06	0.02	0.6	-	0.006	-	0.68

Sürtünme kaynak işleminden önce orta karbonlu çelik çubukların kaynak edilecek yüzeylerinde, Ø8x2 mm ölçülere sahip oluklar açılmıştır. Açılan bu oluklara Ø8x2 mm ölçülere sahip nikel pullar yerleştirilerek, sürtünme kaynağı için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra sürtünme kaynağı için Çizelge 2’de verilen düzende deneysel program belirlenmiştir.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan sürtünme kaynak parametreleri.

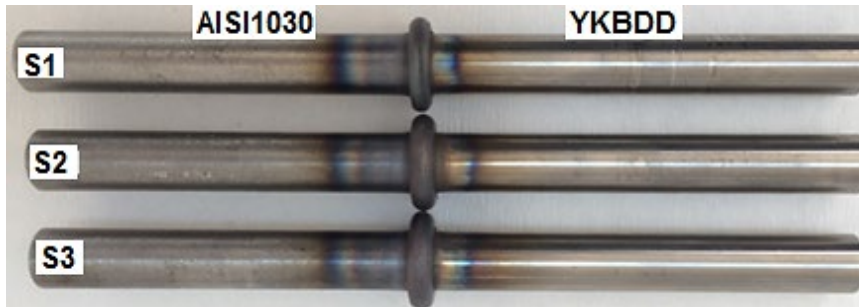
Numune No	Devir Sayısı (dev dak ⁻¹)	Sürtünme Süresi (s)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığılma Basıncı (MPa)	Yığılma Süresi (s)
S1	2000	8	80	150	8
S2	2000	10	80	150	8
S3	2000	12	80	150	8

Sürtünme kaynak sonrası, meydana gelen mikroyapısal değişimi tespit etmek amacıyla hazırlanan deney numunelerinin, ara kesit yüzeyleri 80-1200 mesh'lik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalandıktan sonra YKBDD tarafı; vilella çözeltilisi (1 g pikrik asit, 5 ml HCl ve 100 ml etil alkol) ile dağlanırken, orta karbonlu çelik tarafı ise nital (%2 HNO₃ +%98 etil alkol) çözeltilisi kullanılarak 3-5 s dağlandı. Kaynaklı bağlantıların mikroyapısal değişimi Leica marka optik mikroskop (OM) ile incelenmiştir. Kaynak sonrası atomik geçişleri net görmek adına, enerji dağılım spektrometresi (EDS) (Zeiss marka EVO LS 10) analizleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçüm analizleri Qness Q10 marka test cihazında 100 g'lık yük altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Bruker marka XRD (X-ray diffractometer RadB-DMAX II) cihazı, kullanılarak Cu K_α radyasyonu, $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ dalga boyu ile 2θ olarak 2° den 80° ye kadar bir aralıkta testler yapıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Makro ve Mikroyapı Analiz Sonuçları

Farklı üretim parametreleri ve nikel ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiş olan tüm kaynaklı bağlantıların, makro fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir. S1-S3 no'lu kaynaklı bağlantılar için, YKBDD tarafında dar bir termomekanik etkilenmiş bölge oluşurken, orta karbonlu çelik tarafında ise daha geniş bir termomekanik etkilenmiş bölge oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, karbonlu çelik tarafının termal iletkenlik katsayısının YKBDD'e göre daha yüksek olmasıdır. Ayrıca S1, S2 ve S3 numunelerinde flanş oluşumu yalnız orta karbonlu çelik tarafında tespit edilmiştir. Çünkü YKBDD içerisindeki alaşım elementleri, yüksek sıcaklıklarda dahi plastik şekil değiştirme yeteneği üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Bu durum YKBDD'nin yüksek sıcaklıktaki plastik şekil değiştirme yeteneği üzerinde negatif bir etki oluşturmaktadır. Buna ek olarak artan sürtünme süresine bağlı olarak dışarı taşan malzeme miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Buna göre en fazla flanş oluşumu S3 no'lu kaynaklı bağlantıda elde edilmiştir.



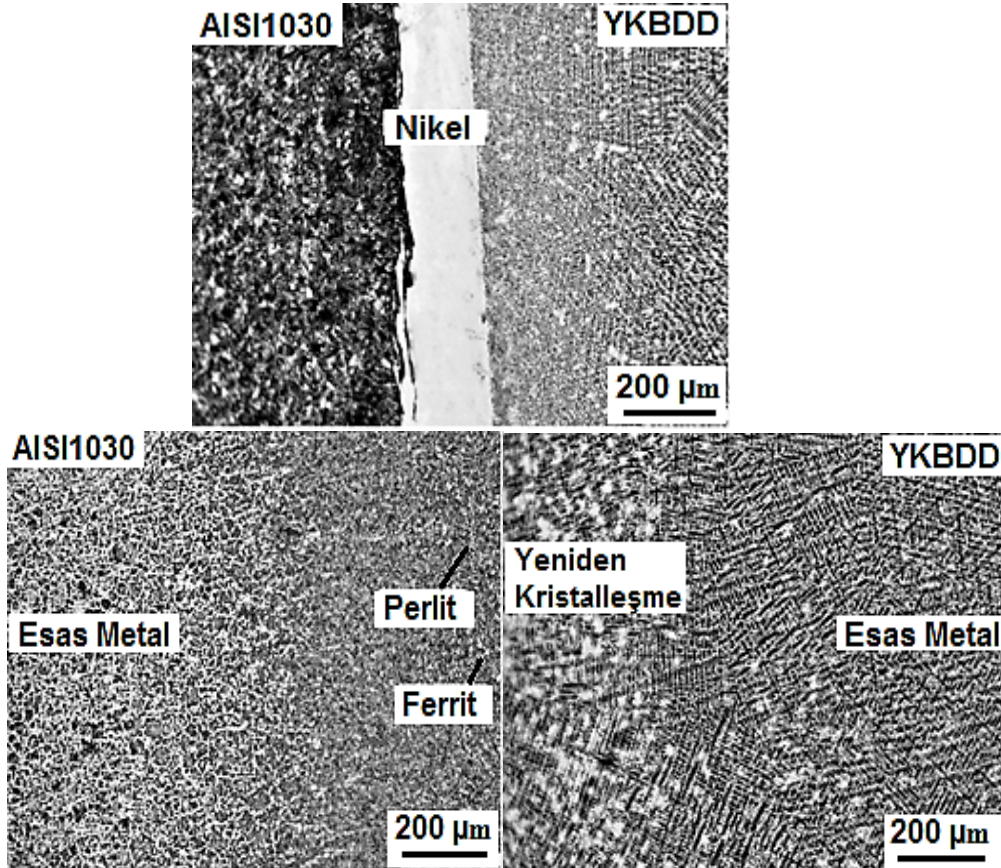
Şekil 1. S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı birleştirmelerin makro görüntüleri.

YKBDD ile orta karbonlu çelik çiftinin nikel ara tabaka kullanılarak, sürtünme süresi (8, 10 ve 12 s), devir sayısı (2000 dev dak⁻¹), sürtünme basıncı (80 MPa), yığılma basıncı (150 MPa) ve yığılma süresi (8 s) kullanılarak birleştirilen S3 no'lu kaynaklı bağlantının ara yüzey optik fotoğrafı Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, sürtünme kaynak sonrası S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılarda aşırı soğuma hızına bağlı olarak, gözenek ve çatlakların oluşmadığı ve kaynaklı birleştirmelerin başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. YKBDD ile orta karbonlu çelik kaynak malzemeleri arasında kalan nikel tabakası, bir örtü gibi iki malzeme arasındaki bağlantısız bölgeleri ve gözenekleri doldurarak, iyi bir metalurjik bağın oluşmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, artan sürtünme süresine bağlı olarak kaynak malzemeleri arasında kalan nikel ara tabakasının kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir. Optik fotoğraflarından yapılan ölçeklendirme ile S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılar için ölçülen nikel

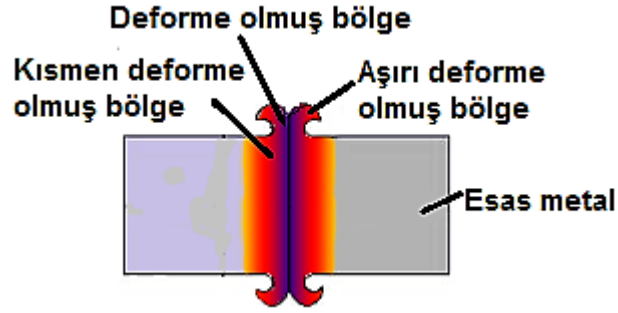
ara tabakanın kalınlıkları; 52, 44 ve 27 μm olarak ölçülmüştür. Buna göre en kalın nikel ara tabakası S1 no'lu numunede ölçülmüşken, en ince nikel ara tabakası S3 no'lu numunede ölçülmüştür. Çünkü artan sürtünme süresi, merkez kaç kuvvetini arttırmış olup, nikelin dışarı flanş olarak taşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. YKBDD tarafındaki nikel ara yüzü daha pürüzsüz bir yapıya sahip iken, orta karbonlu çelik tarafındaki nikel ara yüzü daha pürüzlü bir yapıya sahiptir. Buna sebep olarak sürtünme YKBDD tarafındaki nikel ara yüzünde meydana gelmesinden dolayı o bölgedeki nikeli lokal olarak ergitmesi gösterilebilir.

Ayrıca her iki malzemenin de ısı tesiri altında kalan bölgesinde (ITAB) soğuma hızlarına bağlı olarak farklı mikroyapısal oluşumların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun şematik gösterimi Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre malzeme çiftlerinde aşırı deforme olmuş bölge (ADB), deforme olmuş bölge (DB), kısmen deforme olmuş bölge (KDB) ve esas metal (EM) olmak üzere dört farklı bölge tespit edilmiştir [13, 14]. Buna göre, orta karbonlu çelik ve YKBDD tarafındaki aşırı deforme olmuş bölge; sürtünme kaynağı sırasında çıkılan yüksek sıcaklıktan dolayı, kısmen ergimiş ve viskoz hale gelen malzemenin dışarı atılması sonucu oluşmaktadır. Bu bölgenin genişliği artan sürtünme süresiyle orantılı olarak artmıştır.

Bu bölge, düzensiz bir katılaşma sonucu bir kaynak ergime havuzunda meydana gelmektedir. Deforme olmuş bölgede ise özellikle nikelin varlığı bu bölgede meydana gelen krom-karbür veya martenzit gibi fazların oluşumunu kısmen engellemiştir. Artan sürtünme süresiyle birlikte bu bölgenin genişliği azalma eğilimine girmiştir. Kısmi deformasyona uğramış bölgede ise, karbonlu çelik tarafında yüksek sıcaklıktan sonra meydana gelen hızlı soğutma, eş eksenli iri perlit taneciklerinin oluşumuna sebep olmuştur. YKBDD tarafında ise alaşım elementlerin varlığından dolayı yeniden kristalleşmeye maruz kalan taneler tespit edilmiştir.



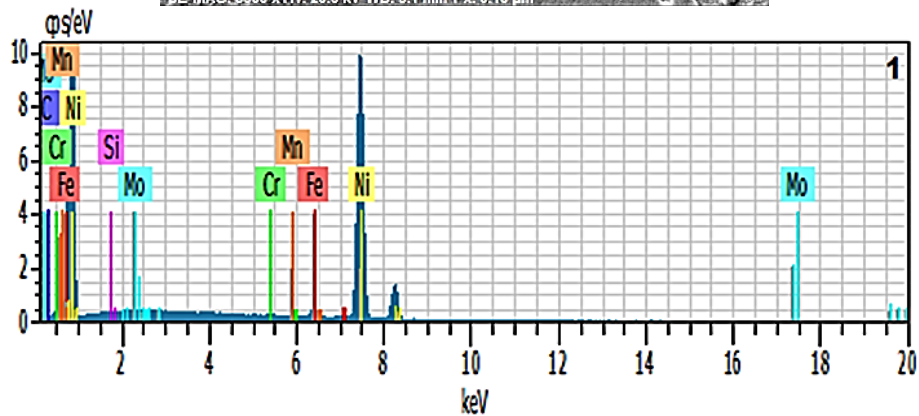
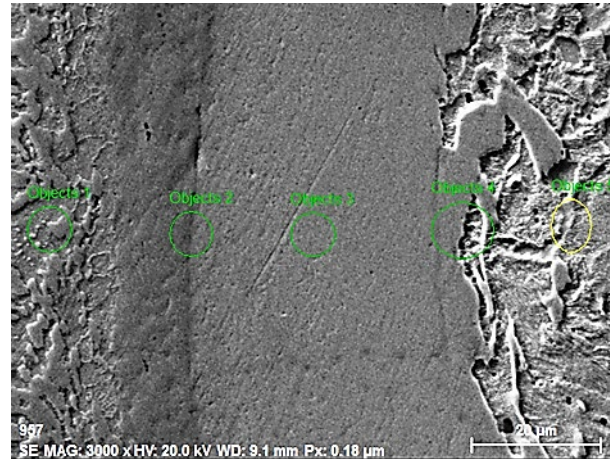
Şekil 2. S3 no'lu kaynaklı bağlantının optik mikroskop görüntüleri.

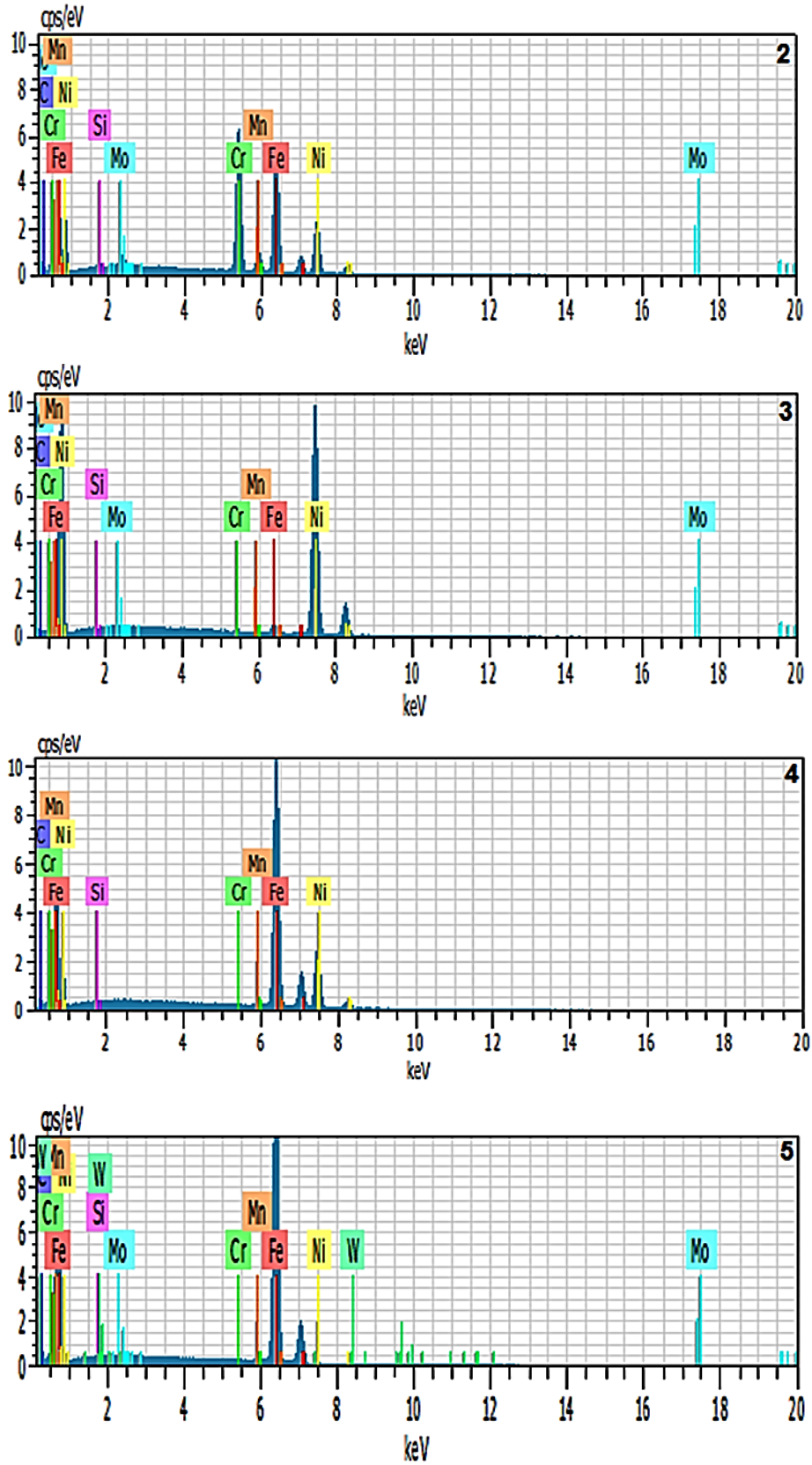


Şekil 3. Sürtünme kaynak sonrası oluşan ITAB'ın şematiği.

3.2. EDS Analiz Sonuçları

S3 no'lu kaynaklı bağlantıya ait EDS sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Sürtünme ısısından kaynaklanan ara yüzlerdeki sıcaklık artışı orta karbonlu çelik ve YKBDD arasındaki malzeme difüzyonunu kolaylaştırmıştır. Fakat esas metale doğru gidildikçe element difüzyonunun azaldığı ve malzemelerin kendi içyapılarında bulunan orijinal elementel yüzdelere yaklaşıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca; orta karbonlu çelik ile YKBDD'nin sürtünme kaynağında ara tabaka olarak kullanılan nikelin, kaynak bölgelerine yakın olan iki tarafa da difüze olduğu tespit edilmiştir. Nikel ara tabaka kısmından alınan EDS sonuçlarında ise beklendiği gibi en yüksek nikel oranı çıkmıştır (S1: %90, S2: %91 ve S3: %91). S3 no'lu kaynaklı bağlantının EDS analizi göstermiştir ki; Cr, C, Mn, Si ve Mo gibi YKBDD tarafında alaşım elementi olarak bulunan atomların orta karbonlu çelik tarafındaki kaynak bölgesine yakın yerlerde rastlanmıştır.

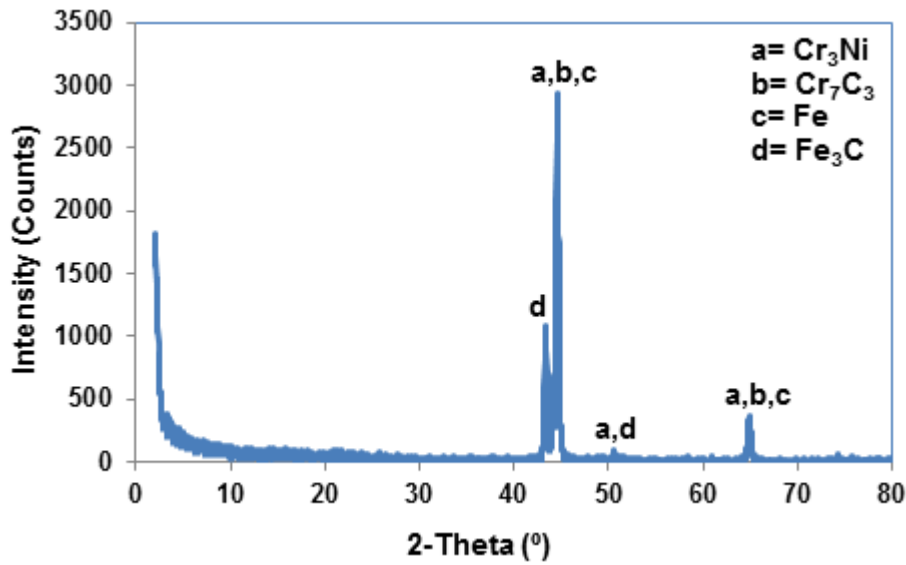




Şekil 4. S3 no'lu kaynaklı bağlantının EDS analiz noktalarını gösteren SEM görüntüsü ve EDS analiz grafikleri.

3.3. XRD Faz Analiz Sonuçları

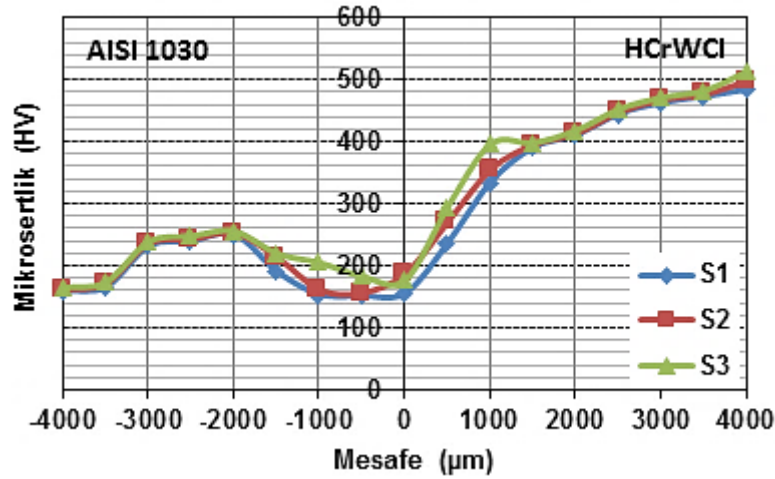
S3 no'lu kaynaklı bağlantının birleşme ara bölgesinde oluşan fazları ve bileşikleri tespit etmek amacı ile yapılan XRD analizinin grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Sürtünme kaynak sonrası S3 no'lu kaynaklı birleştirmede Cr_3Ni_2 , Cr_7C_3 , Fe ve Fe_3C bileşenlerine rastlanmıştır. YKBDD ile orta karbonlu çeliğinin nikel ara tabakalı sürtünme kaynağı esnasında, kaynak bölgesindeki elementler, kaynak bölgesi ve termomekanik etkilenmiş bölge içerisinde bazı faz dönüşümleri gerçekleşmiştir. Bu dönüşümler sonucunda krom ve demirin farklı faz kristalleri açığa çıkmıştır. Ayrıca ara tabaka olarak kullanılan nikel, sürtünme kaynak sırasında meydana gelen sıcaklık artışı neticesinde YKBDD tarafında bulunan krom ile birleşerek Cr_3Ni_2 fazını meydana getirmiştir. Artan sürtünme süresine bağlı olarak, farklı ısı girdisinden kaynaklanan sebeple, fazların şiddetlerinde değişme meydana gelmektedir.



Şekil 5. S3 no'lu kaynaklı bağlantının XRD analiz grafiği.

3.4. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılara ait mikrosertlik-mesafe eğrileri Şekil 6' da verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantıların mikrosertlik eğrileri incelendiğinde, S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılardaki en yüksek mikrosertlik ölçümleri sırasıyla; 483, 498 ve 519 HV olarak YKBDD tarafında kaydedilmiştir. Buna göre; en yüksek sertlik değeri S3 no'lu kaynaklı bağlantıda ölçülmüştür. En yüksek mikrosertlik değerleri kaynak malzemelerinin ITAB'larında meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise ani soğumaya maruz kalan bu bölgeler; krom karbür gibi sert ve kırılğan olan bileşenlerin oluşmasına müsaade etmiştir. Miktar olarak artan bu fazların sertlik artışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu aşikârdır. Kaynak bölgesinde bulunan nikel ara tabakası ise bir astar görevi görerek, kaynak bölgesinde bu fazların oluşmasına izin vermediğinden dolayı, mikrosertlik değerleri bu bölgelerde düşüş eğilimi göstermiştir.



Şekil 6. S1-S3 no'lu kaynaklı bağlantılara ait mikrosertlik-mesafe eğrileri.

4. Sonuçlar

YKBDD ile orta karbonlu çelik çifti farklı üretim parametreleri (sürtünme süresi) ve nikel ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

YKBDD ile yine aynı ölçülere sahip orta karbonlu çelik malzeme çifti sürtünme kaynağı ile nikel ara tabaka kullanarak başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir.

YKBDD tarafında dar bir termomekanik etkilenmiş bölge oluşurken, orta karbonlu çeliğin tarafında ise daha geniş bir termomekanik etkilenmiş bölge gözlenmiştir.

YKBDD ile orta karbonlu çelik kaynak malzemeleri arasında kalan nikel tabakası, bir battaniye gibi iki malzeme arasındaki bağlantısız bölgeleri ve gözenekleri doldurarak, iyi bir metalurjik bağın oluşmasına yardımcı olmuştur.

Kaynaklı bağlantıların EDS analizleri incelendiğinde; YKBDD tarafından orta karbonlu çeliğine doğru Cr, C, M, Si, Mn ve W elementlerinin geçişi, mekanik karışıma bağlı plastik deformasyon ve difüzyonla gerçekleşmiştir.

XRD analiz sonuçlarına göre; nikel ara tabakalı sürtünme kaynağı ile birleştirilen birleştirmelerde Cr_3Ni_2 , Cr_7C_3 , Fe, Fe_3C gibi fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılardaki en yüksek mikrosertlik ölçümleri sırasıyla; 483, 498 ve 519 HV olarak kaydedilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFYL/2016-0002 no'lu proje kapsamında desteklenmiş olup katkılarından dolayı ADYUBAP'a teşekkürlerimizi borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Sapate SG, RamaRao AV. Erosive wear behaviour of weld hard facing high chromium cast irons: effect of erodent particle. *Wear* 1999; 39: 441–447.
- [2] Teker T. Evaluation of the metallurgical and mechanical properties of friction-welded joints of dissimilar metal combinations AISI 2205/Cu. *Journal of Advanced and Manufacturing Technology* 2013; 66: 303–310.

- [3] Bedolla JA, Correa R, Quezada JG, Maldonado C. Effect of titanium on the as cast microstructure of a 16% chromium white iron. *Material Science and Engineering* 2005; 452: 297–308.
- [4] Sare Ç, Ersözlü İ. Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels. *Materials and Design* 2008; 30: 970–976.
- [5] Paventhan R, Lakshminarayanan PR, Balasubramanian V. Fatigue behaviour of friction welded medium carbon steel and austenitic stainless steel dissimilar joints. *Materials and Design*, 2011; 32: 1888–1894.
- [6] Sawai T, Ogawa K, Yamaguchi H, Ochi H, Yamamoto Y, Suga Y. Evaluation of joint strength of friction welded carbon steel by heat input. *Welding International* 2002; 16: 432–441.
- [7] Arivazhagan N, Senthilkumaran K, Narayanan S, Devendranath RK, Surendra S, Prakash S. Hot corrosion behavior of friction welded AISI4140 and AISI304 in K₂SO₄-60% NaCl mixture. *Journal of Material Science Technology* 2012; 28: 895–904.
- [8] Teker T, Yilmaz SO, Karakurt EM. Effect of different rotational speed on mechanical and metallurgical characterization of friction welded dissimilar steels. *Materials Testing* 2018; 60: 135–141.
- [9] Damodaram R, Raman SGS, Rao PK. Microstructure and mechanical properties of friction welded alloy 718. *Materials Science and Engineering* 2013; 560: 781–786.
- [10] Muralimohan CH, Muthupandi V, Sivaprasad K. Properties of friction welding titanium stainless steel joints with a nickel interlayer. *Procedia Materials Science* 2014; 5: 1120–1129.
- [11] Kumar R, Alasubramanian M. Experimental investigation of Ti6Al4V titanium alloy and 304L stainless steel friction welded with copper interlayer. *Defence Technology* 2015; 11: 65–75.
- [12] Madhusudhan RG. Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2012; 212: 66-77.
- [13] Meshram SD, Reddy GM. Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer. *Defence Technology* 2015; 11: 292–298.
- [14] Reddy GM, Ramana PV. Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2012; 212: 66–77.

SEYHAN ATIKSU ARITMA TESİSİ'NDE BİYOGAZ ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Harun TÜRKMENLER^{1*}

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 05.07.2019 Kabul tarihi: 25.11.2019

ÖZET

Biyogaz üretimi, öncelikle yenilenebilir enerji üretimi ve ayrıca organik atıkların değerlendirilmesi için iyi bir teknolojidir. Günümüzde biyogaz sektörü hızla büyümekte ve gelişmiş biyoenerji tesisleri olarak biyogaz tesislerinin kurulmasına zemin hazırlamaktadır. Bu çalışmada, tesisten anaerobik arıtma sonucu oluşan arıtma çamurundan biyogaz üretim verimliliğinin araştırılması amacıyla altı aylık (Ocak–Haziran 2017) veriler elde edilerek gerçekleştirilmiştir. Tesisin 2010 yılı toplam eşdeğer nüfusu, günlük debisi ve giriş BOİ₅ tasarım değerleri sırasıyla 1.151.066 E.N., 227.356 m³/gün ve 243 mg/L'dir. Çalışma kapsamında, tesiste üretilen biyogazın ortalama elementel analizi sonucunda CH₄, CO₂ ve net kalorifik değerleri sırasıyla %68,32, %31,5 ve 26 MJ/kg olarak bulunmuştur. Çürütücüye beslenen çamur miktarının altı aylık ortalama değeri 249,83 m³/gün ve buna karşılık elde edilen biyogaz miktarı ise 6.092,5 m³/gün'dür. Üretilen biyogaz, gaz jeneratörleri ile elektrik eldesinde ve kazanlar ile sıcak su eldesinde kullanılmaktadır. Çamurda yapılan organik madde analizleri sonucunda Toplam Katı Madde (TKM), Kuru Katı Madde (KKM) ve Uçucu Askıda Katı Maddenin (UAKM) ortalama değerleri sırasıyla 30.796,74 mg/L, 7,55 ton/gün ve 17.855,05 mg/L olarak bulunmuştur. Enerji geri kazanım verimi ise ortalama %75,83 tür.

Anahtar Kelimeler: Seyhan atıksu arıtma tesisi, Biyogaz üretimi, Anaerobik arıtma çamuru, Enerji

INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTION EFFICIENCY IN SEYHAN WASTEWATER TREATMENT PLANT

ABSTRACT

Biogas production is primarily a good technology for the production of renewable energy and also for the evaluation of organic wastes. Today, the biogas sector is growing rapidly and paving the way for the establishment of biogas plants as advanced bioenergy facilities. In this study, six months (January-June 2017) data were obtained to investigate the biogas production efficiency from the treatment sludge produced by anaerobic treatment. Total equivalent population, daily flow rate and inlet BOD₅ design values for the year 2010 are 1151066 EN, 227356 m³/day and 243 mg/L, respectively. In the scope of the study, the average elemental analysis of the biogas produced in the plant yields CH₄, CO₂ and net calorific values respectively 68.32%, 31.5% and 26 MJ/kg. The six-month average value of the amount of sludge fed to the digester was 249.83 m³/day and the amount of biogas obtained was 6092.5 m³/day. Produced biogas, gas generators and electric boilers with hot water is used to obtain. As a result of the organic matter analysis in the sludge, the average values of Total Solids (TS), Dry Solids (DS) and Volatile Suspended Solids (VSS) were found to be 30796.74mg/L, 7.55 ton/day and 17855.05 mg/L, respectively. Energy recovery efficiency is 75.83%.

Keywords: Seyhan wastewater treatment plant, Biogas production, Anaerobic treatment sludge, Energy

* e-posta: hturkmenler@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7603-7385>

1. Giriş

Hızlı nüfus artışı ve sürekli gelişen sanayi faaliyetleri, bir yandan büyük miktarda enerji ihtiyacı doğururken diğer yandan, insan hayatına ve eko sisteme zarar vermeksizin bertaraf edilmesi gereken büyük miktarlarda atık üretmektedir [1]. Günümüz koşullarında insanlığın hayat standardının giderek yükseliyor olması ve gelişen teknoloji, enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde tüketilmesine sebep olmaktadır. Dünyanın enerji ihtiyacının her geçen gün artması sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaya başlamıştır [2].

Enerji ihtiyacının fosil yakıtlar kullanılarak karşılanıyor olması, çevre sorunlarının temel nedenlerinden birisidir. Bu nedenle atıklardan üretilen yenilenebilir enerji, gelecekteki alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılacak biyokütleden birisi de atıksu arıtma tesisinde arıtma sonrası oluşan arıtma çamurlarıdır. Arıtma çamurlarının organik yükü fazla olduğundan anaerobik proseslerde çürütülmesi ile yüksek biyogaz verimi elde edilmektedir Anaerobik biyolojik arıtma sistemleri ile biyogaz üretimi, biyokütle yolu ile enerji elde etme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem birçok endüstriyel, zirai atık için uygulanabilir [3]. Dünyadaki en yaygın belediye atıksu arıtma yöntemi mekanik/biyolojik arıtma yöntemidir. Modern atık su arıtma tesisleri, neredeyse hiç kirlilik içermeyen oldukça verimli atık su arıtımını gösterir. Arıtma çamuru, bir enerji ve biyokütle kaynağı olarak daha fazla kullanılmasına izin vermek için yan ürün arıtımının bir sonucu olarak oluşur. Bununla birlikte, arıtma çamuru, yalnızca yüksek su içeriği (> %95) yükünü, yabancı kirlenmeyi, patojenik bakterileri ve kötü kokulu maddeleri azaltan veya ortadan kaldıran uygun işlemlerden sonra kullanılabilir [4, 5].

Atık aktif çamur, atık su arıtma tesislerinden üretilen son derece çürüyebilir bir kalıntıdır. Aktif çamur, bol miktarda organik madde, bakteriyel patojenler, besin maddeleri ve yüksek su içeriğine sahiptir. Bu nedenle, atık su arıtma tesislerinin işletme maliyetlerinin %50'sini oluşturduğu için çamur işleme çevresel ve ekonomik açıdan başlı başına büyük bir sorundur [6]. Bu nedenle, anaerobik çürütme, atık aktif çamur arıtımı için önemli bir seçenek olarak kabul edilmekte ve çamur stabilizasyonunu gerçekleştirerek çamur miktarının, kokunun, patojenlerin azalmasında ve biyogaz elde edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [7].

Biyogaz, organik maddenin kütlelerini oluşturan yağların, proteinlerin ve karbonhidratların parçalanması nedeniyle biyokütlenin anaerobik parçalanması yoluyla üretilir. Biyogaz üretimi, farklı organik atıklardaki kimyasal enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesi sırasında alternatif bir enerji üretim kaynağıdır. Bugüne kadar biyogaz üretimi, farklı tipte aerobik olmayan bakteriler kullanılarak organik atıkların biyokimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelmiştir [8]. Organik atıkların anaerobik çürütülmesi, organik katı atıkları ısı, elektrik ve yakıt üretmek için kullanılacak biyogaza dönüştürmek için uygun maliyetli ve çevre dostu bir işlem olarak kabul edilmiştir [9]. Bu çürütme işleminde, biyolojik olarak parçalanabilen organik atıklar, yaklaşık %50-75 metan ve %25-50 karbondioksit içeren yanıcı bir biyogaz üreten anaerobik bakteriler tarafından basit moleküllere dönüştürülür [10].

Günümüzde enerji çalışmaları hız kazanmıştır. Azalan hammadde kaynakları, artan ihtiyaçlar ve artan bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla alternatif enerji kaynaklarına ilgi artmaya başlamıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarından birisi olan biyogazın üretilmesi sonucunda, hem çevreyi kirleten atıklar değerlendirilmiş olacak ve hem de bu atıklardan enerji eldesi sözkonusu olacaktır. Bu çalışmanın amacı; Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nde (S.A.A.T.) arıtma prosesi sonucunda oluşan arıtma çamurlarının anaerobik çamur çürütücülerde oksijensiz ortamda çürütüldükten sonra çürütücüden elde edilen biyogazın üretim veriminin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Tesisin Genel Tanıtımı

Akdeniz'in kirlenmesine sebep olan bölge atıksularının toplanıp arıtılarak kirliliğin önlenmesi amacıyla Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisi (Seyhan) inşa edilmiştir. Tesisin devreye alınıp işletilmesiyle birlikte Akdeniz'in kirlenmesi de büyük ölçüde engellenmiş olacaktır. Tesis, 7 Haziran 2004 tarihinde işletmeye alınmıştır. Bu atıksu arıtma tesisinde, Seyhan Nehri ve drenaj kanallarına arıtmadan deşarj edilen evsel ve ön arıtmadan geçirilen endüstriyel atık sular arıtılmaktadır. Tesisin 2010 yılı toplam eşdeğer nüfusu, günlük debisi ve giriş BOİ₅ tasarım değerleri sırasıyla; 1.151.066 E.N., 227.356 m³/gün ve 243 mg/L'dir. S.A.A.T. için, hedef yıl 2010 yılı tahmini yükleri projelendirme baz alınarak, mekanik ön-arıtma, ön çökeltme ve çok yüklü aktif çamur prosesine göre, biyolojik arıtma tesisin birinci aşamasını kapsamaktadır. Bu ilk aşama dahilinde, çamur stabilizasyon (anaerobik mezofilik çürütme) ve çamur su-giderme tesisleri inşa edilmiştir. Çamur stabilizasyon ünitesi ikinci aşama için halihazırda tasarlanmıştır (hedef yıl 2025) [11]. Tesisin genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. S.A.A.T 'nin Genel Görünümü

Çamur çürütücü tanklarının her biri 9.000 m³ hacime sahiptir. Her bir çamur çürütücünün çapı 20 m, toplam yüksekliği ise 39,4 m'dir. Çamurun karıştırılması mekanik karıştırıcılar ile sağlanmaktadır. Çürütücülerde üretilen biyogaz çakıl filtrelerinden geçirilerek her biri 3.142 m³'lük hacme ve 20 m çapa sahip toplam 2 adet kuru gaz tankına gönderilmektedir.

2.2. Metod

Bu çalışma kapsamında, S.A.A.T.'nin altı aylık (Ocak 2017 - Haziran 2017) günlük giriş-çıkış BOİ₅, KOİ, AKM, TN, TP değerleri, çamur debisi ve biyogaz üretim miktarı ve elektrik üretim miktarı verileri temin edilmiştir. KOİ, BOİ₅, TN ve TP analizleri sırasıyla; dikromat reflux metot, respirometrik metot, persülfat sindirimi ve asit persülfat sindirimi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Çamurda yapılan TKM, AKM, UKM analizleri standart metotlar kullanılarak yapılmıştır [12]. Aylara ait çürütücüye beslenen çamur-biyogaz üretim miktarını gösteren tablolar oluşturulmuştur.

Ayrıca tesiste üretilen biyogazın ortalama elementel analiz sonucu ve biyogaz üretim miktarları da elde edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Analiz Sonuçları

Çürütücüye beslenen çamurun altı aylık ortalama TKM (mg/L), KK (kuru katı) (%), KKM (ton/gün), UAKM (mg/L, %) ve UYA (uçucu yağ asitleri) (mg/L) değerleri Çizelge 1’de, tesiste üretilen biyogazın Ocak–Haziran 2017 aylarına ait ortalama elementel analiz sonuçları ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çürütücüye Beslenen Çamurun; TKM (mg/L), KK (%), KKM (ton/gün), UAKM (mg/L, %) ve UYA (mg/L) Değerleri

Parametre	Çürütücü 1	Çürütücü 2	Çürütücü 3	Çürütücü 4
Beslenen Çamur (m ³ /gün)	253,95	249,06	251,56	244,78
TKM (mg/L)	31.267	30.490	30.559	30.871
KK (%)	3,11	3,05	3,05	3,10
KKM (ton/gün)	7,73	7,45	7,63	7,37
UAKM (mg/L)	18.249	17.721	17.661	17.789
UAKM (%)	58,4	58,1	57,8	57,7
UYA (mg/L)	251,2	198,5	183,6	189,8

Çizelge 2. Tesiste üretilen biyogazın ortalama elementel analiz sonuçları

Parametre	Analiz Sonuçları
CH ₄ (%)	68,32
CO ₂ (%)	31,5
O ₂ (%)	0,25
H ₂ (%)	0,00
N ₂ (%)	0,3
CO (%)	0,00
H ₂ S (ppm)	6.000
Net kalorifik değer (MJ/kg)	26

Çürütücülere beslenen çamurdaki TKM miktarı, 30.490-31.267 mg/L arasında değişmektedir. UAKM miktarı ise TKM’nin %57,7-58,4 ü arasında değişmektedir.

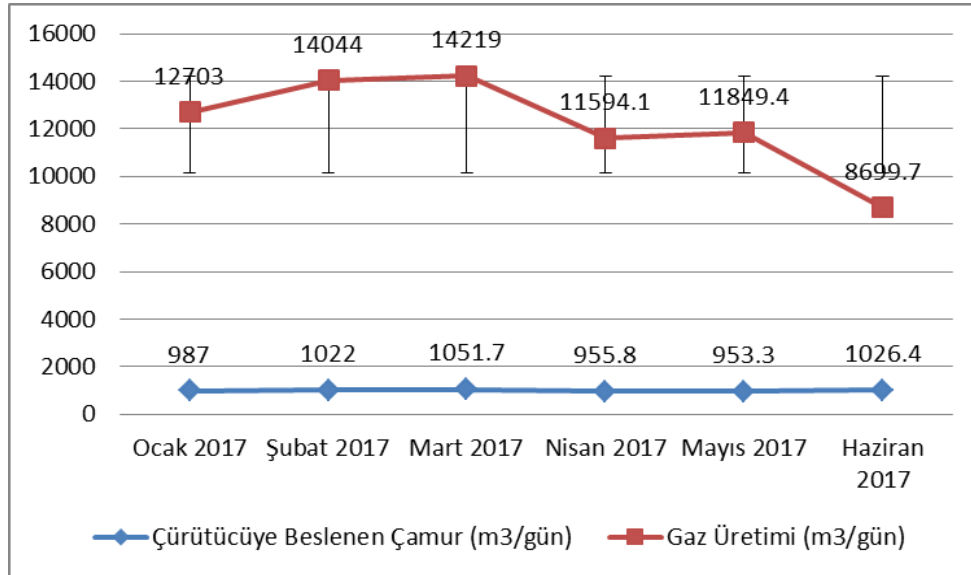
3.2. Aylık Ortalama Çamur-Biyogaz Miktarı ve Enerji

Aylara ait ortalama çamur debisi ve biyogaz miktarı değerleri sırasıyla Çizelge 3 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 3. A yıllık Ortalama Çamur Miktarı ve Biyogaz Üretimi

Aylar	Çürütücüye Beslenen Çamur (m ³ /gün)	Gaz Üretimi (m ³ /gün)
Ocak 2017	987	12.703
Şubat 2017	1.022	14.044
Mart 2017	1.051,7	14.219
Nisan 2017	955,8	11.594,1
Mayıs 2017	953,3	11.849,4
Haziran 2017	1.026,4	8.699,7

Çizelge 3'te de görüldüğü üzere çürütücüye beslenen çamur miktarına göre biyogaz üretimi 8.699,7-14.219 m³/gün arasında değişmektedir.

**Şekil 2.** Aylık Ortalama Çamur Miktarı ve Biyogaz Üretimi

Dagnall ve arkadaşları tarafından 2.000 yılında yapılan çalışmada, 1 m³ biyogazdan 1,5 kWh elektrik elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır [13]. Araştırmanın yapıldığı S.A.A.T.'de ise; aylık ortalama 953,3-1.051,7 m³/gün çamurdan yaklaşık olarak aylık ortalama 8.699,7-14.219 m³/gün biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir.

Ambarlı ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinde, aylık ortalama debi 280.000 m³/gün olup, tesiste her biri 10.000 m³ hacme sahip 6 adet çamur çürütücü tankı bulunmaktadır. Her bir çürütücü tankın çamur debisi 1.500 m³/gün olup, tesiste ortalama 13.000 m³/gün biyogaz üretilmektedir. Ataköy ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinde ise, aylık ortalama debi 341.613 m³/gün olup, tesiste her biri 10.000 m³ hacme sahip 6 adet çamur çürütücü tankı bulunmaktadır. Her bir çürütücü tankın çamur debisi 2.100 m³/gün olup, tesiste ortalama 17.373 m³/gün biyogaz üretilmektedir [14].

S.A.A.T. ileri biyolojik arıtmaya göre inşa edilmiş olup tesiste çamur arıtımı yapılmakta ve arıtımı yapılan çamurdan metan gazı üretilmektedir. Üretilen metan gazı ile de elektrik enerjisi üretilmekte ve böylelikle tesisin elektrik enerjisi karşılanabilmektedir. Üretilen biyogaz, gaz jeneratörleri ile elektrik eldesinde ve kazanlar ile sıcaksu eldesinde kullanılmaktadır. Kullanılmayan fazla gaz, flare ile yakılmaktadır. Tesisin dışından sağlanan elektrik enerjisi ile ilgili problemlerde

veya genel elektrik kesintisi durumunda, 800 w'lık 2 dizel jeneratör seti ve 800 Kw ve 1.600 Kw elektrik enerjisi kapasiteli gaz motoru tarafından enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4'te S.A.A.T.'nin aylık ortalama debi, sayaç değerleri (toplam), toplam enerji üretimi, toplam enerji tüketimi, enerji geri kazanımı, satış (toplam) ve net tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. S.A.A.T. 2017 Yılı (Ocak-Haziran) Enerji Değerleri

Aylar (2017)	Ort. Debi (m ³ /gün)	Sayaç Değerleri (Toplam, kWh/gün)	Toplam Enerji Üretimi (kWh/gün)	Toplam Enerji Tüketimi (kWh/gün)	Enerji Geri Kazanımı (%)	Satış (Toplam, kWh/gün)	Net Tüketim (kWh/gün)
Ocak	203.438	8.063	36.855	44.918	82	3.035	41.883
Şubat	197.485	7.374	40.205	47.580	84	3.280	44.299
Mart	208.537	6.289	41.169	47.458	86	4.031	43.427
Nisan	214.991	10.522	35.469	45.991	77	2.732	43.259
Mayıs	203.409	12.631	30.989	43.620	71	2.640	40.980
Haziran	179.543	18.397	22.283	40.680	55	2.769	37.911
Ortalama	201.233,8	10.546	34.495	45.041,2	75,83	3.081,2	41.959,9

Çizelge 4'ten de görüldüğü gibi tesiste toplam enerji üretimi ortalama 34.495 kWh/gün iken toplam enerji tüketimi ise 45.041,2 kWh/gündür. Enerji geri kazanımı ise ortalama %75,83 tür. Bunun sonucunda tesisin elektrik ihtiyacının yaklaşık %75'lik kısmı karşılanmaktadır.

4. Sonuçlar

Tesiste atıksuların arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamurundan biyogaz elde edilmekte ve elde edilen biyogazdan da ısı ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Biyogazdan üretilen elektriğin bir kısmı tesis için kullanılmakta diğer kısmı da TEDAŞ'a satılarak büyük kar elde edilmektedir. Bu şekilde çamurun ekonomik değerinden faydalanılmaktadır. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir;

- Ocak ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 987 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı ise 12.703 m³/gün'dür.
- Şubat ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 1.022 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı ise 14.044 m³/gün'dür.
- Mart ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 1.051,7 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 14.219 m³/gün'dür.
- Nisan ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 955,8 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 11.594,1 m³/gün'dür.
- Mayıs ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 953,3 m³/gün, ortalama biyogaz miktarı 11.849,4 m³/gün'dür.
- Haziran ayında çürütücüye beslenen ortalama çamur miktarı 1.026,4 m³/gün, ortalama biyogaz miktarı 8.699,7 m³/gün olarak bulunmuştur.

Biyogaz üretimi, öncelikle yenilenebilir enerji üretimi ve ayrıca organik kalıntıların değerlendirilmesi için iyi bir teknolojidir. Biyogaz üretilmesi sonucu, atıkların çevreye gelişigüzel atılması sonucunda ortaya çıkan çevre kirliliğinin önlenmesi, ekonomik fayda, işletmelerin enerji ihtiyacının karşılanması, çürüme sonucunda elde edilen ürünün tarımda değerlendirilmesi ve fosil

yakıtların kullanımının azaltılması sonucunda atmosferdeki sera gazı emisyonlarının azaltılması imkanı sağlanmış olacaktır.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmada S.A.A.T. ile ilgili verilerin temininde katkı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- [1] Vindis P, Mursec B, Janzekovic M, Stajko D, Cus F. Anaerobic Digestion of Maize Hybrids for Methane Production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 2010; 40: 87-94.
- [2] Koyuncu S. Konya Atıksu Arıtma Tesisi Anaerobik Çamur Çürütücülerinde Optimum Biyogaz Verimi İçin İşletme Şartlarının ve Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [3] Speece RE. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*. ArchePress, Tennessee, 1996.
- [4] Pervov AG, Andrianov AP, Gorbunova TP, Bagdasaryan AS. Membrane technologies in the solution of environmental problems. *Petr. Chem.*, 2015; 55(10), 879-886.
- [5] Gulshin IA, Kuzina AF. Adaptation of nitrifying activated sludge to simultaneous nitrification and denitrification in the lab-scale oxidation ditch. *IJAER*, 2015; 10, 21: 42618–42623.
- [6] Cho SK, Ju HJ, Lee JG, Kim SH. Alkaline-mechanical pretreatment process for enhanced anaerobic digestion of thickened waste activated sludge with a novel crushing device: Performance evaluation and economic analysis. *Bioresour Technol.*, 2014; 165: 183-190.
- [7] Zhen G, Lu X, Li Y, Zhao Y. Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion. *Applied Energy*, 2014; 128: 93–102.
- [8] Rao PV, Baral SS, Dey R, Mutnuri S. Biogas Generation Potential by Anaerobic Digestion for Sustainable Energy Development in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010; 14: 2086-2094.
- [9] Digman B, Kim D. Alternative energy from food processing wastes. *Environmental Progress*, 2008; 27: 524–537.
- [10] Zheng Y, Zhao J, Xu F, Li Y. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2014; 42: 35-53.
- [11] Yelmen B. VI. Enerji Verimliliği (EVK), Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 4-6 Haziran Sakarya Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi, 6-12, 2015.
- [12] American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, 2005.
- [13] Dagnall S, Hill J, Pegg D. Resource Mapping and Analysis of Farm Livestock Manures—Assessing the Opportunities for Biomass to Energy Schemes. *Bioresource Technology*, 2000; 71: 225-234.
- [14] İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), *İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri*, İstanbul, 2017.

POWER FLOW ANALYSIS OF AC/DC HYBRID SYSTEMS IN SMART GRIDS

Ahmet NUR^{1*}, Asım KAYGUSUZ², Ulaş KILIÇ³

¹Adiyaman University, Department of Electrical-Electronics Engineering, 02040, Adiyaman, Turkey

²Inonu University, Department of Electrical-Electronics Engineering, 44000, Malatya, Turkey

³Ege University, Department of Electrical-Electronics Engineering, 35100, İzmir, Turkey

Geliş tarihi: 05.07.2019 Kabul tarihi: 20.12.2019

ABSTRACT

Smart grids eliminate the difficulties in areas such as generation, transmission, distribution, consumption and operation of electrical energy. Smart grids are spreading rapidly in the industry thanks to their ability to reduce global warming and eliminate environmental constraints. With these network applications, the energy obtained from the sources is established with or without network connection and the energy is maximized. Smart grids can operate autonomously in combination with or separated from the conventional grid system. It can also be used in applications where there are both AC source, DC source and hybrid AC/DC source energy systems. In this study, DC grid system connected to IEEE 33 bus test system is designed and analyzed. The power flow values of the hybrid AC/DC system are obtained.

Keywords: Hybrid AC/DC, Smart grid, IEEE 33 bus, DC system

AKILLI ŞEBEKELERDE AC/DC HİBRİD SİSTEMLERİN GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

Akıllı şebekeler, elektrik enerjisinde üretim, iletim, dağıtım, tüketim ve işletme gibi alanlardaki zorlukları gidermektedir. Akıllı şebekeler, küresel ısınmada azalma ve çevresel kısıtlamaları ortadan kaldırmadaki yetenekleri sayesinde endüstride hızla yayılmaktadır. Bu şebeke uygulamalarıyla kaynaklardan elde edilen enerji, şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız olarak kurularak, enerjiden maksimum seviyede faydalanılmaktadır. Akıllı şebekeler, klasik şebeke sistemiyle beraber veya ayrılarak özerk olarak çalışabilmektedir. Ayrıca hem AC kaynaklı, hem DC kaynaklı, hem de hibrid AC/DC kaynaklı enerji sistemlerinin bulunduğu uygulamalarda kullanılabilir. Bu çalışmada IEEE 33 bara test sistemine bağlı DC şebeke sistemi tasarlanmış ve analizi yapılmıştır. Hibrid AC/DC sistemin güç akış değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrid AC/DC, Akıllı şebeke, IEEE 33 bara, DC sistem

* e-posta: anur@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-5469-419X>
asim.kaygusuz@inonu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2905-1816>
ulas.kilic@ege.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5706-5767>

1. Introduction

Desire to provide quality and economic electrical energy throughout the world has been a subject of constant concern. From industry to rail transportation; lighting, communication systems in all kinds of sectors and areas that come to mind electric energy is used. Research has shown that a well-designed, conserved or integrated electrical power grid can minimize any interruptions or malfunctions that interfere with the functioning of human life. The rapid increase in electricity demand, depletion of fossil energy sources, developments in power electronics technologies and the use of renewable energy sources for energy production, the use of distributed generation constituted the concept of smart grids [1], [2].

Smart grid is reduced due to the losses occurring in transmission lines and increase efficiency in this case. The increase in the concept of energy efficiency in recent years has increased the importance of the studies on smart grids. In addition, with the help of smart grid models, the negative effects that deteriorate the power quality of the industrial facilities are eliminated and power losses in the transmission lines are reduced. Thus, more efficient and reliable networks can be created. Smart grids have many advantages [3], [4]. Some of these advantages are presented in the table 1 [5].

Table 1. Comparison of Traditional Grids and Smart Grids [5]

Traditional Grids	Smart Grids
Electric Machinery	Digital
One-way Communication	Two-way Communication
Centralized Power Generation	Distributed Power Generation
A Small Number of Sensors	Full Grid Sensors Layout
Manual Monitoring	Automatic Monitoring
Manual Recovery	Automatic Recovery
Failures and Power Outages	Adaptive and Islanded
Few User Options	More User Options

Some advantages of smart grids over classical grids are:

- Energy quality is very high.
- High energy efficiency, low loss-leakage ratio.
- The system is easy to control and manage.
- The system is open to developing technologies and innovations.
- Fault detection is easy in case of system failure.
- The repair speed of the fault detected in the system is high.
- It provides energy to the consumer at alternative prices.
- If the consumer is also able to produce energy, it provides bidirectional energy exchange by incorporating it into the smart grid system.

In smart grid applications there are some disadvantageous situations. The factors such as technical difficulties in integration into the existing network, new standards, administrative and legal barriers can be considered as disadvantages of smart grids. The figure 1 [6] shows the various functions involved in smart grid automation.

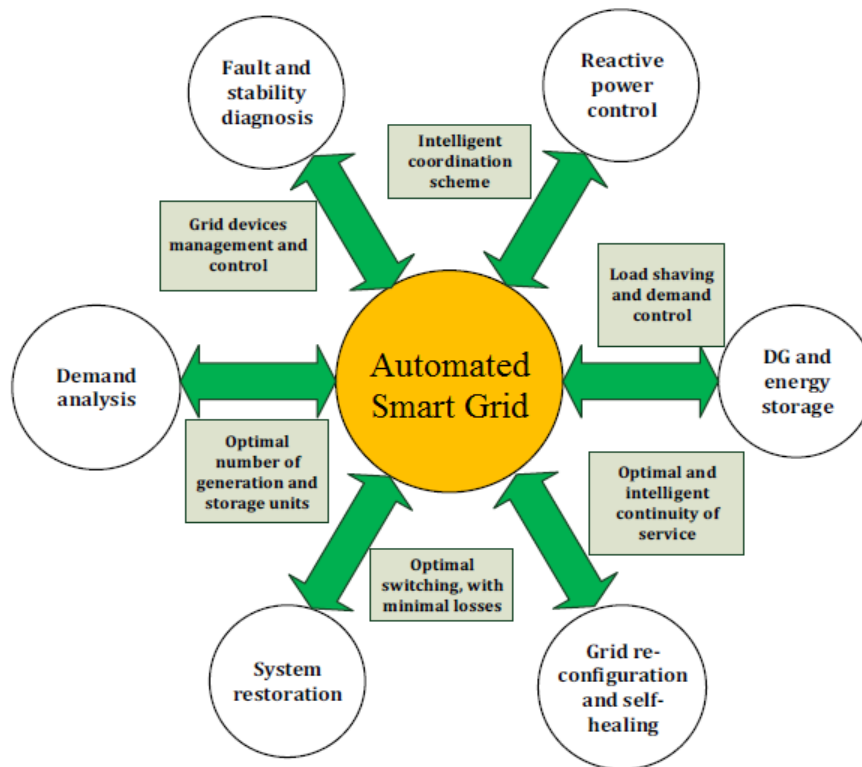


Figure 1. Smart grid automation functions [6].

2. AC/DC Hybrid Systems

Many models have been developed on smart grid structure and each designed system has brought a different definition to this structure. Although there are different definitions, all developed smart networks have three main components. These; power supplies, loads and storage devices [7].

2.1 Power Supplies

Hybrid smart grid power generation system is the systems that produce energy from at least two or more raw energy sources in practice and units that contribute to each other in parallel. These systems are generally safer and less costly than a single source of energy production. The aim of hybrid systems is to increase the efficiency by enabling the use of energy resources together. In addition, if one of the resources is absent or diminished, the others are able to meet the energy needs of the system. The most important factors that determine the number of resources and the type of resources in such applications are the sufficient level of resources in the region where energy will be produced and sufficient technology to bring the system together in some types of energy [8].

Generation sources such as generators, wind turbines, photovoltaic modules that form hybrid networks supply AC or DC loads with suitable converters. The introduction of these power electronics converters affects both the power quality of the system and requires new control arrangements.

2.2 Loads

In smart grid applications, loads can be applied in a variety of areas, residential, commercial and industrial. In general, commercial and industrial users require high power quality and reliability for critical and precise load demands. Smart grids can consist of hybrid systems consisting of DC-connected loads, AC-connected loads and both DC and AC-connected loads. In the DC connected system topology, as shown in figure 2 [11], all generators and storage units are connected to the DC bus. If there are power supplies with AC output, they are first converted to DC. All added DC power supplies are then connected to AC user loads by inverters with a DC/AC converter in the base DC power bus. These inverters convert DC power produced in different generators and storage units into AC user load demands at the desired voltage and frequency. The inverter to be used must be sufficient for peak load demands [9], [10].

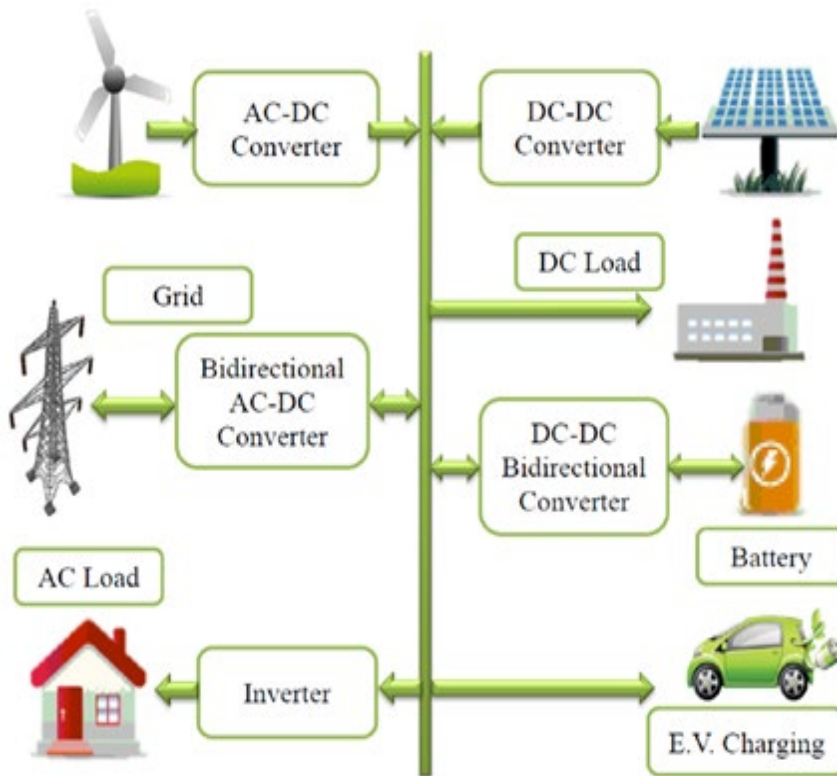


Figure 2. Structure of the DC Grid [11].

In the AC Connected system topology, as shown in figure 3 [11], all system components and AC user loads are connected to the AC bus. AC-connected system topology outperforms DC-connected system topology. Each inverter can be synchronized to its own generator so that it can supply power independently or simultaneously with the other inverter. This provides flexibility for energy sources to meet load demand [12].

AC/DC hybrid systems consist of AC and DC sources and loads as shown in figure 4 [11]. It can be connected to the mains power supply or operated independently. In grid-connected or grid-independent hybrid system applications, battery technologies and energy storage systems are also used to increase continuity in power generation [13].

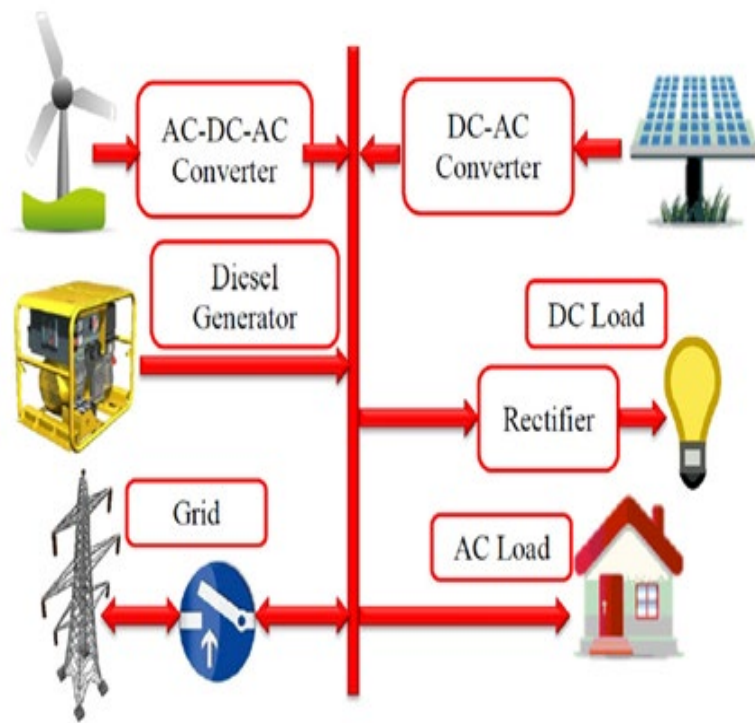


Figure 3. Structure of the AC Grid [11].

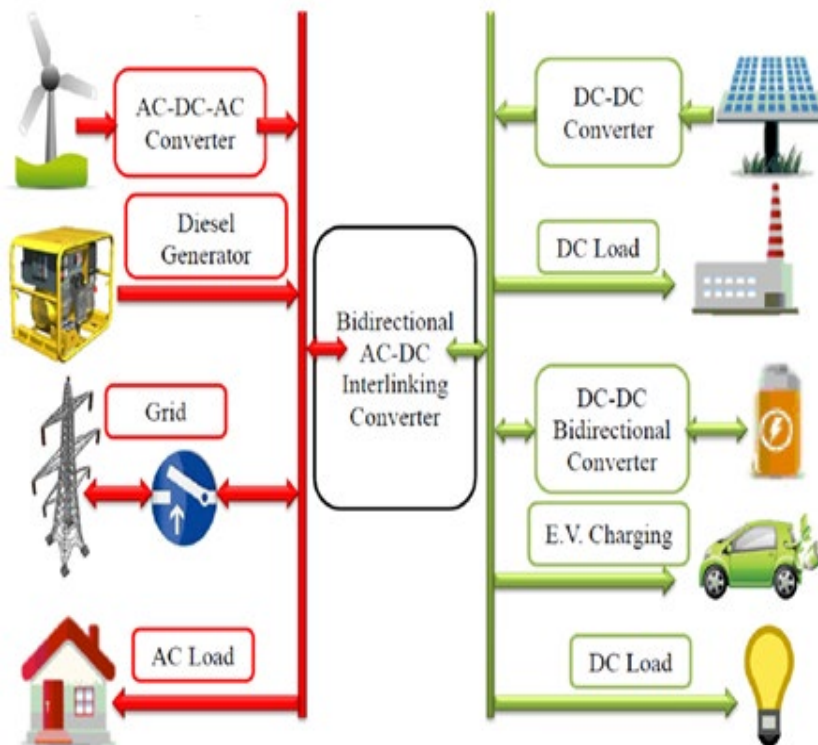


Figure 4. Structure of the AC/DC Grid [11].

2.3. Storage Devices

Energy storage technologies used in smart grids; It is an important area of interest for electricity generation and distribution companies, plant operators and electric vehicle manufacturers. The ability to store large amounts of energy can provide great flexibility for the operations of electricity companies. In this way, the demanded energy does not have to be produced at the same time. Solutions for power quality problems such as the development of energy storage technologies, voltage drop and interruptions are provided at both system and equipment level. However, energy storage; system efficiency, enabling the integration of renewable energy sources, increasing network stability and reliability, as well as reducing greenhouse gas emissions. Although direct storage of electrical energy is expensive, it can be stored in different forms for conversion to electrical energy when needed. The main energy storage units used in smart grids are; flywheels, super capacitors, superconducting magnetic energy storage and electrochemical cells [14]. The figure 5 shows the most important storage technologies for the smart grids [15].

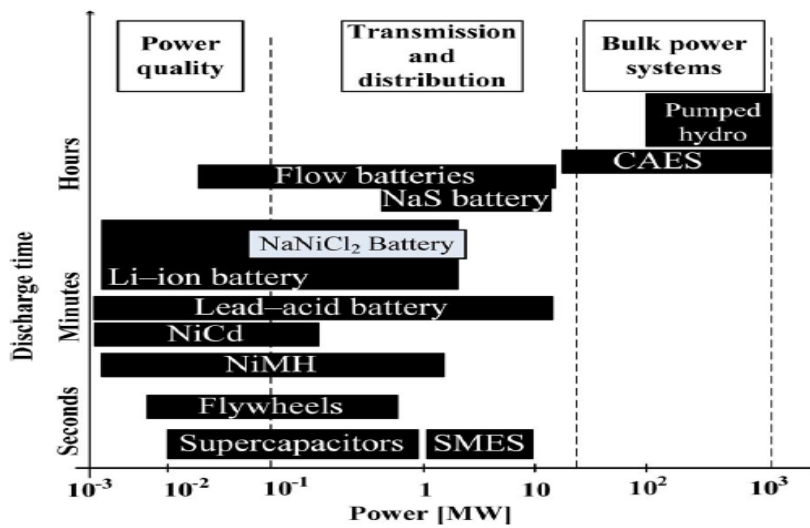


Figure 5. Storage technologies for the smart grids [15].

3. Case Study

The base values for the per-unit conversion in this system are $S_{base}=1$ MVA, $V_{acbase}=12.66$ kV, and $V_{dcbase}=6.8$ kV. The efficiency and the power factor of the VSCs are given as 98% and 95 %. Figure 6 [16] shows the DC grid system and the impedances of this system [16] is shown in table 2. The figure 7 [17] shows the IEEE 33 bus system and the data of the system is within the standards [18]. The numbers in the circle indicate buses and the others indicate lines. The model converged with a total power mismatch of 5.09×10^{-13} p.u. The bus voltage limits are taken as $V_{min}=0.9$ p.u. and $V_{max}=1.05$ p.u.

Table 2. Impedances of DC Grid Test System [16]

From Bus	To Bus	Resistance	Reactance
1	2	0.2208	-
1	4	0.2208	-
2	3	0.4415	-
4	5	0.4415	-

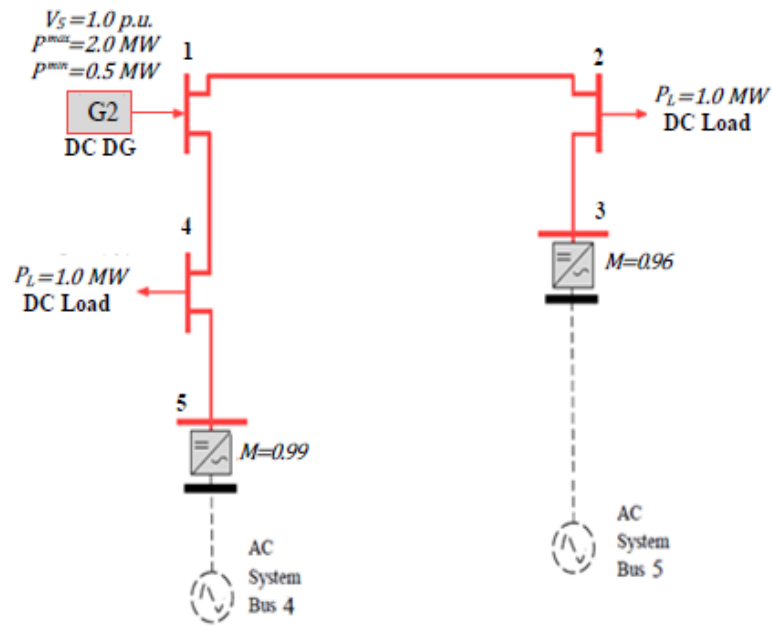


Figure 6. The line diagram DC grid test system [16]

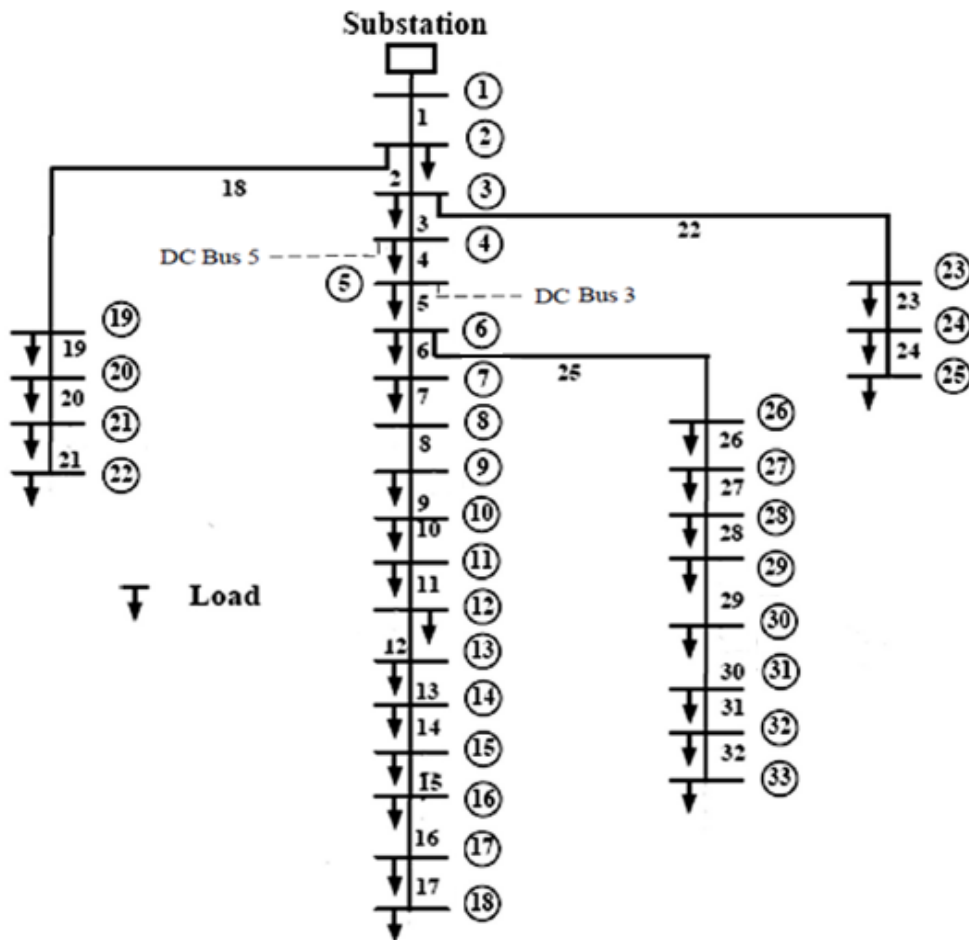


Figure 7. The line diagram of IEEE 33 bus test system with integrated DC buses [17]

4. Conclusions

Table 3. Voltage and power values of IEEE 33 bus test system

Bus No	Voltage Magnitude	Angle Degree	Load		Generation	
			MW	MVar	MW	MVar
1	1.000	0.000	0.000	0.000	4.254	2.553
2	0.997	0.012	0.100	0.060	0.000	0.000
3	0.981	0.084	0.090	0.040	0.000	0.000
4	0.973	0.142	0.630	0.248	0.000	0.000
5	0.966	0.215	-0.136	-0.034	0.000	0.000
6	0.948	0.121	0.060	0.020	0.000	0.000
7	0.944	-0.112	0.200	0.100	0.000	0.000
8	0.930	-0.266	0.200	0.100	0.000	0.000
9	0.924	-0.341	0.060	0.020	0.000	0.000
10	0.918	-0.405	0.060	0.020	0.000	0.000
11	0.917	-0.398	0.045	0.030	0.000	0.000
12	0.916	-0.386	0.060	0.035	0.000	0.000
13	0.910	-0.479	0.060	0.035	0.000	0.000
14	0.907	-0.560	0.120	0.080	0.000	0.000
15	0.906	-0.599	0.060	0.010	0.000	0.000
16	0.905	-0.622	0.060	0.020	0.000	0.000
17	0.903	-0.702	0.060	0.020	0.000	0.000
18	0.902	-0.711	0.090	0.040	0.000	0.000
19	0.996	0.001	0.090	0.040	0.000	0.000
20	0.993	-0.066	0.090	0.040	0.000	0.000
21	0.992	-0.086	0.090	0.040	0.000	0.000
22	0.991	-0.106	0.090	0.040	0.000	0.000
23	0.978	0.053	0.090	0.050	0.000	0.000
24	0.971	-0.036	0.420	0.200	0.000	0.000
25	0.968	-0.080	0.420	0.200	0.000	0.000
26	0.946	0.160	0.060	0.025	0.000	0.000
27	0.943	0.217	0.060	0.025	0.000	0.000
28	0.932	0.300	0.060	0.020	0.000	0.000
29	0.924	0.378	0.120	0.070	0.000	0.000
30	0.920	0.484	0.200	0.600	0.000	0.000
31	0.916	0.399	0.150	0.070	0.000	0.000
32	0.915	0.376	0.210	0.100	0.000	0.000
33	0.915	0.368	0.060	0.040	0.000	0.000
Total			4.029	2.403	4.254	2.553

Table 4. Voltage and power values of DC grid system

Bus No	Voltage Magnitude	Angle Degree	Load		Generation	
			MW	MVar	MW	MVar
1	1.000	0.000	0.000	0.000	1.711	0.000
2	0.998	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
3	1.002	0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000
4	0.994	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.992	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000
Total			1700	0.000	1.711	0.000

Due to the advancement in smart grid technologies, the integration of DC grid systems into AC systems is increasing. The development of AC/DC hybrid systems in smart grid is rapidly progressing and various analyzes are performed for AC/DC hybrid power flow analysis. The main information obtained from the power flow analysis studies are the amplitude of the voltage, phase angle, active and reactive powers for each bus. Analyzing these values is very important for the planning and development of power systems.

In this study, in the literature standard IEEE 33 bus test system is modified by adding a DC grid system. Then, this model is analyzed by Newton-Raphson method in Matlab environment and after that power values are obtained for each bus as shown in table 3 and table 4. The results are showed that the proposed method can be used in the analysis of power systems. Furthermore, this study provides guidance for future AC/DC hybrid power system analysis studies.

References

- [1] Nigim AK, Lee WJ. Microgrid integration opportunities and challenges. IEEE Power Engineering Society General Meeting, USA, June 24-28, 2007.
- [2] Mutlu MA. Microgrid protection against ground faults. M. Sc. Thesis, Istanbul, 2017.
- [3] Grijalva S, Visnesky M. Assesment of distributed generation programs based on transmission security benefits. IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 12-16, 2005, 1441-1446.
- [4] Zamora RA, Srivastava K. Controls for microgrids with storage: review, challenges, and research needs. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 14 (7), 2010, 2009–2018.
- [5] Fan W, Jain R. Security of state estimation in the smart grid. *Network Security*, Washington, 2014.
- [6] Elgenedy MA, Massoud AM, Ahmed S. Energy in smart grid: strategies and technologies for efficiency enhancement, *Smart Grid and Renewable Energy Conference*, Doha, 2015.
- [7] Kocaman B. Energy management in micro grids based on renewable energy resources. PhD Thesis, Kocaeli, 2015.
- [8] Katiraei F, Iravani R, Hatziargyriou N, Dimeas A. Microgrids management: controls and operation aspects of microgrids. *IEEE Power Energy Magazine*, May/June, 2008, 54-65.
- [9] Allam MA, Hamad AA, Kazerani M, Saadany EF. A steady-state analysis tool for unbalanced islanded hybrid AC/Dcmicrogrids. *Electric Power Systems Research*, Volume 152, 2017, 71–83.
- [10] Nur A, Kaygusuz A. Load Control Techniques in Smart Grids. 4. International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, Turkey, 2016.
- [11] Jadav KA., Karkar HM, Trivedi IN. A Review of Microgrid Architectures and Control Strategy. *J. Inst. Eng. India Ser. 98(6) December 2017*, 591–598.
- [12] Hatziargyriou N. *Microgrids: architecture and control*, Wiley-IEEE Press, 2014.
- [13] Justo JJ, Mwasilu F, Lee J, Jung JW. AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 2013, 387–405.
- [14] Kocaman B. A Case of Energy Management Application for Microgrids. *BEU Journal of Science* 3(1), 2014, 35-52.
- [15] Valentin AB. *Energy Storage Technologies: The Past and the Present*. Proceedings of the IEEE Volume: 102, Issue: 11, Nov. 2014.
- [16] Haytham MA. *Optimal Planning and Operation of AC-DC Hybrid Distribution Systems*. Waterloo, Ontario, PhD Thesis, Canada, 2017.
- [17] Tamilselvan V, Jayabarathi T, Raghunathan T, Yang X. Optimal capacitor placement in radial distribution systems using flower pollination algorithm. *Alexandria Engineering Journal* (2018) 57, 2775–2786.
- [18] Wilson AV, Franklin LQ. Load Flow Method for Radial Distribution Systems with Distributed Generation Using a Dynamic Data Matrix. IEEE Technical Chapters Meeting, Ecuador, 2016.