



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia ADAKLI

**BELİRLENEN BİR BÖLGE İÇİN RÜZGAR
ENERJİSİ KULLANILARAK HİDROJEN
ELDESİ ANALİZİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OSMANIYE – 2025

T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BELİRLENEN BİR BÖLGE İÇİN RÜZGAR ENERJİSİ
KULLANILARAK HİDROJEN ELDESİ ANALİZİ

RABİA ADAKLI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANIYE
Ocak-2025

TEZ ONAYI

BELİRLENEN BİR BÖLGE İÇİN RÜZGAR ENERJİSİ KULLANILARAK HİDROJEN ELDESİ ANALİZİ

Rabia ADAKLI tarafından Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE. Enerji Sistemleri
Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Osman KARA. Enerji Sistemleri Mühendisliği
Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Fırat EKİNCİ. Enerji Sistemleri Mühendisliği
Ana Bilim Dalı, ATÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Eyyup TEL
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)
(Öğrenci Adı Soyadı)



ÖZET

BELİRLENEN BİR BÖLGE İÇİN RÜZGAR ENERJİSİ KULLANILARAK HİDROJEN ELDESİ ANALİZİ

RABİA ADAKLI

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE

Ocak 2025, 158 sayfa

Ülkemiz açısından önemli bir konuma sahip olan enerji ve fosil kaynaklar gelişen teknoloji ile gün geçtikçe yarış haline girmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz olması, sürdürülebilir olması, yerli kaynaklar oldukları için ülkenin dışa bağımlılığının azalması ile istihdamın artmasına katkı sağlıyor olmaları fosil yakıtlar karşısında önemli ve sağlam bir yer edinmelerini oldukça kolaylaştırmaktadır. Özellikle rüzgar enerjisi gibi yeşil ve atıksız bir enerji potansiyeline sahip olan yenilenebilir enerji alanındaki çalışma, araştırma ve yatırımlar hızla artmaktadır. Bu çalışmada Osmaniye ili sınırları içerisinde belirlenen bir bölgenin 2015 yılı rüzgar verileri ile rüzgar enerjisi potansiyeli ele alınarak varılan sonuçlardan belirlenen bölge için hidrojen eldesinin hangi aşamalardan geçerek üretildiğini, kullanılan yöntem ve tüm sürecin nasıl ilerlediğinden bahsedilmiştir. Üç farklı rüzgar türbini, dört farklı çalışma saati ve üç farklı PEM elektrolizör ile rüzgar enerjisinden hidrojen eldesi farklı senaryolar oluşturularak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, hidrojen, elektrolizör, yenilenebilir kaynaklar, hidrojen üretimi, yeşil hidrojen

ABSTRACT

ANALYSIS OF HYDROGEN PRODUCTION USING WIND ENERGY FOR A SPECIFIED REGION

Rabia ADAKLI

Master's Degree, Department of Energy Systems Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE

January 2025, 158 pages

Energy and fossil resources, which hold significant importance for our country, have been in an increasing competition with advancing technology. Renewable energy sources are becoming significantly prominent against fossil fuels due to their cleanliness, sustainability, contribution to reducing the country's dependency on foreign resources, and their potential to increase employment. Especially in the field of renewable energy, which possesses green and waste-free energy potential such as wind energy, studies, research, and investments are rapidly increasing. In this study, the wind energy potential of a region within the borders of Osmaniye province, based on the wind data for the year 2015, was evaluated. The stages of hydrogen production for the identified region, the methods used, and the progression of the entire process were discussed. Hydrogen production from wind energy was examined through different scenarios involving three different wind turbines, four different operating hours, and three different PEM electrolyzers.

Key Words: Wind energy, hydrogen, electrolyzers, renewable resources, hydrogen production, green hydrogen



Çok kıymetli aileme...

TEŐEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE'ye, teşekkürlerimi saygılarımla sunarım.

Tez dönemim ve tüm eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen, her kararımda yanımda olan Annem Mehtap ADAKLI'ya, Babam Musa ADAKLI'ya Ablam Maide ADAKLI'ya ve kardeşim İsmail ADAKLI'ya tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma jüri üyelerimden kıymetli hocalarım Doç. Dr. Fırat EKİNCİ ve Doç. Dr. Osman KARA'ya değerli bilgi ve tecrübelerine dayanarak gösterdikleri yönlendirmelerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

TEZ BİLDİRİMİ

ÖZET..... i

ABSTRACTii

TEŞEKKÜRiiv

İÇİNDEKİLER v

ÇİZELGELER DİZİNİ vvii

ŞEKİLLER DİZİNİ viii

SİMGELER ve KISALTMALAR xiv

1.GİRİŞ.....1

1.1 Hidrojen Enerjisinin Özellikleri 13

1.2 Hidrojenin Yakıt Özellikleri 14

1.3 Hidrojenin Enerji İçeriği..... 14

1.4 Hidrojen Ekonomisi..... 15

1.4 Hidrojenin Kullanım Alanları 16

1.5 Hidrojen Renk Kategorileri 17

1.6 Hidrojen Enerjisi Kaynakları 17

1.7 Fosil Kaynaklar 18

1.8 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 19

1.9 Nükleer Kaynaklar 21

1.10 Hidrojen Enerjisinin Potansiyeli 22

2. HİDROJEN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ..... 25

2.1 Elektroliz Yöntemi 27

2.2 Alkali Elektroliz 30

2.3 Proton Değişim Membran Elektroliz Yöntemi (PEME) 32

2.4 Katı Oksit Elektroliz 34

3. FOSİL YAKITLARDAN HİDROJEN ÜRETİMİ 35

3.1 Kısmi Oksidasyon (Partial oxidation – POX) ile Ayırıştırma 35

3.2 Buhar Reforming 37

3.3 Doğalgaz (Metan) Buhar Reforming 37

3.4 Oto-termal Reforming 38

3.5 Gazlaştırma.....	40
3.6 Piroliz (Pyrolysis)	42
4. TÜRKİYE’NİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ	45
4.1 Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç Gelişimi	45
5. MATERYAL VE METOT	48
5.1 Bölgeye Ait Bazı Bilgiler ve Rüzgar Bilgileri	48
5.2 Rüzgar Enerjisi Hesaplamaları	48
5.3 Kullanılan Rüzgar Türbinleri	49
5.4 Kullanılan Elektrolizörler	50
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	56
6.1 Aylara Göre Üretilen Elektrik Enerjisi.....	56
6.2 Türbinlerin Minimum ve Maksimum Saatlerde Ürettiği Elektrik Enerjisi	59
6.3 Aylık Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi.....	62
6.4 Günlük Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi	66
7. Yıllık Olarak Elektrik Enerjisinden Üretilen Toplam Hidrojen Enerjisi.....	138
8. SONUÇ.....	139
KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ.....	158

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1. Hidrojen ve diğer yakıtların karşılaştırılması [66]	15
Tablo 2. Piroliz süreçleri, oluşan ürünler ve tepkime koşulları [96]	44
Tablo 3. Kullanılan rüzgar türbinleri ve özellikleri [111], [112], [113]	49
Tablo 4. Elektroliz çeşitleri ve karakteristik özellikleri [115]	50
Tablo 5. Piyasada bulunan bazı elektrolizör markaları ve özellikleri [119], [120]	52
Tablo 6. Siemens Silyzer 300 özellikleri [121]	53
Tablo 7. Plug Power Plug EX-2125 özellikleri [122]	53
Tablo 8. Cummins HyLYZER 500-30 özellikleri [123]	53
Tablo 9. Piyasadaki bazı elektrolizör üreticileri, ülkeleri ve elektrolizör tipleri [115]	54



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Hidrojen üretim yöntemlerine göre hidrojen renkleri [4]	17
Şekil 2. Kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri [4]	18
Şekil 3. Hidrojen üretimi sürdürülebilir enerji kaynakları [2]	25
Şekil 4. Yeşil hidrojen yol haritası [2]	26
Şekil 5. Enerji kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri, üretim yolları [66]	27
Şekil 6. Elektroliz cihazı [66]	29
Şekil 7. Alkali elektroliz yapısı [82]	30
Şekil 8. Farklı elektrolizör yapıları [82]	31
Şekil 9. Alkali elektrolizin çalışması [82]	32
Şekil 10. PEM elektrolizör hücresinin çalışma prensibi [23]	33
Şekil 11. Katı oksit elektroliz [82]	34
Şekil 12. Kısmi oksidasyon süreci genel şeması [84]	35
Şekil 13. Metanın buhar reformingi ile hidrojen üretimi [89]	38
Şekil 14. SR (Buhar Dönüşüm), POX (Kısmi Oksidasyon) ve	39
Şekil 15. Oto-termal dönüşüm akım şeması [88]	40
Şekil 16. Kömürün gazlaştırılması işleminin akım şeması [91]	41
Şekil 17. Piroлиз ile hidrojen üretimi [87]	43
Şekil 18. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli (2024) [98]	45
Şekil 19. Türkiye Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [98]	46
Şekil 20. Türkiye Rüzgar Enerjisine Dayalı Toplam Kurulu Güç	46
Şekil 21. 2025 Ocak ayı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı [100]	47
Şekil 22. PEM elektrolizör çalışma prensibi [115]	51
Şekil 23. Nordex N117/3600 Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)	56
Şekil 24. Nordex N149/4.X Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)	57
Şekil 25. Nordex N163/6.X Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)	58
Şekil 26. Nordex N117/3600 Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	59
Şekil 27. Nordex149/4.X Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	60

Şekil 28. Nordex N163/6.X Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh).....	61
Şekil 29. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen.....	62
Şekil 30. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen.....	64
Şekil 31. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen	65
Şekil 32. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	66
Şekil 33. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	67
Şekil 34. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	68
Şekil 35. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	69
Şekil 36. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	70
Şekil 37. 6.0- 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	71
Şekil 38. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	72
Şekil 39. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	73
Şekil 40. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	74
Şekil 41. 4.0- 4.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	75
Şekil 42. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	76
Şekil 43. 6.0 - 6.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	77
Şekil 44. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	78
Şekil 45. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	79
Şekil 46. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	80

Şekil 47. 4.0 - 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	81
Şekil 48. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	82
Şekil 49. 6.0 -6.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	83
Şekil 50. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	84
Şekil 51. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	85
Şekil 52. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	86
Şekil 53. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	87
Şekil 54. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	88
Şekil 55. 6.0 -6.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	89
Şekil 56. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	90
Şekil 57. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	91
Şekil 58. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	92
Şekil 59. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	93
Şekil 60. 6.5 MW Rüzgar Enerjisinden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	94
Şekil 61. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	95
Şekil 62. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	96
Şekil 63. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	97

Şekil 64. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	98
Şekil 65. 4.0 -4.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	99
Şekil 66. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	100
Şekil 67. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	101
Şekil 68. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	102
Şekil 69. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	103
Şekil 70. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	104
Şekil 71. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	105
Şekil 72. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	106
Şekil 73. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	107
Şekil 74. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	108
Şekil 75. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	109
Şekil 76. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	110
Şekil 77. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	111
Şekil 78. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	112
Şekil 79. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	113
Şekil 80. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	114

Şekil 81. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	115
Şekil 82. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	116
Şekil 83. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	117
Şekil 84. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	118
Şekil 85. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	119
Şekil 86. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	120
Şekil 87. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	121
Şekil 88. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	122
Şekil 89. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	123
Şekil 90. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	124
Şekil 91. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	125
Şekil 92. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	126
Şekil 93. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	127
Şekil 94. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	128
Şekil 95. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	129
Şekil 96. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	130
Şekil 97. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	131

Şekil 98. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	132
Şekil 99. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	133
Şekil 100. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	134
Şekil 101. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	135
Şekil 102. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg).....	136
Şekil 103. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	137
Şekil 104. Üretilen Yıllık Toplam Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)	138

SİMGELER ve KISALTMALAR

A	Rüzgâr türbini kanatlarının süpürdüğü alan	(m ²)
A/F	Stokiyometrik hava yakıt oranı	
AIT	Kendi ateşleme sıcaklığı	
ATR	Oto-termal dönüşüm	
C_p	Güç katsayısı	
CR	Yanma aralığı	
DC	Doğru akım	
DVB	Divinilbenzen	
ETFE	Etilen tetrafloroetilen	
FT	Alev sıcaklığı	
HHV	Üst ısı değeri	
KW	Kilowatt	
KWh	Kilowatt saat	
LHV	Alt ısı değeri	
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz	
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı	
MW	Megawatt	
MWh	Megawatt saat	
P	Rüzgâr türbini gücü	
PEM	Proton değişim membran elektroliz	
PFSA	Perfloroasitsülfonik	
POX	Kısmi oksidasyon	
PPS	Polifenilen	
PSF	Poli(bisfenol-Asülfon)	
PSU	Polisülfon	
PTFE	Politetrafloroetilen	
SOE	Katı oksit elektroliz	
SR	Buhar dönüşüm	
UK	Birleşik Krallık	
USA	Amerika Birleşik Devletleri	
V	Rüzgâr Hızı	(m/sec)
W	Watt	

YSZ İtri-stabilize zirkonyum

ρ Hava yoğunluğu

(kg/m³)



1. GİRİŞ

Dünyamızın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi yüksek oranda hidrokarbon ve karbon içeren fosil yakıtların 21. Yüzyılda oldukça yoğun bir şekilde kullanılıyor olması ozon tabakasına verdiği zarar, oluşan asit yağmurları ve önemi her geçen gün artan küresel ısınma gibi sorunlar dünyayı oldukça etkili ve büyük tehditler karşısında savunmasız bırakmaktadır. Bu kısımda önemi büyük olan başka bir konu ise fosil yakıtların sahip olduğu rezerv ömrüdür. Fosil yakıtların bilinçsiz bir şekilde kullanımına devam edilmesi kısa bir sürede bu rezervlerden eser kalmayacağına işaret etmektedir. Bütün ülkelerin giderek artan enerji ihtiyacını dünyaya zarar vermeden, dönüştürülebilir ve sürdürülebilir olarak kullanmamıza olanak sağlayabilecek en ileri ve temiz enerji kaynağının hidrojen enerjisi olduğu bütün bilim insanlarınca kabul görmektedir. Bilindiği üzere hidrojenin enerji sistemlerinde yakıt olarak kullanılması sonucu oluşan atık ürün sadece atmosfere salınan su veya su buharıdır. [1]

Hidrojen enerjisinin, günümüz teknolojisi ile erişemediğimiz bazı olumsuz yönlerinin ortadan kaldırılması durumunda faydalarını, fosil yakıtlardan daha uzun ömürlü ve temiz, çevreci bir enerji kaynağı olduğunu daha iyi anlamak mümkündür. Hidrojen dışında başka sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları da bulunmaktadır ancak hidrojen diğer kaynaklara nazaran taşıdığı önemli özelliklerinden ötürü, enerji ihtiyacının karşılanmasında tercih edilmesi gereken enerji kaynağı statüsündedir. Çünkü hidrojen bilindiği üzere doğadaki en basit atom yapısına sahip ve kullanımı sonucu atık madde olarak sadece su çıkarmaktadır. Buda hidrojeni diğer enerji kaynaklarından ayıran en önemli özelliklerinden biri diyebiliriz. Aynı zamanda yeşil enerji grubuna dahil olması, hafif olması, diğer enerji türlerine kolaylıkla dönüşebilmesi, yüksek kalori değerine sahip olması, sınırlı bir ömrünün olmaması, doğada kolayca bulunması ve bu sayede kolayca üretilmesi hidrojeni ön plana çıkaran özelliklerindedir. [2]

Normal sıcaklık ve basınç şartları sağlandığında renksiz ve kokusuz özelliğe sahip olan hidrojen, oksijenle bir araya geldiğinde tüm evren için en önemli madde olan suyu oluşturmaktadır. Aynı zamanda hidrojen evrende tek başına değil bileşikler halinde bulunmaktadır. Bu nedenden ötürü hidrojen temel bir enerji kaynağı değil, bir enerji taşıyıcısıdır. Yani hidrojenin sahip olduğu enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren bir

araç gibi düşünülebilir. Hidrojen enerji taşıyıcısı olma özelliği ile elektriğe oldukça benzemektedir ancak elektrikten çok daha yüksek verimli bir enerjiye sahiptir. Tüketiciler, birincil enerji kaynaklarının yaklaşık olarak dörtte birini elektrik, dörtte üçünüde yakıt olarak kullanmaktadır. Termonükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, nükleer enerji, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve gel-git gibi birincil enerji kaynaklarının tüketicilerin ihtiyacı olan enerjiye veya yakıta dönüştürülmelidir. Bahsedilen bu birincil enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi doğrudan yakıt olarak kullanılmadığı için öncelikle dönüşümü sağlanmalıdır. Hidrojen doğada tek başına bulunmuyor olsada, sınırsız bir enerji kaynağı olduğunu bilinmektedir. Bunun yanısıra güvenlik açısından hiçbir sorun teşkil etmemesi ve tüm alanlarda kullanımı hidrojeni ön plana çıkarmaktadır. Hidrojen enerjisini avantajlı kılan en önemli durum ise hali hazırda kullanmakta olduğumuz fosil yakıtların bir gün tükeneceği konusudur. Ayrıca günümüz ekonomisinde bu yakıtların fiyatlarındaki artışta gün geçtikçe hidrojen pazarını güçlendirmektedir. Hidrojen dünyada en çok bulunan maddelerden biridir. Su, hidrojen ve oksijenin bir araya gelmesiyle oluşur, akarsu ve denizlerde oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Hidrojen doğada saf halde ve tek başına bulunmaz. Ancak farklı yöntemlerle bulunan kaynağından elde edilebilir. Bu nedenle hidrojen, yenilenebilir ve temiz bir yakıttır. Bunun yanında yine yakıtlar içerisinde çevremiz ve doğamız açısından en temizidir. Birincil enerji kaynaklarının kullanılarak hidrojen elde edilmesi ve bunun ihtiyaç duyulan yerlere iletilerek farklı yöntemler ile enerjiye çevrilmesi olayına hidrojen enerji sistemi denir. Hidrojen üretimi, depolama, iletim ve enerji çevrimi olmak üzere üç kısımdan oluşur. [3], [4]

Literatürde yapılmış olan hidrojen üretimi ve rüzgar ile ilgili çalışmalar:

B. Yanıktepe ve ark. 2011 çalışmalarında hibrid sistemlerde enerjinin sürekliliğini amaçlayarak Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi 'nde Karacaoğlan Kampüsünde 300W rüzgâr türbini ve 100W 'lık 3 adet güneş panelinden oluşan toplam kurulu gücü 600W değerinde bir hibrid sistem kurmuşlardır. Bu sistemi Türkiye şebekesinden bağımsız, tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile tasarlamış ve bina çatısına kurarak üniversite içerisindeki bazı sınıfların aydınlatılması için yapmışlardır. [5]

B. Yanıktepe ve ark. 2013 çalışmalarında Osmaniye ilinde rüzgar hızlarının dağılımı sonucu oluşan rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmak amacıyla Weibull ve Rayleigh dağılım yöntemlerini kullanarak bölgenin rüzgar gücü hakkında bilgi vermişlerdir.

Kullanılan Weibull dağılım yöntemleri parametrelerini (şekil parametresi k , ölçek parametresi c) belirlemek için grafiksel bir yöntem kullanılmışlar ve 10 m yükseklikteki rüzgar hızı, yönü ve akış süresince oluşan rüzgar verileri, Ocak 2008'den Ağustos 2011'e kadar 44 aylık bir süre boyunca Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından alınmıştır. Çalışma sonucunda ortalama rüzgar hızının 2,23 m/s rüzgar potansiyel enerjisi ise 24,587 W/m (2) olduğunu belirlemişlerdir. [6]

F. Tutar ve M. V. Eren 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında hidrojen kavramı, ekonomisi ve bazı ülkelerin hidrojen enerjisinde geldikleri konuma değinerek hidrojen ekonomisinin SWOT analizini yapmışlardır. [7]

Z. Ö. Özdemir ve H. Mutlubaş yürüttükleri çalışmalarında hidrojenin özelliklerine değinerek diğer enerji kaynakları ile ilişkisinden bahsedip farklı hidrojen depolama yöntemlerini ve Türkiye'de hidrojen uygulamaları hakkında bilgi vermişlerdir. [8]

E. Bayır ve H. H. Açıkel 2023 yılı araştırmalarında Karabük ili Yenice ilçesinde rüzgar ve güneş enerjisi kullanılarak jeneratör, rüzgar türbini, güneş paneli, hidrojen tankı, elektrifikasyon invertörü ve batarya sisteminden hibrit bir sistem oluşturmuşlar ve hidrojen üretmişlerdir.

Çalışmada HOMER Pro yazılımı kullanılmış ve seçilen bölgenin yıllık ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı 3997104 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bölgeye ait güneş radyasyonu ve rüzgar verileri NASA Surface'tan alınmıştır. Sistemden elde edilen sonuçlara göre üretilecek enerji 11,26 kg/gün hidrojen yükü ve 3997104 kWh/gün elektrik yükü tarafından kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji oranının yüksek seviyede olduğu bir durumda en ekonomik hibrit sistemin PV/WT/Bat şeklinde olduğu somucuna varmışlardır. [9]

L. Aiche 2008 yılında yapmış olduğu çalışmasında rüzgar gücünden hidrojen eldesinin tahmini üzerinde durmuştur. Cezayir'in güneyinde bulunan farklı yedi sahadaki rüzgar verileri kullanılarak bu sahalardaki hidrojen üretiminin rüzgar hızına ve rüzgar hızı frekans dağılımına göre değiştiği gözlemlenmiştir. [10]

E. Dursun 2013 yılı tez çalışmasında rüzgâr türbini ve fotovoltaik panellerden ve hidrojen kaynaklı bir hibrit güç sistemi hazırlayarak talep fazlası olan elektrik enerjisinin sistemdeki elektrolizörde kullanarak hidrojen eldesi etmiştir. Aynı

zamanda üretilen hidrojen, proton geçirgen membran yakıt pilinde (PEMFC) kullanılarak MATLAB/Simulink üzerinde bu hibrit güç sisteminin hidrojen üretim miktarının hesaplanması amaçlanmıştır. [11]

E. Akyüz 2010 tez çalışmasında fotovoltaik ve rüzgar enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi ile hidrojen üretimini incelemiştir. Sistemin büyüklüğü HOMER yazılım programı ile belirlenerek Balıkesir Bigadiç Keklik Tesisi'ne hibrit enerji sistemi kurulmuştur. Hidrojen üretimi için proton değişim membranlı (PEM) elektroliz ünitesi kullanılmıştır. [12]

H. Dagdougui ve arkadaşları 2011 yılında Rüzgar ve güneş potansiyellerinin değerlendirilmesi, hidrojen potansiyelinin analizi, bölgesel bir karar destek modülünün geliştirilmesi ve hibrit bir yerde hidrojen üretim sisteminin modellenmesini ele alan bu dört önemli konu üzerinde yoğunlaşarak İtalyanın kuzeyinde bulunan Liguria bölgesinde bir çalışma yürütmüşlerdir. [13]

A. Koca 1998 yılı tez çalışmasında hidrojen enerji sistemi, hidrojenin elde edilme teknikleri, depolanma yöntemleri ve kullanımını belirtmiş, bu tekniklerin ekonomik, verimlilik ve kullanılabilirlik yönleriyle karşılaştırmalar yapmıştır. [14]

O. Alavi ve arkadaşları İran'ın güneydoğu Sistan ve Belucistan eyaletinde rüzgar enerjisinin hidrojen üretme kabiliyetini araştırarak Dalgan, Lutak, Mil-Nader, Nosratabad ve Zahedan olmak üzere beş farklı lokasyonda 300-900 kW kapasiteli dört farklı rüzgar türbini analizini yapmışlardır. Bu çalışmada gerçek ortalama rüzgar türbini gücü ve Weibull olmak üzere iki yaklaşım kullanılmıştır. [15]

J. M. Zolezzi ve arkadaşları 2009 çalışmalarında ülkenin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmayı hedefleyerek Şili'nin Patagonya bölgesinin verimli rüzgar potansiyelinden yararlanarak kurulan rüzgar santralinden üretilen elektriği hidrojen olarak depolanmasını ve petrolle maliyet karşılaştırmasını yapmışlardır. [16]

L. Aiche ve ark. 2010 yılı çalışmalarında rüzgâr enerjisinden hidrojen üretimi potansiyelini araştırmak amacıyla Cezayir'in güneybatı bölgesinde rüzgâr türbini, elektrolizör ve güç koşullandırma cihazından oluşan bir sistem kurmuşlardır. Ayrıca çalışmada geçici sistem simülasyon programı (TRNSYS) kullanılarak hidrojen üretiminin rüzgâr kaynağı eğilimine duyarlılığından bahsetmişlerdir. [17]

M. S. Genç ve ark. 2012 yılında Türkiye'nin Orta Anadolu bölgesinde bulunan Niğde, Kırşehir, Develi, Sinop ve Pınarbaşı'nın 5 farklı lokasyonu için bir vaka çalışması olarak ele alarak rüzgâr enerjisinden hidrojen üretiminin araştırılması ve belirli bir bölge için hidrojen üretim maliyetlerini incelemiştir. [18]

Ü. T. Ün 2003 yılı çalışmasında hidrojen enerjisinin gelişimi, avantajları ve üretim yöntemlerini inceleyerek hidrojenin farklı tekniklerle üretilmesi ve dağıtımı için gereken enerji miktarlarına değinmiştir. Ayrıca, yakıt hücreli otomobillerin ihtiyacı olan hidrojenin ve içten yanmalı otomobillerin yakıt ve dış maliyetleri dikkate alınarak diğer yakıtlarla karşılaştırmasını yapmıştır. [19]

M. S. Yazıcı ve ark. 2008 çalışmalarında alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları, hidrojenin en uygun enerji taşıyıcılarından biri olması ve hidrojenin en önemli kullanım alanlarından biri olan yakıt pilleri konusunda dünyanın ve Türkiye'nin neden bir arayış içinde olduklarına değinmişlerdir. [20]

M. Ege, M. Turpçu ve ark. 2009 yılı çalışmalarında alternatif enerji kaynaklarından olan hidrojen enerjisi ile çalışan prototip bir aracın tasarımını, üretimini ve bu araçta temiz enerji kullanımına ek olarak enerji kaybının minimum seviyede olmasını sağlayan modüller yapmışlardır. Model SolidWorks programında çizilip Cosmos programında FEA analizleri yapılmıştır. [21]

Ö. Yörük ve ark. 2019 yılı çalışmalarında Hidrojenin elektroliz yöntemi ile yüksek saflıkta elde edilebileceği kaynaklar arasında olan kömür Çanakkale/Çan linyiti-su karışımından elektroliz ile hidrojen üretimine etki eden sıcaklık, elektrot malzemesi ve Fe^{+2} iyonunun etkisi gibi farklı parametrelere değinmişlerdir. [22]

Ö. Genç ve M. A. Kallioğlu 2017 çalışmalarında Proton Elektrolit Membranlı (PEM) elektrolizör içerisinde meydana gelen fiziksel ve elektrokimyasal olaylar PEM elektrolizörü hücre voltajı ve akım yoğunluğu gibi hücre performansını etkileyen parametreleri sayısal ve deneysel olarak incelemişler ve akım yoğunluğu arttıkça hidrojen üretiminde arttığını tespit etmişlerdir. [23]

İ. H. Dağhan 2010 yılı yüksek lisans tez çalışmasında yakıt pillerinin çalışma prensipleri, hidrojen enerji sistemlerinin özellikleri ve bu teknolojinin, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılarak, güç üretim sistemleri için uygulanabilirliğini araştırarak tasarladıkları iki ayrı güneş pili – yakıt pili sistemini

MATLAB/SIMULINK’de modelleyip performanslarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. [24]

A. F. Altun 2021 doktora tezinde şebekeden bağımsız ve enerji depolamalı bir hibrit sistemi modellemiştir. Modelin enerji, ekserji ve maliyet analizi için Konya-İstanbul Trabzon-Muğla lokasyonları belirlenmiştir. Aynı zamanda hidrojen ve batarya depolamayı da teknik ve ekonomik açıdan analize tabi tutmuştur. [25]

E. Yılmaz Ulu 2010 tez çalışmasında Denizli ili Pamukkale Üniversitesi kampüsünde kurulmuş olan Temiz Enerji Evi’ndeki Güneş Hidrojen hibrit enerji sisteminin ekserji analizini yaparak hesaplama sonuçlarına göre ekserji veriminin sabit panellerde %4,3-9,5 arasında, hareketli panellerde %6-13,2 arasında, elektrolizörde %51 ve yakıt pili sisteminde ise %22-36 değerler aldığını belirtmiştir. [26]

J. Ahmad ve ark. 2021 yılı çalışmalarında Bahawalpur, Sanghar ve Gwadar olmak üzere üç bölgede 2016 ve 2018 yılları arasında 10 dakikalık aralıklarla kaydedilen rüzgâr hızı verileri kullanılarak rüzgârdan hidrojen üretimi potansiyelini ele almışlardır. Seçilen sahalar için, rüzgâr türbinlerinin Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri, enerji ve rüzgâr gücü yoğunluğu hesaplamalarını kullanmışlardır. [27]

R. Sarrias-Mena ve ark. 2015 yılı çalışmalarında fosil yakıtlara alternatif ve yeşil bir enerji kaynağı olarak hidrojenin kaynak olarak kullanılması üzerine durmuşlar ve bu amaçla elektrolizör ve rüzgâr türbininin hibrit bir sistem olarak çalışmasına değinmişlerdir. Çalışmada dört farklı elektroliz modeli kullanarak MATLAB/Simulink programında değişken hızlı bir rüzgar türbini modeli üzerinde toplamışlardır. [28]

B. C. Durmaz ve İ. Üçgül 2024 yılı çalışmalarında Global Wind Atlas ve Global Solar Atlas yazılımlarını kullanarak Türkiye’nin kıyı bölgelerini temsil eden 3 konumun değerlerine göre toplam enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Küçük 6 tip (10x10 m²), orta 2 tip (20x20 m²) ve (30x30 m²), büyük 1 tip (60x60 m²) alana sahip olmak üzere 9 tip modül oluşturmışlardır. Oluşturulanlar ve küçük modül tipleri arasından açık deniz koşullarında altıgen platform yapının en uygun davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir. [29]

A. Mustafaeipour 2016 yılı çalışmasında İran’ın Fars eyaletinde Abadeh, Juyom, Eqleed ve Marvdasht şehirleri için bir yıllık süre boyunca on dakikalık aralıklarla

kaydedilen 10 m, 30 m ve 40 m yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının istatistiksel analizleri doğrultusunda Abadeh şehrinin rüzgar enerjisinden hidrojen eldesi için en uygun şehir olduğu sonucuna varmıştır. [30]

Ö. K. Muhammed, S. Ömer ve ark. 2013 yılı çalışmalarında, yüksek rüzgâr ve düşük talep zamanlarında rüzgâr gücü ile bir elektrolizörü, hidrojen yakıtı üretmek için üretilen fazla enerjiyi depolamak, elektrolitler ve platin elektrotlar vasıtasıyla su elektrolizi için kullanmışlardır. Kullandıkları elektrolizörleri fazla rüzgar enerjisi kaynağına paralel ve seri olarak iki farklı şekilde bağlayıp elektrolizör performansı analiz etmişlerdir. [31]

İ. Dinçer. Ve ark. çeşitli hidrojen üretim süreçlerinin kısa bir çalışmasına yapmak amacıyla güneş termal (yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık), fotovoltaik, fotoelektrolitik, biyofotoliz vb. olmak üzere çeşitli hidrojen üretim yöntemlerini tartışarak hidrojenin farklı üretim çeşitleri ve süreçleri, ekserji verimliliği, sürdürülebilirlik faktörü açısından avantajları ve dezavantajları açısından değerlendirip bu sürecin ekserji verimliliğini sürdürülebilirlik açısından tartışmışlardır. [32]

K. Hasan 2022 çalışmalarında rüzgar, güneş ve hidroelektrik enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen eldesinin hem teknolojik yönlerini hem de çevresel etkilerini kapsayacak geniş çaplı bir incelemesini yapmışlardır. Bu incelemede verimlilik, ölçeklenebilirlik ve uygulanabilirlik gibi önemli noktalar üzerinde dururken yeşil hidrojen eldesinin sürdürülebilir bir gelecek ve verimli bir enerji kaynağı olacağı öngörüsünde bulunmuşlardır. [33]

B. D. Mert ve ark 2019 çalışmalarında (Pt anot ve Cu, Cu/Ni, Cu/NiBi ve Cu/NiMo) dört farklı katot malzemesi kullanarak Adana'daki Alparslan Türkeş Üniversitesi'nde 105 W gücündeki fotovoltaik panelden elde edilen veriler saat 08:00 ve 16:00 arasında elektroliz deneyi için kullanmışlardır. Bu deney sonucunda verilen saat aralığında panellerin kısmi gölgelenmesi ile hidrojen üretimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kullanılan dört farklı katot malzemesi arasında Cu/NiMo'nun hidrojen üretim verimliliği açısından diğerlerinden daha verimli olduğunu belirlemişlerdir. [34]

M. Nasser ve ark. 2022 çalışmalarında elektrolizör çeşitlerini detaylı şekilde karşılaştırarak farklı elektrolizörler ile güneş ve rüzgar enerjisinden hidrojen üretim

sistemlerinin teknolojik, ekonomik ve bu üretim yöntemlerinin mevcut zorluklarını incelemiştir. [35]

M. Benganem ve ark. 2023 çalışmalarında fotovoltaik panel ve rüzgar jeneratörü ile hidrojen üretimi için çeşitli yöntemlerin karşılaştırmasını yaparak fotovoltaik panel ve rüzgardan hidrojen üretim sistemlerinin uzak ve kurak alanlar için uygun olduğu, minimum bakım ve elektrik üretmek için bir güç döngüsüne ihtiyaç duymadığını belirtmişlerdir. [36]

M. Avad ve ark. Ocak 2024 çalışmalarında güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgar enerjisi, gelgit ve dalga enerjisi, biyogaz sistemleri, jeotermal enerji ve bu kaynakların hibrit sistemleri ile yeşil hidrojen üretim teknolojilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Aynı zamanda farklı yapılarıdaki elektrolizörlerin yeşil hidrojen üretim sistemleri üzerindeki çalışma etkisine de değinmiştir. [37]

M. Çevik 2017 yılı tez çalışmasında fotovoltaik enerjiden yararlanma imkânı uygun görülen binaların çatılarına hibrit bir güneş-hidrojen enerjisi destekli sistem tasarımı yaparak. H₂ üretimi için elektroliz yöntemi kullanmıştır. Yapılan deneye göre elektrolizörün verimini %72.2 olarak hesaplamış ve tasarımı yapılan hibrit enerji sisteminin önlemiş olduğu emisyon miktarı hesaplamalarını da yapmıştır. [38]

R. Habash 2018 yılı tez çalışmasında kullanılacak olan en yaygın yakıt pili çeşidi olan polimer elektrolit membranlı yakıt piline zeolit materyalini ekleyerek membranın geliştirilmesinde ve aşırı ısınma, dehidrasyon ve düşük proton iletkenliği gibi sorunların çözümündeki yerini incelemiştir. [39]

M. Nasser ve H. Hasan 2023 çalışmalarında Mısır'ın iklim şartlarına baz alarak güç yoğunluğu (kWh/m²), hidrojen yoğunluğu (kg/m²), üretim maliyeti (\$/kg) ve CO₂ azaltımı (kgCO₂/m²) dahil olmak üzere güneş ve rüzgar enerjisi ile elektrolizör sayesinde yeşil hidrojen üretimini sağlayan çeşitli haritalar oluşturmuşlardır. MATLAB ile bir yıllık analiz için güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi veriler girilmiştir. Yalnızca fotovoltaik panel (S1), yalnızca rüzgar türbinleri (S2), fotovoltaik panel alanı rüzgar türbinlerine eşit (S3), fotovoltaik panel alanı rüzgar türbinlerinin iki katı (S4) ve fotovoltaik panel alanı rüzgar türbinlerinin yarısı (S5) olacak şekilde belirlenen alanda güç üretimi için beş farklı senaryo oluşturmuşlar ve senaryo 1'in hidrojen üretiminde en yüksek, senaryo 2'nin ise en düşük değere sahip

olduğu sonucuna varmışlardır. [40]

D. Sevilmiş ve M. Yıldız 2017 çalışmalarında yeşil hidrojen üretim yöntemlerinin gereksinimleri karşılayıp karşılayamayacağını enerji kaynaklarına göre elektriksel, termal, hibrit ve biyolojik olmak üzere dört sınıfta inceleyip elektriksel yöntemler arasında su elektrolizinin, termal yöntemler arasında CO₂ nötr olması nedeniyle biyokütle gazlaştırmasının, hibrit yöntemler arasında foto-elektrokimyasal üretimin ve biyolojik yöntemler arasında biyo-fotoliz ve foto-fermentasyonun hidrojen üretimini “yeşil” yaptığını belirlemiştir. [41]

H. Balta ve Z. Yumurtacı Ocak 2024 çalışmalarında Türkiye'nin altı farklı bölgesinden olmak üzere Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Kırklareli ve Muğla illerini dalga, rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli açısından dalga verileri, rüzgar hızları, güneşlenme süresi ve küresel radyasyon değerleri açısından değerlendirmeye sokup elektrik gücü potansiyelini analiz etmişler ve aynı zamanda bu bölgelerde elektrik ihtiyacı karşılanabilen konut sayısını hesaplamışlardır. [42]

J. R. Mehrenjani ve ark 2022 çalışmalarında okyanus termal, güneş ve rüzgar enerjisi temelli yenilenebilir hibrit sistemi, güç üretimi ve hidrojen üretimi için hazırlayarak sistemin ekserji verimliliğini, maliyet oranını ve hidrojen üretimini hesaplama amacıyla bir tekno-ekonomik model oluşturmuşlardır. Rüzgar hızı ve güneş kolektörü alanı gibi etkili parametreler termo-ekonomik analiz, ekserji verimliliği ve toplam maliyet oranını da oldukça etkilediği sonucuna varmışlardır. [43]

B. Yanıktepe ve ark. 2017 çalışmalarında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan veriler Osmaniye ili sınırları içerisinde belirli bir bölgenin rüzgar gücü potansiyelini yapay sinir ağları kullanılarak tahmin etmişlerdir. Yapılan tahminler sonucunda istatistiksel değerler ile ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. [44]

İ. Karadöl 2017 yılı tez çalışmasında evin günlük enerji ihtiyacını karşılayabileceği ve ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye aktarılabilceğini düşündüğü güneş ve rüzgâr enerjili 260 W gücünde 2 adet güneş panelinden ve 500 W gücünde 1 adet rüzgâr türbininden, 100 Amper/saat değerine sahip 2Adet batarya ve 1600 W gücünde eviriciden oluşan çok rüzgârlı havalarda türbinlerin zarar görmemesi için frenleme sistemi bulunan bir hibrit sistem tasarlamıştır. Üretilen enerji değerlerini depolayıp analiz etmek ve AC-

DC gerilimleri istenilen gerilim ve akım değerine dönüştürmek için 2 adet gerilim dönüştürücü ve 1 adet 8 kanallı veri kayıt cihazı kullanmıştır. [45]

A. A. Koçer ve M. Öztürk 2015 yılı çalışmalarında hidrojen üretiminde kullanılan yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından bahsederek bu kaynakların kullanımlarının rolü, dağıtımı ve depolama teknolojileri konusunda çevresel, kaynak kullanımını ve ekonomik olarak bir takım görüşlere değinmişlerdir. [46]

A. Ateş ve ark. 2017 yılı çalışmalarında fotovoltaik panellerden güneş enerjisini elektrik olarak üreten ve sonrasında elektrolizör vasıtasıyla hidrojen olarak depolayan şebekeden uzak kırsal alanlarda küçük ölçekli tüketiciler için bir sistem kurmuşlardır. Çalışılan bölge olan Konya şehrinin yıllara göre aylık ortalama güneşlenme verileri, giriş parametreleri olarakta elektrolizör sıcaklık ve basınç değerleri ve fotovoltaik panellerin verimlilikleri kullanmışlardır. Fotovoltaik panellerden 400 W ile 1800 W aralığında yüksek bir elektrik gücünün, hidrojen üretiminin ise 120-130 g/ay aralığında elde edilebileceğini vurgulamışlardır. Bu sistemin Konya'nın kırsal kesimlerinde olduğu gibi farklı bölgelerin benzer iklim bölgelerinde kullanılabileceğini söylemişlerdir. [47]

U. Kuru 2005 yılı tez çalışmasında Kara Harp Okulunun elektrik tüketim miktarlarını inceleyerek bu tüketim talebine cevap verebilecek bir rüzgar elektrik santrali oluşturmuştur. Avrupa Rüzgar Atlası ve Türkiye Rüzgar Atlasının hazırlanmasında kullanılan yöntemler ve WAsP programı ile Marmara Adası'nın rüzgar ölçümleri, rüzgar atlas istatistikleri ve adanın rüzgar enerji potansiyeline ulaşmıştır. Aynı zamanda santralin kurulmasının ekonomik olup olmadığı konusunda da mevcut tedarik verileri ile kıyaslayıp değerlendirmiştir. [48]

T. Polat ve ark 2012 çalışmalarında hidrojen üretimine dayalı nükleer santral seçimi için önerilerde bulunmuşlar ve enerji taşıyıcısı olarak hidrojenin özelliklerinden bahsedip, en verimli ve sürdürülebilir üretimin ise termokimyasal çevrimlerle nükleer enerjiden elde edilebileceğine değinmişlerdir. Aynı zamanda kullanılacak en uygun nükleer tiplerinin yüksek sıcaklık reaktörleri olduğunu söylerken bu reaktörde kullanılacak en uygun termokimyasal çevrimin ise sülfür-iyot çevrimi olduğu belirtmiştir. [49]

A Yavuzdeğer ve F. Ekinci 2023 çalışmalarında yüksek güneş ve rüzgar enerjisi

potansiyeline sahip bölgelerde enerji talebini karşılamak ve alandan tasarruf etmek amacıyla hibrit bir sistem tasarlamışlardır. Bu hibrit sistemi güneş panelleri rüzgar türbinlerinin yan yüzeylerine monte ederek tasarlamışlardır. Sistemin deneysel çalışmalarını ise Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (ATÜ) çatısında yapmışlardır. [50]

G. Badea ve ark. 2017 yılı çalışmalarında günlük kapasitesi 100 kg olan bir hidrojen üretim ve depolama sistemi kurmuşlar. Romanya'nın Cluj-Napoca kentinde olan bu sistem enerjiyi güneş enerjisinden sağlayıp sonrasında elektroliz ile hidrojen üretmişlerdir. [51]

R. Sandro ve ark. 2014 yılı çalışmalarında Sunda Boğazı bölgesinde uydu görüntüleri verilerinden alınan ölçümlere dayanarak rüzgar, akıntılar, gelgitler ve dalga enerjisinin potansiyelini kullanarak bölgenin elektrik ihtiyaçlarına çözüm olabileceğini vurgulamışlardır. [52]

A. Abdurakhmanov ve ark. 2021 yılı çalışmalarında 1x2 m boyutlarında 30 adet fotovoltaik panellerden oluşan 10 kW'lık bir güneş enerjisi sistemi kurarak suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi yapmışlardır. [53]

A. Dendouga ve ark. 2020 yılı çalışmalarında yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşi kullanarak fotovoltaik panellerden elde ettikleri güç ile PEM elektrolizinden hidrojen üretmişlerdir. Fotovoltaik panelin modellenmesi ve deneysel karakterizasyonunu ve hidrojen üretim yöntemlerini de ayrıntılı şekilde anlatmışlardır. [54]

M. İ. El-Şafii ve ark. 2019 yılı çalışmalarında fosil olan yakıtları, fosil olmayan yakıtları (buhar reformu, kısmi oksidasyon, oto termal, piroliz ve plazma teknolojisi) ve ayrıca suyun elektrolizini kullanarak hidrojen üretim teknolojilerinden bahsetmişlerdir. [55]

M. S. Mert ve ark. 2019 yılı çalışmalarında jeotermal kaynaklara sahip olan Manisa Alaşehir bölgesinde kurulabilecek biyokütle kaynaklı hidrojen üretimi ve buna entegre olarak bir güç üretim sistemi tasarlamışlardır. Aspen HYSYS simülasyon programı kullanılarak sistemin yapılabilirliği analiz edilmiş ve analiz sonucuna göre hidrojen üretim sistemi ile beraber organik Rankine çevrimi kullanılarak 729 kWe elektrik enerjisi üretilebileceğini belirlemişlerdir. [56]

Dr. S. K. Sampangi ve H. Lim 2022 yılı çalışmalarında en başta su elektrolizi olmak üzere çeşitli yeşil hidrojen üretim teknolojilerinin detaylı bir incelemesini yaparak çeşitli su elektrolizi teknolojileri, hidrojen üretim maliyeti, tekno-ticari beklentileri, elektrot malzemelerindeki son gelişmeler ve aynı zamanda ticari elektrolizörler hakkında bilgi vererek özetlemişlerdir. [57]

D. D. F. Palhares ve ark. 2018 yılı çalışmalarında akrilik ve 304 paslanmaz çelik elektrotlardan üretilen silindirik bir elektrolitik hücre tasarlayarak bu sistemi 20W'lık fotovoltaiik panel ile sabah saat 10.00 ile öğle saat 14.00 saatleri arası çalıştırıp hidrojen üretmişlerdir. [58]

B. Yanıktepe ve ark. 2013 yılı çalışmalarında rüzgar enerjisi sistemlerinin potansiyelini ve gelişimini analiz ederek 2011 yılı sonunda Dünya ve Türkiye için rüzgar enerjisi tesislerinin mevcut kullanımı ve gelişimini ayrıntılı olarak incelemişler, Türkiye'de yeni rüzgar enerjisi yatırımları geliştirmek için vergi muafiyeti, destek ve teşvik mekanizmaları gibi parametreleri açıklamışlardır. [59]

F. Kaya ve O. Akar Temmuz 2024 yılı çalışmalarında sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynakları ile temiz üretim amacıyla Aydın'da jeotermal ile hidrojen enerjisi üretimi ve depolanması üzerine çalışmışlardır. Jeotermal kaynaklar açısından zengin bir ilimiz olan Aydın'da yapılan çalışma sonucunda yararlı ve verimli sonuçlar elde etmişlerdir. [60]

M. Bakırcı 2020 yılı çalışmalarında yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin maksimum güç verimlerinin elde edildiği uç hız oranının neden farklı sayısal değerlere sahip olduğunu NREL S 809 kesitli yatay eksenli rüzgar türbini ile Schmitz formülüne göre kanat geometrisi oluşturularak maksimum güç değerinin, hangi uç hız oran değerinde oluştuğunu BEM teoremi ile araştırmışlardır. [61]

E. Akyüz 2010 yılı doktora tezinde Balıkesir Bigadiç Kınalı Keklik üretim tesisinde 1 kWp fotovoltaiik ve 10 kW rüzgar hibrid enerji sistemi, 48 kW aküler ve 5 kW evirici ile birlikte yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş ve rüzgar enerjisi yoluyla elektrik enerjisi ve hidrojen üretilmesi amacıyla bir sistem kurarak HOMER programında boyutlandırmasını yapmıştır. [62]

K. Gök ve A. Sözen 2022 yılı çalışmalarında Karadeniz kıyılarındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından yani güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak Karadeniz'in

diplerindeki hidrojen sülfürden elektroliz yöntemi ile hem hidrojen üretmede gerekli olan enerjiyi sağlamak hemde hidrojen üretmek amacıyla yaklaşık 640 MWh'lik bir enerji ile yıllık 50 tonluk hidrojen üretebilecek bir sistem tasarlamışlardır. Bu hibrit sistemi İstanbul ve Zonguldak Filyos'da kurarak bölgenin yatırım yapılabilme performansı için analizlerde bulunmuşlardır. [63]

N. S. Çetin ve ark. Ocak 2023 yılı yaptıkları projelerinde Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünün laboratuvar ve ekipman olanaklarından faydalanılarak rüzgar ile güneş enerjili, otonom ve şebekeye bağlı hibrit bir güç, ısıtma ve soğutma sistemi olan bir prototip tasarlayarak proje kapsamındaki binanın enerjisi rüzgar türbini (5kWp), ısı pompası, fotovoltaik panelleri PV (3kWp) güneş kollektörü FPC (4×2,42m²) ve termal güneş kollektörü PV/T (300Wp, 3×1,66m²), güç aküleri (4×200Ah) ile sağlamışlardır. [64]

K. Saka 2019 yılı çalışmasında Bursa'daki bir santralin gerçek çalışma koşulları altında üretim değerlerini oluşturmuşlar ve gerçek günlük elektrik üretim verileri, santralin günlük hidrojen üretim performansının teorik olarak araştırılmasında kullanmışlardır. Suyun elektrolizi için Proton Değişim Membranlı (PEM) elektrolizör seçilmiş ve elektrolizör açık bir yaz gününde 1630 kg hidrojen üretebileceğini saptamışlardır. [65]

1.1 Hidrojen Enerjisinin Özellikleri

Hidrojen enerjisinin özelliklerine değinmeden önce hidrojen ve hidrojen enerjisinin birbirinden farklı olduğu belirtilmelidir. Bu durumda 'atom halinde olan hidrojen farklı bir kararlılık düzeyine sahipken, moleküler halde bulunan hidrojen farklı bir kararlılık düzeyine sahiptir. Hidrojen enerjisi olarak bahsettiğimiz ise moleküler haldeki hidrojendir (H₂) [66].

Fiziksel Özellikleri

Bilinen özellikleri arasında renksiz, kokusuz ve diğer gazlardan çok daha hafif olması en başta gelmektedir. Hidrojenin yoğunluğu 0.09 kg/m³ 'tür. Yani hidrojen 1.2 kg/m³ yoğunluğa sahip olan havadan yaklaşık olarak 14 kat daha hafiftir. Katı metalik hidrojen, katı halde bulunan birçok elemente göre daha yüksek elektriksel iletkenliği vardır. Ayrıca gazlar arasında hidrojenin en yüksek ısı kapasitesine (14.4 kJ/kgK)

sahip olduğu bilinmektedir. Gaz formundan sıvı formuna $-252,77^{\circ}\text{C}$ 'de, sıvı formundan katı formuna $-259,2^{\circ}\text{C}$ 'de geçer [66].

Kimyasal Özellikleri

Hidrojen atomik haldeyken çok fazla aktiftir ve bu nedenle etrafında bulunduğu herşeyle reaksiyon gerçekleştirir. Örneğin; Hidrojen Cl ile tepkimeye girerse HCL oluşmaktadır. Hidrojen bu kadar aktif olduğu için tek başına bulunamıyor yani hidrojeni tek başına atmosferde bulmak imkansızdır. Moleküler olan hidrojen, su içinde atomik hidrojen olarak çözünür. Hidrojenle kovalent bağ oluşturanlara örnek olarak su (H_2O), hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (NH_3), hidrojenle oluşan organik bileşikler verilebilir. İyonik hidritler hidrojen gazı için uygun kaynaklardır. Örnek olarak, kalsiyum hidrit (CaH_2) hidrojen üretimi için çok uygun kimyasaldır. Moleküler haldeki hidrojeni, atomik haldeki hidrojene ayırtmak için yüksek sıcaklıklar gereklidir. Hidrojen doğada en çok oksijen ya da karbon ile bağ yapmıştır. Bu sebeple, doğal bileşiklerden hidrojeni çıkarmak içinde bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, hidrojen birincil enerji kaynakları sayesinde üretilen bir enerji taşıyıcısı olarak değerlendirilmelidir [66].

1.2 Hidrojenin Yakıt Özellikleri

Hidrojen hacimsel olarak %4-75 arası geniş sıcaklık aralığında yüksek tutuşma özelliğine sahiptir. Gaz olduğu için belli koşullarda depolanmalıdır. Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, fosil yakıtlar, su, hidrokarbonlar, hidrojen sülfür ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Ayrıca, hidrojen bir çok alanda (ham petrolün işlenmesinde, kimya sanayinde, gübre üretiminde, metalürjide) en önemli sanayi gazı olarak kullanılmaktadır. Küresel hidrojen talebinin yaklaşık %48'si doğal gazdan, %30 petrolden, %18 kömürden, %4'ü suyun elektrolizinden üretilmektedir [66].

1.3 Hidrojenin Enerji İçeriği

Yakıtlar içerisinde en yüksek enerji içeriğine sahip olan hidrojendir. Örneğin ağırlık karşılaştırmasını göre hidrojen ($140,4 \text{ MJ/kg}$) benzinden ($48,6 \text{ MJ/kg}$) üç kat daha fazla enerji içeriğine sahipken benzinin sahip olduğu hacimsel enerji içeriği (31150 MJ/m^3) sıvı hidrojenin sahip olduğu enerji içeriğinden (8451 MJ/m^3) çok daha

fazladır. 1 kg H₂ 2,6 kg doğal gaz (metan) ya da 3,1 kg benzin ile aynı enerji miktarına sahiptir.

Tablo 1. Hidrojen ve diğer yakıtların karşılaştırılması [66]

Yakıt	LHV (MJ/kg)	HHV (MJ/kg)	A/F	CR(%)	FT (°C)	AIT (°C)
Hidrojen	119.9	141.6	34.3	4.0-75.0	2207	585
Metan	50	55.5	17.2	5-15	1914	540-630
Propan	45.6	50.3	15.6	2.1-9.5	1925	450
Metanol	18.0	22.7	6.5	6.7-36.0	1870	460
Benzin	44.5	47.3	14.6	1.3-7.1	2307	260-460
Dizel	42.5	44.8	14.5	0.6-5.5	2327	180-320

Hidrojen yakıt pilleri kullanılarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebildiği gibi fosil yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlarda, türbinlerde, otomobil, traktör, biçerdöver, tren, gemi, denizaltı, uçak ve roket gibi araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. [66].

1.4 Hidrojen Ekonomisi

Önemli bir yakıt kaynağı olarak ulusal ekonomiyi oldukça etkileyen hidrojenin kullanımı, ilk defa 20. Yüzyılın ortalarında büyük ölçekli nükleer elektrik üretme sistemlerinin kullanımı için önemli bir faktör olmuştur. Hem küresel ısınmayla ilgili sorunlar hemde sürdürülebilir enerjinin devamlılığını sağlama isteği, hidrojenin yakıt olarak kullanımına olan ilgiyi oldukça arttırmış ve bu alandaki çalışmalarını da hızlandırmıştır [67].

2019'da IEA' nın dönüm noktası olarak görülen Hidrojenin Geleceği raporunun yayımlandığı tarihte, sadece Fransa, Japonya ve Kore hidrojen kullanımına yönelik yöntemlere sahipti. Şu anda, 17 hükümet hidrojen ile ilgili stratejilerini yayınladı ve 20'den fazla ülke kamuya açıklanmış stratejiler üzerinde çalışıyor. IEA' nın “2050'ye Kadar Net Sıfır: Küresel Enerji Sektörü için Bir Yol Haritası” raporunda verdiği bilgiye göre; hidrojen kullanımı enerji sektörünün farklı alanlarında yaygınlaşıyor ve 2050 yılına kadar toplamda enerji tüketiminin %10'unu karşılayacak şekilde altı katı olarak büyüyor. Tüm bunların hepsi düşük karbon kaynaklarından sağlanıyor.

Endüstri için karbonsuzlaştırmanın temelinde hidrojen vardır ve bu alanda oldukça önemli adımlar atılmakta ve araştırmalar sürdürülmektedir [68]. Hidrojen, evrensel bir enerji taşıyıcısı olarak, yerli üretim veya ithalat yoluyla günümüz ve gelecekteki fosil yakıt bağımlılığını azaltma amacıyla enerji arzını çeşitlendirmeye yardımcı olabilir. Yerli hidrojen üretimine verilen önem teknoloji geliştirme, yeni iş imkanları, ulusal ekonomileri güçlendirme gibi konularda ekonomik açıdan büyümeyi destekleyebilir. Ayrıca, hidrojen enerjisi ve teknolojileri alanında yapılan çalışmalar ve ihracat ek gelir sağlayabilir. [69].

2018 yılında, dünya genelinde yaklaşık 115 Mt (milyon ton) hidrojen kullanılmıştır. Bu 115 Mt (milyon ton) hidrojenin 70 Mt (milyon ton)'u %71 oranında doğal gaz ve %27 oranında kömürden üretilmiştir. Bu üretim sonucunda, küresel enerjiyle ilgili toplam verinin yaklaşık olarak %2,2'sine denk gelen yaklaşık 830 Mt (milyon ton) CO₂ emisyonu salımı gerçekleşmiştir [70]. Gelecekte tüm sektörlerde ve sürdürülebilir ölçekte, ana enerji kaynağının hidrojen olacağını ön gören kavram hidrojen ekonomisi olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen ekonomisinin temel direği, yeryüzünde her yerde ve bol miktarda bulunan sudan üretilmesi ve çevreci içeriğe sahip olmasıdır. Hidrojen yerel olarak üretilir ve depolanabilir. Hidrojenin aktarılabilir bir yapıya sahip olması, hidrojene enerji taşıyıcı özelliği kazandırmaktadır [66].

1.4 Hidrojenin Kullanım Alanları

Hidrojenin bir enerji türü olarak pek çok alanda kullanımı mevcuttur. Örneğin; Hidrojen, alevli yanma özelliğine sahiptir ve bu sayede gaz türbinlerinde, ocaklarda ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Doğrudan buhara dönüşüm özelliği ile de buhar türbinlerinde ve endüstriyel buhar üretiminde de kullanılabilir. [71]. Genel hatlarıyla ele alınacak olursa hidrojenin iki farklı kullanım alanı bulunmaktadır. İlk kullanım alanı yakıt hücresi teknolojisidir. Bu teknoloji vasıtasıyla hidrojen doğrudan elektrik üretici, konutlarda ısıtma faktörü, taşıt araçlarında ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanı ise hidrojenin geçmişten günümüze taşıtlarda yakıt olarak kullanıldığı içten yanmalı motor teknolojisidir [71]. Hidrojeni içten yanmalı motorlarda, yakıt olarak sıvı veya gaz halinde kullanmak mümkündür. Sıvı formdaki hidrojen tıpkı sıvı petrol gazında (LPG) olduğu gibi; gaz formdaki hidrojen ise yine tıpkı sıkıştırılmış doğal gaz (CNG)

gibi kullanılabilir. Gaz halindeki hidrojen depolama sistemleri sıvı hidrojen depolama sistemlerine oranla büyük ve ağırken, sıvı hidrojen depolama sistemleri daha küçük ve hafiftir. Ancak sıvı hidrojenin çok düşük sıcaklıklarda çalışması gerekmektedir. Ayrıca hidrojen benzinli ve dizel yakıtlı (karma yakıtla) çalışma imkânı da sunmaktadır [71].

1.5 Hidrojen Renk Kategorileri

Hidrojen renk kategorileri veya hidrojen renk sınıflandırması, hidrojenin üretimi için kullanılan yöntem ve gerekli olan enerji kaynaklarına göre adlandırılmaktadır. Buna ek olarak sadece üretimde kullanılan yöntem değil, üretimi sonrası oluşacak sera gazı salımı da oldukça etkilidir. Yapılan bu adlandırma genel olarak yeşil, mavi ve gri hidrojen şeklindedir. Ancak bu renk çeşitliliğinin yanı sıra turkuaz, sarı, pembe ve kahverengi olarak çeşitlendirme tanımlamaları mevcuttur [2].

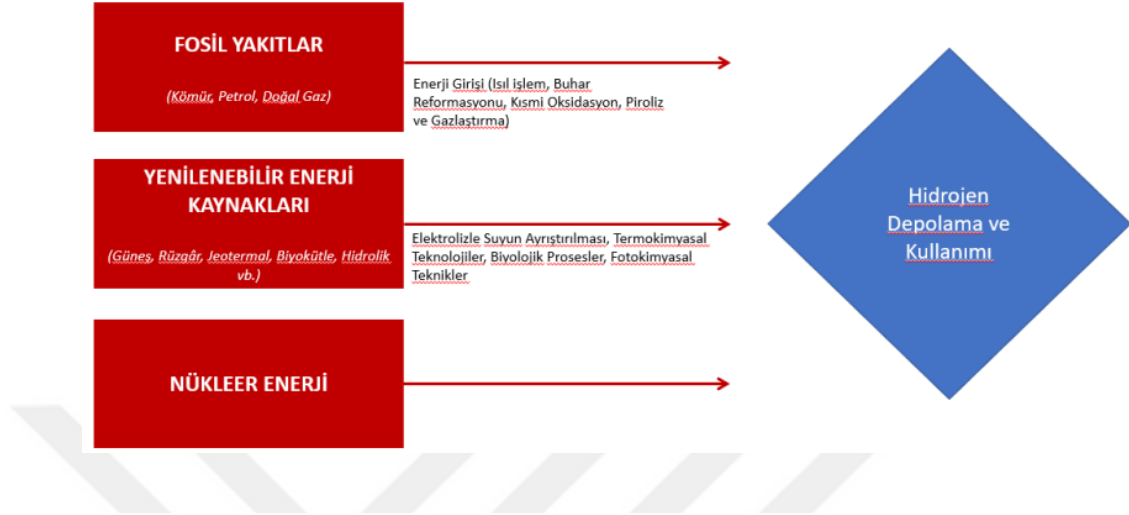


Şekil 1. Hidrojen üretim yöntemlerine göre hidrojen renkleri [4]

1.6 Hidrojen Enerjisi Kaynakları

Hidrojen çeşitli birçok kaynaktan üretilebilir. Bu kaynaklar hidrokarbonlar gibi fosil yakıtlar, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer kaynaklar gibi çeşitli kaynaklardır. Günümüzde ise hidrojen diğer kaynaklara oranla çoğunlukla fosil

yakıtlardan üretilmektedir. Fosil yakıtlar dışında, birincil enerji kaynakları ile hidrojen üretim teknolojileri ise giderek gelişmektedir [4].



Şekil 2. Kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri [4]

Hidrojen üretiminde kullanılan kimyasal, elektrokimyasal, termokimyasal, fotokimyasal gibi teknolojilerin yanısıra biyolojik yöntemler ya da bu yöntemlerin birlikte hibrit olarak kullanımı da mevcuttur.

1.7 Fosil Kaynaklar

Hidrojen üretilmesinde en çok kullanılan kaynak fosil yakıtlardır. Hidrojen üretilmesi için kullanılan yöntemler arasında fosil yakıtlar vasıtasıyla gerçekleşen reformasyon, kısmi oksidasyon, piroliz ve gazlaştırma gibi üretim teknolojileri ön plandadır. Fosil yakıtların temeli olan hidrokarbon moleküllerinin reformasyon işlemine tabi tutulması ile yeniden bir forma sokularak hidrojenin serbest kalması sağlanmaktadır. Reformasyon, tepkimeye giren gazların tepkime sonucunda yeniden biçimlendirilmesi olarak özetlenebilir [4]. Dünya genelinde, petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen oranı oldukça yüksektir.

Doğalgazın ayrıştırılması ve ağır hidrokarbonların kısmi oksidasyonu fosil kaynaklardan hidrojen üretmenin en yaygın iki yöntemidir. Doğalgazın ayrıştırılması yönteminde verim, %70 ile %80'lere kadar çıkmaktadır. Bu nedenle en etkili yöntemlerdendir. Bu yönteme “Steam Reforming” de denilmektedir.

Kısmi oksidasyon işleminde oksijen ya da hava kullanılarak hidrojen üretimi gerçekleştirilir. Oksijen ile işlenmemiş malzemenin tepkimesi sonucu açığa çıkan enerji, sürecin diğer kısımlarında kullanılmaktadır. Sonrasında karbonmonoksit, karbondioksite dönüştürülmektedir. Bu işlemin ardından ise hidrojen elde edilir. Kısmi oksidasyon işleminde sıvı veya katı hidrokarbonlar kullanılabilir. Kısmi oksidasyon daha az saflıkta gerçekleşmektedir [72].

Fosil kaynaklar kullanılarak hidrojen üretilmesi aşamalarında gerçekleşen tepkime sonucunda sülfür oksit (SOx), nitrojen oksit (NOx), cıva (Hg) ve diğer partiküller gibi fazlasıyla kirletici ürünler meydana gelmektedir. Bu partiküllerin yanı sıra karbondioksit gibi sera gazları da oluşmaktadır. [4]. Fosil yakıtların kullanılmasıyla üretilen hidrojenin, yakıt hücreli araçlarda kullanılması ile benzinle çalışan içten yanmalı motorlu araçları karşılaştırdığımız zaman çıkan emisyonların oranı büyük farklılık göstermekte ve hidrojen ile çalışan yakıt hücreli araçların çevreye salmış olduğu emisyon, benzinle çalışan içten yanmalı motorlu araçların saldığı emisyonlara oranla daha düşük düzeydedir. Aynı zamanda yakıt hücresi ile çalışan elektrikli aracın atmosfere salmış olduğu tek emisyon sadece su buharıdır [4]. Diğer yandan, doğal gazdan hidrojen üretmek ve bu hidrojeni yeni nesil araçlarda kullanmak için depolama ve taşıma esnasında oluşan toplam sera gazı emisyonları, klasik benzinli araçların oluşturmuş olduğu emisyonlara kıyasla yine de düşük bir seviyededir [4].

1.8 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir kaynakların kullanılmasının temel amacı fosil yakıtlara olan bağımlılığı en aza indirirken, fosil yakıtların sebep olduğu zararlı emisyonları da azaltmak/ortadan kaldırmaktır. Kullanımı sonucu nerdeyse sıfır sera gazı emisyonu olan yeşil enerji elde etmek mümkündür ve bunu yenilenebilir kaynaklar vasıtasıyla yani aslında yenilenebilir enerjiyi verimli bir şekilde kullanabilen ve birincil enerji kaynaklarından hidrojen üretimi ile yapılmaktadır. Birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak elde edilen hidrojen enerjisi doğal bir yakıt olmayıp su, rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal gibi farklı hammaddelerden üretilen sıfır karbon içerikli enerji taşıyıcısı veya sentetik bir yakıt olarak tanımlanır [4], [72]. Hidrojen enerjisi hem dünyanın artan enerji ihtiyacını karşılayacak hem de özellikle ulaşım sektöründe diğer yakıtların yerini alacağı öngörülmektedir [7]. Hidrojen diğer fosil yakıtlara oranla (kömür, amonyak, petrol, hidrojen sülfür) doğal gazda daha fazla bulunmaktadır.

Kaynak olarak doğal gazın kullanılması zararlı emisyonların ortadan kaldırılması ya da düşürülmesi, aynı zamanda gitgide azalan fosil yakıtlar için tedarik sorununu ortaya çıkarmaktadır [2]. Gazlaştırma yöntemi bilindiği üzere fosil yakıtlardan hidrojen üretilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem aynı zamanda biyokütleden hidrojen üretilmesinde de kullanılmaktadır. Hidrojen birçok farklı biyokimyasal ürünlerden elde edilebilir ancak biyokimyasal hidrojen üretim işlemlerinin verimi yüksek değil genellikle düşük oranlardadır [4],[73].

Hidrojen üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan (güneş, rüzgâr, hidroelektrik, dalga, denizaltı akıntısı, jeotermal ve biyokütle) rüzgâr enerjisi kullanılarak, yatay ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirerek hem elektrik enerjisi elde edilir hem de üretilen bu elektrik enerjisi uygun teknolojilerin kullanılmasıyla hidrojen enerjisi üretilir. Bu yöntem temiz bir yöntem olması nedeniyle önemli bir yere sahiptir [73]. Rüzgâr enerjisinin kullanılması ile hidrojen üretilmesi, hidrojen üretim yöntemlerinin ve elektrik üretim sistemlerinin entegre edilmesi sonucu çeşitli kaynakların kullanılması ile hidrojen üretilmesi durumudur. Bu duruma elektrolizi örnek verebiliriz. Yani rüzgâr enerjisi ile suyun elektroliz yöntemi kullanılarak hidrojen üretilmektedir. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminde yaşanan problemlerden biri “rüzgâr hızına bağlı olarak voltaj değişimleridir.”

Elektrolizörler bu gibi problemlere karşı uyum sağlayabilecek yapıdadırlar. Bu nedenle elektroliz kullanılarak rüzgâr enerjisinden hidrojen üretmede tercih edilen bir yöntemdir. Diğer bir durum ise elektrik arz fazlası olduğunda rüzgâr türbinlerini durdurmadan bu enerjiyi hidrojen üretmek için kullanılacak hibrit rüzgâr enerjisi santralleri ile kullanımı uygundur [4].

Elektrik ve hidrojen üretimi, bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin kullanılmasıyla da gerçekleşir. Jeotermal enerji, kaynaklarını çoğu 250 °C ve yeryüzünün bazı bölgelerinde yaklaşık 35-500 °C aralığında olan sıcaklık seviyelerine sahip bir ısı enerjisi şeklidir. Buhar türbinleri kullanılarak jeotermal enerjinin sahip olduğu yüksek ısıdan elektrik üretilir. Elektrik üretim sürecinin enerji verimi jeotermal kaynağın sıcaklık seviyesine bağlı olarak %5 ile %25 arasında değişmektedir [73].

1.9 Nükleer Kaynaklar

Mevcut olarak kullanılan nükleer santraller hem yüksek kalitede buhar üretebilirken hemde doğal gaz kazanlarından daha düşük maliyete sahiptirler. Üretilen bu yüksek kaliteli buhar elektroliz gibi birçok endüstriyel işlemde kullanılabilir ve işlem sonucunda yüksek verimde hidrojen elde etmek mümkündür. 1000 MW'lık enerji gücüne sahip bir nükleer reaktörden yılda 200000-ton hidrojen üretilmesi mümkün olmaktadır. Nükleer enerji tesisleri şebekeye elektrik üretimi sağlarken aynı zamanda açığa çıkan ısı ile hidrojen üretimini destekleyebilecek potansiyelde değerlendirilmektedir. Nükleer santraller yeşil enerji kaynağı olarak görülmekte, bunun sebebi ise karbon emisyonu salımına neden olmadıkları içindir. Aynı zamanda bu reaktörle ile üretilen hidrojen de yeşil hidrojen konumuna sahiptir [4].

Çeşitli araştırmalar ile varılan sonuçlara göre dünya çapında kullanılan ve kullanılmaya devam edilen enerjinin yaklaşık %85'i halen fosil yakıtlardan elde edilmekteyken %5 civarında nükleer enerji kullanımı mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynakları veya nükleer kaynaklar vasıtasıyla üretilen elektriğin suyun elektrolizinde kullanılmasıyla oluşan hidrojen 'yeşil hidrojen' olarak isimlendirilir. Çünkü bu üretimde ihtiyaç duyulan elektriği elde etmek için neredeyse hiç karbondioksit (CO₂) açığa çıkmamıştır ancak yenilenebilir ya da nükleer kaynaklar yerine metan kullanarak yapılan üretim sonucunda karbondioksit açığa çıkmaktadır [74].

Hidrojenin alternatif kaynak olarak gösterilmesinin bir nedeni de nükleerden üretilmesidir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak %64,5'lik kısım fosil yakıtlardan (%38,7 kömür, %18,3 doğal gaz, %7,5 petrol), %16,5'lik kısmı hidrolik enerjiden, %13'lük kısmı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilirken %7'lik kısım ise nükleer kaynaklardan üretilmektedir [72].

Dünya genelinde elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %16-17'si nükleer enerjiden karşılanırken, dünya elektrik talebinin ise yaklaşık olarak %11'i nükleer enerjiden karşılanmaktadır [75].

2020 yılında birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarını payı %16,7 iken 2053 yılına kadar %50 kadar yükseleceği ve nükleer enerjinin %29,3'lük bir paya ulaşacağı öngörülmektedir [76]. Nükleer güç ile hidrojen üretmek için termokimyasal çevrim en yüksek potansiyele sahip çevrimdir [77]. Elektrik üretiminin

sürekli ve kesintisiz olması nükleer kaynak kullanımının avantajları arasındadır. Bir diğer önemli avantajı ise nükleer santrallerde diğer santrallere göre daha uygun maliyetlerle elektrik üretilmesi, sera gazı salımının yok denecek kadar az olması ve nükleer teknolojinin enerji üretimi dışında da fizik, tıp, ulaşım ve tarım gibi farklı birçok alanda kullanılmasıdır [78].

Nükleer enerjinin endişe duyulan zararı, çalışma esnasında çevreye vermiş olduğu radyasyon etkisinden kaynaklı değil de kaza halinde meydana gelen sızmalardan, nakil halinde oluşan risklerden ve atıkların depolanmasından kaynaklanırken; oluşan bu atıkların işlendikten sonra geri kalan kısmının aktivitesini yitirme süresince güvenli bir biçimde saklanmakta ve tüm radyoaktif atıklar cam içinde eritilerek, paslanmaz çelik borular içine sızdırmaz biçimde konulmakta, beton bloklar vasıtasıyla depremden etkilenmeyen aynı zamanda su ile temas etme olanağı olmayan tuz yataklarına gömülerek ortadan kaldırılmakta ve böylece nükleer atık problemi çözüme kavuşmuş olmaktadır. Nükleer kaynaklar %6,1'lik bir oranla dünya birincil enerji tüketiminde belli bir alanı kapsamaktadır. Tüm enerji kaynakları (doğal gaz kömür, petrol, alternatif enerji kaynakları, nükleer enerji) karşılaştırıldıklarında dünyada günlük yaklaşık olarak 205 milyon varil (28 milyon ton) enerji tüketilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ek olarak, nükleer güç ve hidrojen 2030 yılı ve sonrasında dünya enerji gereksiniminin gittikçe artan bir bölümünü oluşturacağı düşünülmektedir [3].

Nükleer enerji konusundaki küresel bakış açısı, var olan santrallerin güven arz ettikleri sürece çalışmaya devam etmesi, yeni nükleer santral kurulmasının desteklenmesi ve hali hazırda kullanılan nükleer teknolojilerin geliştirilmesi yönünden desteklenirken aynı zamanda nükleer santraller aracılığı ile elektrik/enerji üretimi dünyadaki temiz, verimli, kullanışlı yöntemler arasında gösterilmektedir [78]. 2030 yılına doğru nükleer enerjinin üretimdeki payı/oranı %8,2 olması beklenirken 2050 yılında %5, 2070 yılında ise %3,5'e kadar düşecektir [79].

1.10 Hidrojen Enerjisinin Potansiyeli

Enerji ekonomisi, enerjinin kaynaklar bakımından büyük bir oranla çeşitlenip endüstrinin ve toplumun her alanında geniş ölçüde bulunması ekonomi açısından önemli bir faaliyet olarak ortaya çıkmasıdır. 1973 yılında meydana gelen petrol krizinin

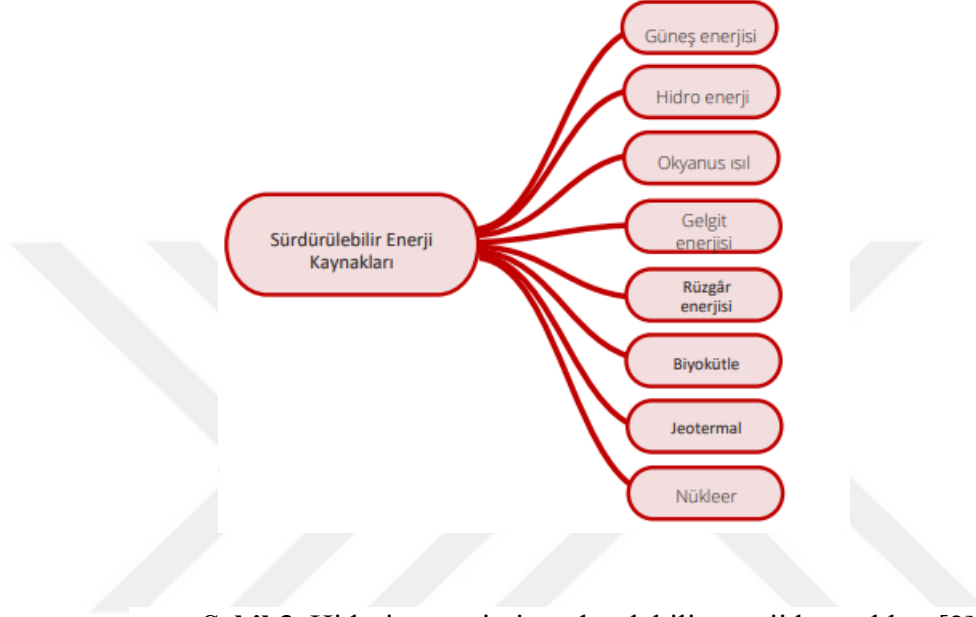
ardından enerji ekonomisi gitgide daha önemli bir konuma gelmiştir. Enerji ekonomisi, enerji kaynaklarının varlığı ile birlikte bu enerji kaynaklarının ekonomik açıdan faaliyet ilişkisini ele almaktadır. Enerji sektöründe yatırımların boyutları çok büyük olduğu için gelişmekte olan ülkeler enerji sistemlerini olması gereken konuma getirmekte oldukça zorluk çekmektedirler. Enerji kaynakları, birincisi jeolojik bakımdan hemen hemen rezervler kadar iyi bilinen fakat üretim teknolojileri olarak maliyetli yani ekonomik olmayan ve diğeri ise jeolojik açıdan az tanınan veya hiç tanınmayan kaynaklardır. Ancak bu kaynakların gerekli durumlarda üretim maliyetleri açısından tahminler yapılmaktadır. Ticari enerji olarak kömür, ham petrol, nükleer veya hidrolik olmak üzere dört birincil enerji kaynağı vardır. Ancak bazı durumlarda ihtiyaçlarımızı karşılayabilmek adına ikincil enerji formuna dönüştürülmeleri gerekmektedir (Ham petrolden benzin, fueloil, kömürden ve doğalgazdan elektrik) [3]. Gerek petrol krizi gerek sanayi devrimi ile başlayan süreçte yine nüfus artışının da etkisiyle enerji kaynaklarına karşı olan baskının artması aslında iklim değişikliğine ve buna insan eylemlerinin neden olduğu ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin çözümlenmesi ya da kontrol altına alınması için düşünülen çözüm yollarından biri devletlerin güvenlik konuları içinde yer alan enerji dönüşümü durumudur. Bu durum baz alındığında yenilenebilir enerjinin öne çıkması hem çevre, ekonomi ve güvenliği de içine kapsayan farklı birçok alanda olumsuz etkiler yaratan iklim değişikliği ile mücadele, hem de enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda dışa bağımlılığı azaltmak veya tamamen kurtulmak için önemli bir adımdır. Enerji dönüşümünde; rüzgâr, güneş, biyoenerji ve hidroelektrik en çok kullanılan enerji türleri olsa da son yıllarda hidrojen enerjisi de oldukça gündemde olan bir enerji türüdür. İklim değişikliği alanında önemli bir yere sahip olan Paris Anlaşmasını Türkiye 22 Nisan 2016 tarihinde imzalamıştır. Bununla birlikte 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi için enerji dönüşümü yol haritasını belirlemektedir. Yeşil hidrojen, Türkiye ‘nin enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek, enerji ithalatına bağımlı hali azaltmak ve yeni bir ihracat konumu oluşturmak için enerji dönüşümü içerisinde yer edinmiş önemli bir alternatiftir [80].

Karbondan arındırılmış bir enerji sisteminin vazgeçilmez ve temel yapıtaşı görevinde olması hidrojenin evrensel olarak kabul görme nedenidir. Ülkelerin belirli durumlarını baz alan ulusal stratejiler, 2050 yılı için hidrojen talebinin küresel düzeyde toplamının 9000 TWh’e varan bir potansiyeli beklediğini veya yılda yaklaşık olarak 270 milyon

ton hidrojeni işaret etmektedir. Almanya, karbon nötr hedefini benimsemektedir. Bu durumun en önemli nedeni ise hidrojenin gelecekteki enerji sisteminin en önemli unsurlarından biri olmasıdır. Avustralya gibi ülkeler 2050 yılına kadar küresel bir hidrojen ihracatçısı olmayı hedeflerken Japonya ve Güney Kore gibi bazı Asya ülkeleri ise hidrojen ve ekonomi konusunu odak noktası olarak belirleyip uzun vadeli hedeflerini hidrojen ekonomisi ve hidrojen teknolojilerinde gelişen stratejiler kurmak üzerine odaklanmışlardır. Dünyada ve ülkemizde hidrojen yönündeki gelişmeler arasında hidrojenli araçların teşvik edilmesi ve yaygınlaşması için hidrojen istasyonlarının yer aldığı otoyol ağının kurulması, hibrit yakıtlı araçların (dizel/hidrojen, benzin/hidrojen) otomotiv sektöründe yerinin ve payının artması aynı zamanda hidrojenin konutlarda ısınma amaçlı kullanımının yaygınlaşması ilk sıralarda yer almaktadır [4].

2. HİDROJEN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

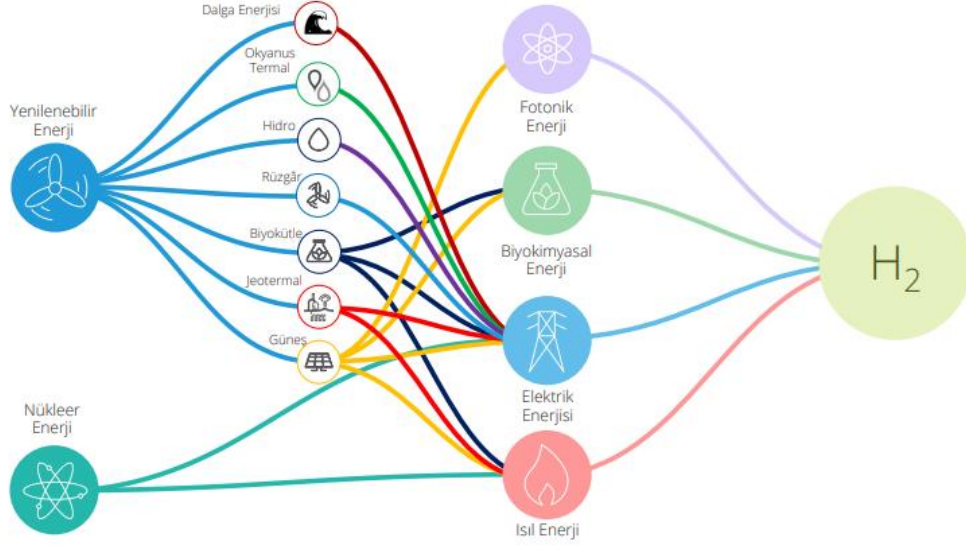
Hidrojen daha önce de bahsettiğimiz gibi doğal yakıt olmayıp yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla üretilmektedir. Bu üretim esnasında tüm enerji kaynakları kullanılabilir [2].



Şekil 3. Hidrojen üretimi sürdürülebilir enerji kaynakları [2]

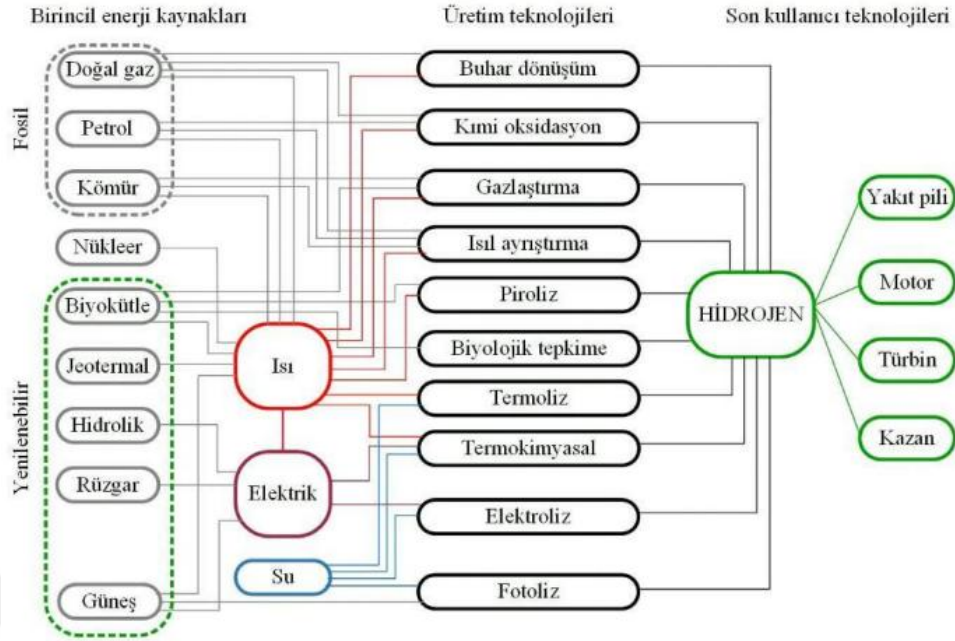
Su, fosil yakıtlar, biyokütle, hidrojen sülfür ve insan kaynaklı (antropojenik) atıklar hidrojen içeren doğal kaynaklardır. Antropojenik atıklar, insanların doğa üzerindeki etkileri sonucu oluşan kirliliktir. Bu atıklar, üre içeren belediye kanalizasyon suları, gübre gibi tarım atıkları, mahsul artıkları, çöp gazı üreten diğer atıklar, geri dönüştürülmüş plastik ve selülozik malzemeler hidrojenin çıkarılabileceği insan kaynaklı atıklardır [2]. Yakıt hidrojenin üretiminde en yaygın uygulama sudan yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmesidir [81]. Tüm bunların sonucunda hidrojen üretiminin temel amacı, sürdürülebilir, temiz, uygun fiyatlı ve güvenilir enerji sistemleri ile gerekli olan enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu faktörleri sağlayabilmek için hidrojenin fosil yakıtlar kullanılarak değil de temiz enerji kaynakları kullanılarak üretilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir bir hidrojen üretiminde gerekli olan araştırmanın öncelikli odak noktaları, üretim verimleri ve maliyetleri, genel sistem verimlilikleri ve güvenilirlikleri, herhangi bir olumsuz

çevresel etki gibi alanlardır. Karbon içermeyen enerji sistemlerinin gerçekleştirilmesi için hidrojen enerji sistemlerine ihtiyaç duyulduğu çok iyi bilinmektedir [2].



Şekil 4. Yeşil hidrojen yol haritası [2]

Hidrojenin üretiminde kimyasal, termokimyasal, elektroliz, termoliz, fotoliz ve biyolojik yöntemler olmak üzere çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Özellikle teknolojik ve ekonomik açıdan sürdürülebilir ve yenilenebilir olarak hidrojen üretiminde günümüzde fosil kaynaklar aktif olarak ön plandadır. Yaygın olarak kullanılmakta olan hidrojen üretim yöntemleri şekilde şematik olarak gösterilmektedir. Burada enerji kaynağı olarak fosil, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra ısı ve elektrik enerji dönüşümleri ve üretim teknolojileri bir arada ele alınmıştır.



Şekil 5. Enerji kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri, üretim yolları [66]

Hidrojen üretiminde kullanılan teknolojiler arasında buhar dönüşüm (Steam Reforming), kısmi oksidasyon, ısıl ayrıştırma (cracking), gazlaştırma, piroliz, termoliz, termo-elektrokimyasal, elektroliz, fotokimyasal, foto-elektrokimyasal, fotoliz gibi teknolojiler yer almaktadır [66].

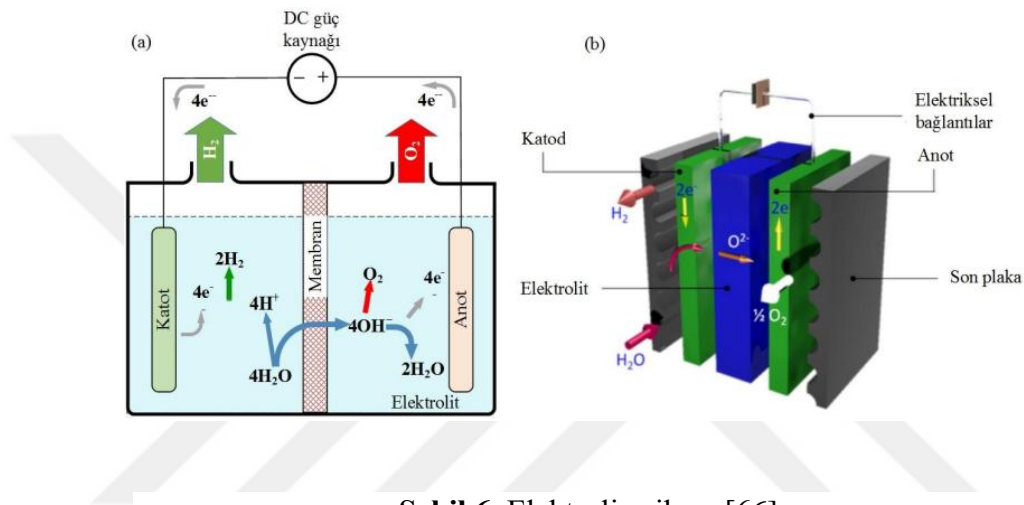
2.1 Elektroliz Yöntemi

Elektroliz, 1800 yılında W. Nicholson ve Carlisle tarafından açıklanmıştır. Bu açıklama ise suyun, elektrik enerjisi kullanılarak parçalanması olayıdır. O tarihten 1902 yılına kadar 400 endüstriyel ölçekte elektroliz cihazı üretilmiştir. İlk büyük ölçekli elektroliz ünitesi 1939 yılında 10000 Nm³/h hidrojen üretim kapasitesine sahip bir elektroliz ünitesiydi. Elektrik enerjisinin gerekli olduğu yöntem olan elektrokimyasal yöntemler ile de hidrojen üretilebilir. Elektrik enerjisinin çevreye zarar vermeyecek yöntem ve teknolojilerle üretilmesi yeşil hidrojenin elektrokimyasal olarak üretilebilir olmasını kolaylaştırmaktadır. 1789 yılında Jan Rudolph Deiman ve Adriaan Paets van Troostwijk tarafından ilk su elektroliz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı birçok elektroliz teknolojisi mevcuttur. Bu teknolojiler

Alkali, PEM, SOE ve Klor-alkali elektrolizlerdir. Alkali elektroliz teknolojisi %80 verimliliğe sahiptir ve en gelişmiş elektroliz yöntemi olmasının yanı sıra ticari olarak kullanılan en yaygın elektroliz yöntemlerinden biridir. Alkali ve PEM elektrolizleri 80 °C' sıcaklıkta çalışırken, SOE ise 700-1000 °C sıcaklıkta çalışan elektroliz yöntemleridir. Elektrolizörden hidrojen üretimini sağlanması için gerekli olan elektrik birçok kaynak sayesinde elde edilebilir. Bu kaynaklardan kısaca bahsetmek gerekirse; rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, gelgit enerjisi ve derinliği değişen okyanusların sıcaklık farkından ve diğer birçok enerji kaynağının kullanılması ile elektrik elde edilebilir ve bu enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elektrik üretilirken çevreye zararlı emisyon yayılmamasından dolayı temiz ve yeşil hidrojen üretilebilir [2].

Hidrojen üretim yöntemleri ile diğer sistemler birbirine entegre edilerek çoklu üretim sistemleri oluşturulabilir. Elektriğin üretiminin sağlanacağı farklı yöntem ile elektrolizör yönteminin bir arada kullanılmasıyla yine farklı kaynaklardan hidrojen eldesi sağlamak mümkün olabilir. Örneğin; rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin kullanılmasıyla hidrojen üretilebilir. Rüzgâr türbini çeşitlerinden olan yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri, rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Günümüz teknolojisinde en uygun maliyetli ve yenilenebilir enerji biçimlerinden biri olan rüzgâr enerjisinin ürettiği elektrik şebekeye verilebilir şekildedir. Kıyı ve kıyı altı alanlar gibi rüzgâr hızının yüksek olduğu bölgelerde rüzgâr hızının daha düşük olduğu diğer alanlara oranla rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ve buna bağlı olarak hidrojen eldesi daha fazladır. Rüzgâr enerjisi öncelikli olarak elektrik üretmek için ve sonrasında üretilen bu elektrik, hidrojen üretimi için kullanılmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, rüzgâr enerjisinden hidrojen üretiminde en büyük sorun ise, rüzgâr enerjisinin dalgalı bir yapıya sahip olmasıdır [2]. Oda sıcaklığında bulunan suyun, elektrokimyasal tepkime ile hidrojenine ve oksijenine ayrıştırılması işlemine **elektroliz** adı verilir. Elektroliz cihazı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bir anot ve bir katot olmak üzere iki elektrot, güç kaynağı ve elektrolitten oluşur. İki elektrot arasına uygulanan doğru akım sonucunda, anottaki su oksijen ve protonlarına (H^+ iyonlarına) ayrılır ve bu esnada ise elektronlar serbest kalır. Elektronlar güç kaynağının negatif ucundan katoda akarken, devre akımı ters yönde akar. Suyun elektrolizi sırasında, hidrojen iyonları katoda doğru hareket ederken hidroksil iyonları ise anoda doğru hareket eder.

Anotta hidroksit iyonları elektronları uzaklaştırarak bu elektronların DC kaynağının pozitif ucuna geri dönmesini sağlar. Hidrojen ve oksijen gazları sırasıyla katot ve anot tarafında ayrı ayrı toplanabilir. Ancak bu toplanmayı sağlamak için bir membran kullanılmalıdır. Suyun elektrolizi işleminde en yaygın kullanılan kimyasal potasyum hidroksittir. Bunun nedeni ise asit elektrolitlerin aşırı korozyonel bir etki göstermeleridir. Nikel hem ucuz olması hem de yüksek aktiviteye sahip olması nedeniyle tercih edilen bir elektrot malzemesidir [66].



Şekil 6. Elektroliz cihazı [66]

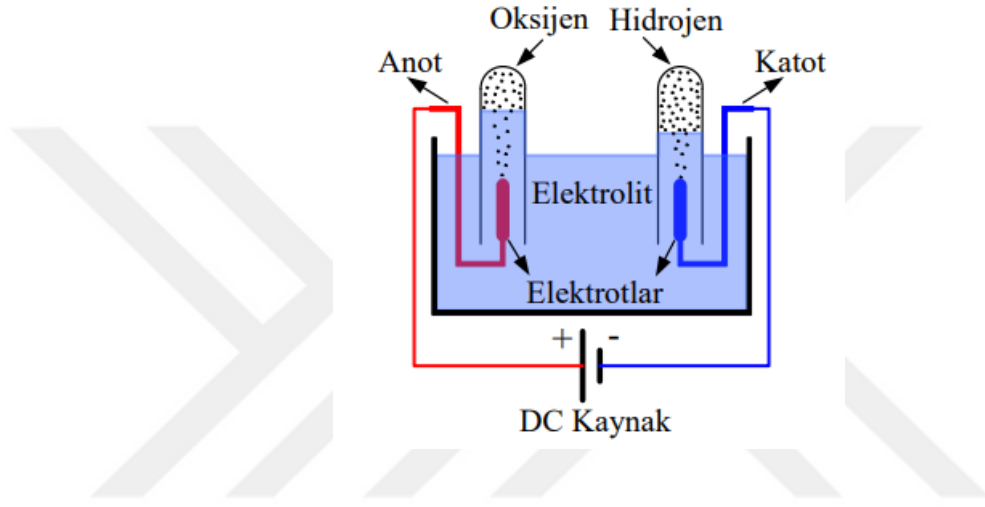
Suyun elektrolizi esnasında ihtiyaç duyulan toplam enerji sıcaklık ile doğru orantılı bir yol izlerken yani artarken, gerekli elektrik enerjisi azalmaktadır. Kompakt bir yapıya sahip olan elektroliz sistemi güvenilir, sorunsuz ve basınç altında en verimli hidrojen üretim yöntemidir [82], [83].

Elektroliz yöntemi ile hidrojen üretimi için genellikle dört yöntem kullanılmaktadır: [66]

- Alkali Elektroliz Yöntemi (AE)
- Proton Değişim Membran Elektroliz Yöntemi (PEME)
- Katı Oksit Elektroliz Yöntemi (SOE)
- Yüksek Sıcaklık Elektroliz Yöntemi (HTE) [66]

2.2 Alkali Elektroliz

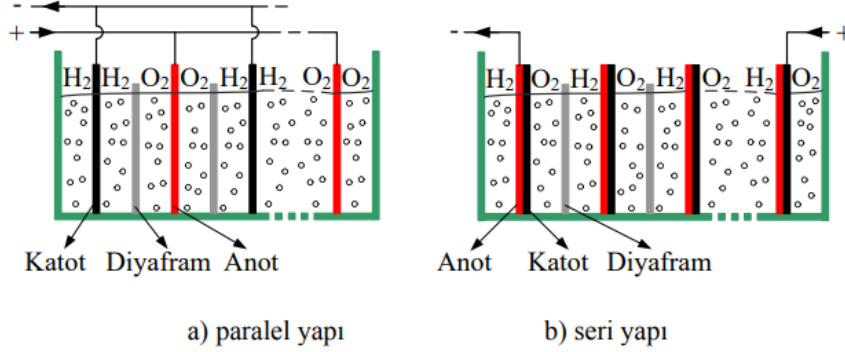
Alkali elektroliz sistemi, kapalı bir kap içerisinde bulunan sıvı elektrolit ve bu elektrolit içerisine yerleştirilmiş iletken elektrotlardan ve DC kaynaktan oluşmaktadır. Sıvı elektrolit, su ve suyun iletkenliğinin artırılması için kullanılan potasyum hidroksit (KOH), sodyum hidroksit (NaOH) veya sodyum klorür (NaCl) çözeltisidir. Alkali elektroliz sisteminin yapısı aşağıdaki gibidir [82]:



Şekil 7. Alkali elektroliz yapısı [82]

DC kaynağın elektrotlara bağlanması ile sıvı elektrolite doğru akım uygulanmaktadır. Doğru akımın, sıvı elektrolit içerisindeki ilerleyişi anottan katoda doğru olacaktır. Bu doğru akımın ilerleyişi sonucunda elektrolit içerisindeki su; katotta hidrojen, anotta ise oksijen gazı olmak üzere bileşenlerine ayrılmaktadır. Elektroliz yöntemleri içerisinde alkali elektroliz en eski ve en basit elektroliz yöntemidir. Ancak buna rağmen üretilen hidrojenin ve oksijenin birbirine karışması, sıvı elektrolitin korozyon etkisi ve elektrolitin çıkan gazla beraber sürüklenmesi nedeniyle bakım gerektirmesi gibi durumlardan dolayı önemli dezavantajları vardır [82]. Elektrolizörün ikinci kısmı elektrotların kendi aralarında bağlantılarına göre adlandırılır ve meydana gelir. Bahsedilen bu kısım elektrotların ve ayrıştırılan gazların tekrar bir araya gelmesini engellemek amacıyla kullanılan diyaframın belirli şekillerde (paralel veya seri/monopolar veya bipolar) dizilmesiyle elde edilen hücrelerdir.

Şekilde de görüldüğü üzere bu hücreler elektrotların kendi aralarındaki bağlantılarına göre farklı dizilim göstermektedir [82].

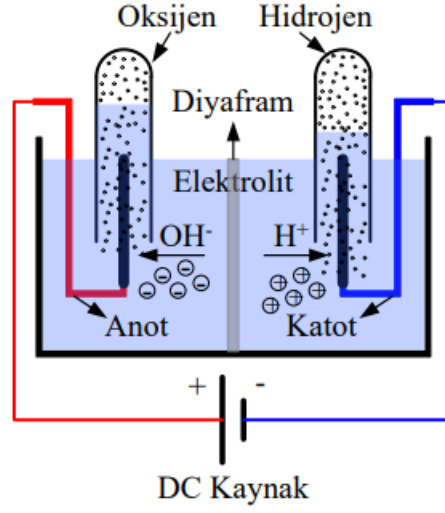


Şekil 8. Farklı elektrolizör yapıları [82]

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi paralel yapıda olan hücreyi oluşturan elektrotların biri pozitif, diğeri negatif iken seri yapıda olan elektrotun bir yüzeyi pozitif fakat diğeryüzeyi negatiftir. Bu iki farklı hücre bağlantılarının birbirlerine göre hem avantaj hem dezavantajları bulunmaktadır.

Ticari olarak üretilen elektrolizörlerin geneli seri yapı kullanılarak tasarlanmaktadır. Bunun temel nedeni ise seri yapının paralel yapıya göre daha kompakt ve veriminin daha yüksek olmasıdır [82].

Alkali elektrolizde bilindiği üzere elektrolite bir doğru akım uygulanmaktadır. Bu doğru akım elektrolit üzerinde kimyasal tepkimenin başlaması için zorlayıcı bir güç durumundadır. Elektrolite uygulanan doğru akım ile pozitif yüke sahip olan hidrojen iyonları (protonlar- H^+) katoda doğru yönelirken, negatif yüke sahip olan hidroksit iyonları (anyonlar- OH^-) anoda doğru yönelirler [81], [82].

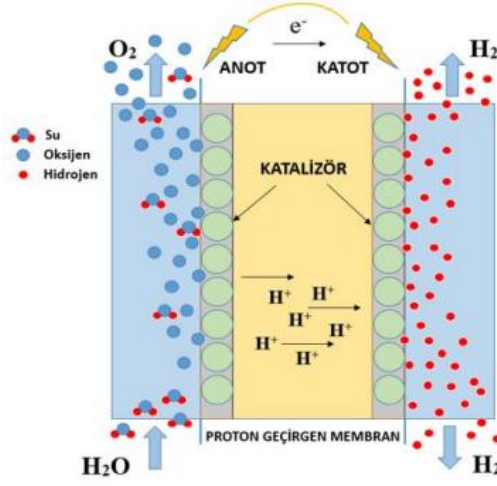


Şekil 9. Alkali elektrolizin çalışması [82]

Elektrolit içerisinde anot elektroduna doğru ilerleyen anyonlar, katotta açığa çıkan hidrojene karşı elektron verirler. Bu elektronlar pozitif terminalden DC kaynağa dönmektedirler. Anyonlar elektron verdikleri zaman ise anotta oksijen atomları oluşmaktadır [82].

2.3 Proton Değişim Membran Elektroliz Yöntemi (PEME)

Adını, katı elektrolit olarak kullanılan proton geçirgen membrandan alan PEM elektrolizde alkali elektrolizden farklı olarak sıvı elektrolit yerine katı elektrolit kullanılmaktadır. Aynı zamanda anot ve katot zehirlenmesini önlemek amacıyla deiyonize su kullanılmaktadır. Kullanılan proton geçirgen membran elektriksel olarak tamamen yalıtkan bir yapıya sahiptir ve sadece protonların geçmesine izin vermektedir. PEM elektrolizör şekilde görüldüğü gibi DC güç kaynağı, akım iletiminin sağlandığı elektrotlar ve membrandan oluşmaktadır [82]. PEM elektrolizde anottan alınan su hidrojen iyonlarına (protonlar- H^+) ve oksijen gazına parçalanmaktadır.

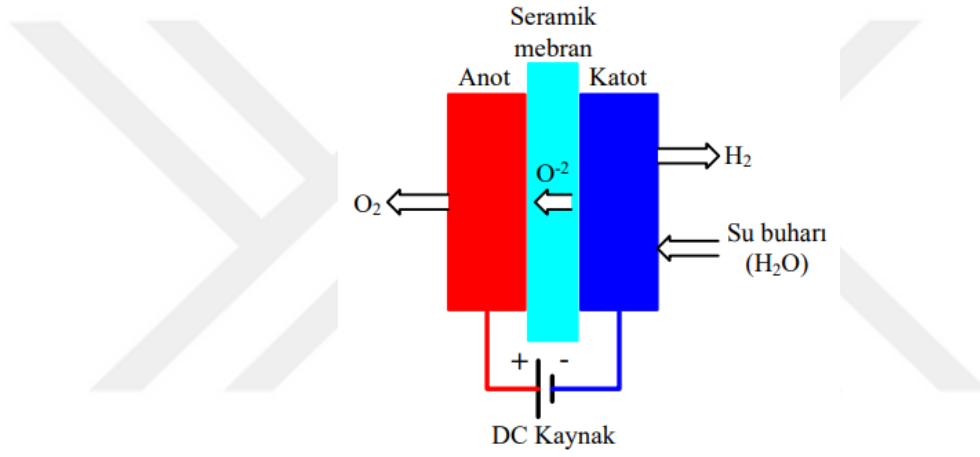


Şekil 10. PEM elektrolizör hücresinin çalışma prensibi [23]

Bu parçalanma sonucu açığa çıkan oksijen ve kullanılmayan su ise yine anot tarafından hücre dışına atılmaktadır. Uygulanan potansiyel nedeniyle oluşan elektriksel alan etkisi ile pozitif yüklü hidrojen iyonları membran üzerinden geçer. Bu iyonlar katot katalizöründen gelen elektronlarla birleşerek hidrojen gazını oluşturmaktadırlar [82]. Katı elektrolit kullanan PEM elektrolizörler, alkali elektrolizörlere göre daha güvenli ve kompakt bir yapıya sahiptirler. PEM elektroliz ile kompresör olmaksızın yüksek basınç ve akım yoğunluğunda çalışarak yüksek saflıkta ve verimle hidrojen üretilmektedir. Bu durumdan dolayı PEM elektrolizde herhangi bir saflaştırma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. PEM elektrolizörün kompresör olmadan yüksek basınçta çalışabilmesi aynı zamanda elektrik enerji üretimi değişken olan yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu durumlar PEM elektrolizin avantajları arasında yer alırken, yüksek fiyatlı oluşu, düşük çalışma kapasitesi ve deiyonize su kullanımı zorunluluğu dezavantajları arasındadır [82].

2.4 Katı Oksit Elektroliz

Yüksek sıcaklık ve elektrik enerjisini kullanarak su buharını hidrojen ve oksijene ayıran katı oksit elektroliz; yeni bir teknoloji olmamasına rağmen üç elektroliz yöntemi arasında en az gelişmiş olan yöntemdir. Katı oksit elektrolizin çalışma sıcaklığı 700-1000 °C aralığında olmasından dolayı hücre gerilimi 1,2V ile 1,3V aralığındadır. Buna göre tüketilen elektrik enerji miktarı alkali ve PEM elektrolize göre daha azdır. Dolayısıyla yüksek elektroliz verimi elde edilmekte ve bu durum, bu yöntemle olan ilgiyi arttırmaktadır. Bu yöntemde hücre gerilimi ve gerekli olan sıcaklık miktarı hesaba katıldığında %90'ın üzerinde verim elde edilmektedir [82].



Şekil 11. Katı oksit elektroliz [82]

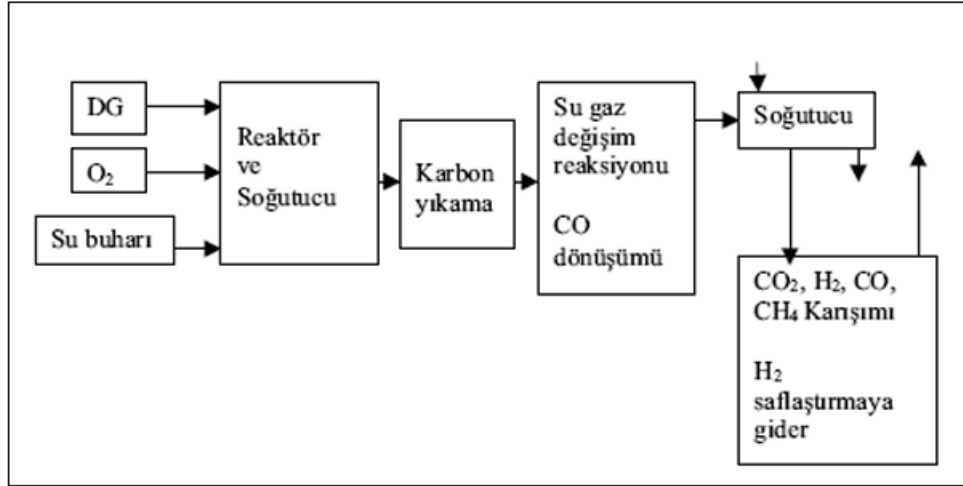
Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere su buharı hidrojenin ayrıştığı katoda uygulanmaktadır. Oksit iyonları (O^{2-}) katı elektrolit boyunca anoda doğru ilerlemekte ve anotta tekrardan oksijen molekülleri ile birleşmektedir. Bu yöntemde anahtar malzeme iyonik iletken olan seramik membrandır [130, 131], [82].

3. FOSİL YAKITLARDAN HİDROJEN ÜRETİMİ

Reformasyon, kısmi oksidasyon, piroliz ve gazlaştırma gibi öne çıkan üretim teknolojileri fosil yakıtlardan hidrojen elde edilmesi için kullanılan teknikler arasındadır [4].

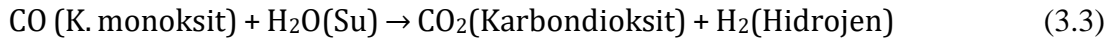
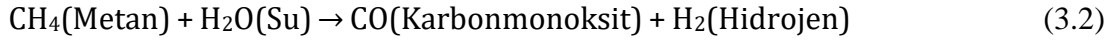
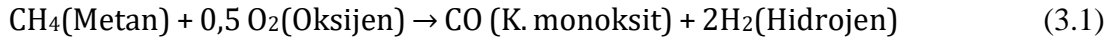
3.1 Kısmi Oksidasyon (Partial oxidation – POX) ile Ayrıştırma

Az oksijen kullanılarak hidrokarbonun hidrojene dönüşümü kısmi oksidasyon ile gerçekleştirilir. Isı kontrollü yanma ile sağlanır. Kısmi oksidasyon ile ayrıştırma için katalizör kullanımına gerek yoktur. Bu yöntem yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Kısmi oksidasyon hidrokarbonların 1300-1500 °C sıcaklık ve 3-8 MPa basınç aralıklarında maruz bırakıldığı gazlaştırma işlemidir. Kısmi oksidasyon yöntemi, metana bağlı (doğalgaz) ilave olarak etanol hatta benzin gibi ağır hidrokarbonlardan hidrojen üretilmesi temeline dayanmaktadır. Kısmi oksidasyon sonucunda CO, CO₂, H₂O, H₂, CH₄, H₂S (hydrogen sulfide) ve COS (carbon oxysulfide) içeren bir gaz karışımı meydana çıkmaktadır. Üretilen gazın bir kısmı endotermik proseslerde gerekli ısıyı sağlamak amacıyla yakılır ve işlem sıcaklığını 700-1000 °C' ye düşürmek için katalizör kullanılabilir [66].



Şekil 12. Kısmi oksidasyon süreci genel şeması [84]

Bu yöntem, sentez gazı üretimi, su-gaz kaydırma ve gaz saflaştırma olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir.



Reaksiyon, 1 mol CH₄ (Metan) molekülünün 0,5 saf O₂ (oksijen) atomu ile tepkimeye girmesi sonucunda 1 mol CO (Karbonmonoksit) ve 2 mol H₂ (Hidrojenin)'nin üretilmesi ile başlamaktadır. Birinci aşama olan sentez gaz üretim aşamasında, hidrokarbon besleme stoku kısmi olarak saf O₂ oksitlenmekte, CO buhar ile değişime girerek CO₂ ve H₂ üretimi gerçekleşmektedir. Ekzotermik bir reaksiyondur (dışsal). Hidrokarbon-buhar reaksiyonu olan ikinci aşama ise endotermiktir (içsel). Tepkime için gerekli olan ısı enerji yakıtın (metan, etanol vb.) yakılmasıyla elde edilmektedir. Çalışma sıcaklığı 1300-1500 °C olan reaksiyon sonucunda sentez gaz, su ile bastırılmakta ve oluşan cüruf dışarı atılmaktadır. Aynı zamanda hammadde de bulunan S (sülfür), H₂S'e (Hidrojen sülfür) dönüştürülmektedir. Son aşamada yani gaz saflaştırma işleminde ise H₂S bileşiğinden, S uzaklaştırılarak serbest kalan H₂ buhar reaksiyonundan gelen gaz ile su-gaz kaydırma ve saflaştırma işlemlerine tabii tutularak saf hidrojen elde edilmektedir [85].

Kısmi oksidasyon yöntemi ticari olarak fakat buharla dönüşüm yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır [84]. Bu yöntemi genel olarak ağır nafta, kömür veya rafineri artıkları gibi ağır hidrokarbonların işlenmesinde kullanılmaktadır. İşlem süresince genellikle hammadde doğalgazdan hafif hidrokarbonlara, ağır hidrokarbonlara ve katı hammaddelere gidildikçe proses zorlaşır ve bu durum sermaye maliyetini arttırır [86]. Kısmi oksidasyon hızlı bir prosestir ve işletmeye alınması daha hızlıdır. Sahip olduğu bu özellikten dolayı yakıt pillerinin daha hızlı bir şekilde devreye alınmasını sağlar. [84] Belli bir miktarda CO₂ ve CH₄ üretilir. Kısmi oksidasyon prosesinde kükürt giderme işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Geniş bir çalışma aralığına sahip olduğundan %95-99 saflıkta O₂ kullanılır [87].

Kısmi oksidasyon tesislerinin ayrıca gerektirdiği sistemler vardır. Bu sistemler, oksijen elde etmek için hava ayırıştırıcı, büyük su-gaz değiştirici, CO₂ giderici araçlar ve kükürt gibi katı maddedeki safsızlıklara bağlı olarak gaz temizleme sistemleridir [86].

3.2 Buhar Reforming

Gaz veya sıvı olan akışkan bir yakıt (alkol, doğal gaz, petrol) sentez gazına dönüştürüldüğü zaman bu, proses reformu olarak adlandırılır. Birincil kaynak olarak bir fosil yakıt kullanıldığında ise, tüm süreci yeşil hale getirmek için karbon tutulması uygulaması yapılabilir [2]. Hidrojen üretiminde en ucuz, en verimli ve endüstride en yaygın üretim şekli olan buhar reformunun amacı hidrokarbonlar ile buharın bir katalizör eşliğinde 750-1000 °C reaksiyona sokularak hidrojen ve karbon oksitlerin üretilmesidir. Gerçekleşen tepkime endotermik bir tepkime olduğu için dışarıdan ısı verilmesi gerekmektedir [88].

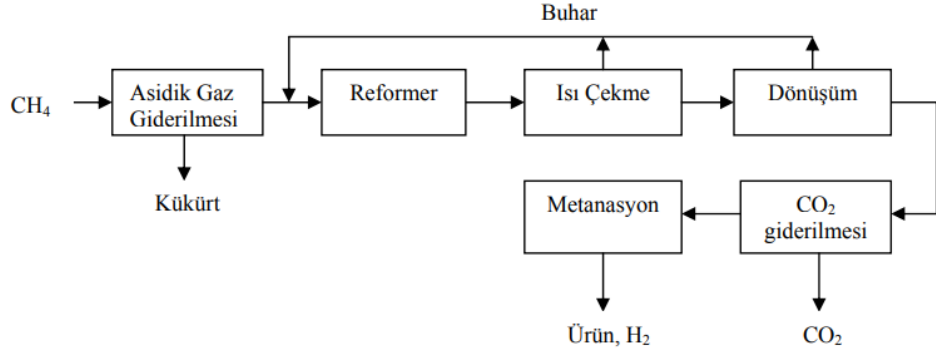
Buhar reforming, karbon oluşturmaksızın tamamen buharlaşabilen bir prosestir [89]. Buhar reformasyonu %75'lik bir verime sahipken geriye kalan kısım ise ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Buhar reformasyonunda meydana gelen tepkimeler aşağıdaki gibidir ve bu tepkimeler iki adımda gerçekleşir [90].



3.3 Doğalgaz (Metan) Buhar Reforming

Bu proses çok fazla uygulanan ve su buharıyla endotermik olarak gerçekleştirilen bir reforming prosesidir. Endotermik olan bu reaksiyona dışardan ısı verilmesi gerektiği için oldukça komplekslidir. Dünyadaki hidrojen üretiminin %50'si doğalgazdan buhar reforming ile sağlanır. Metanın ağırlık olarak %25'i hidrojen içermektedir. Reaksiyon 3-25 bar basıncındaki katalizörlü reaktördeki metana 700-1000 °C aralığındaki buharın verilmesiyle gerçekleşir [88]. Reformasyon sonucu oluşan sıcak gazlar soğutulur ve çıkan ısı proseste bulunan suyu buharlaştırmak için kullanılır.

CO ile su buharının tepkimeye girmesi sonucunda ek olarak CO₂ ve H₂ oluşmakta ve üretilen hidrojenin yarısının sudan yarısının da hidrokarbondan oluşması asıl önemli noktadır.



Şekil 13. Metanın buhar reformingi ile hidrojen üretimi [89]

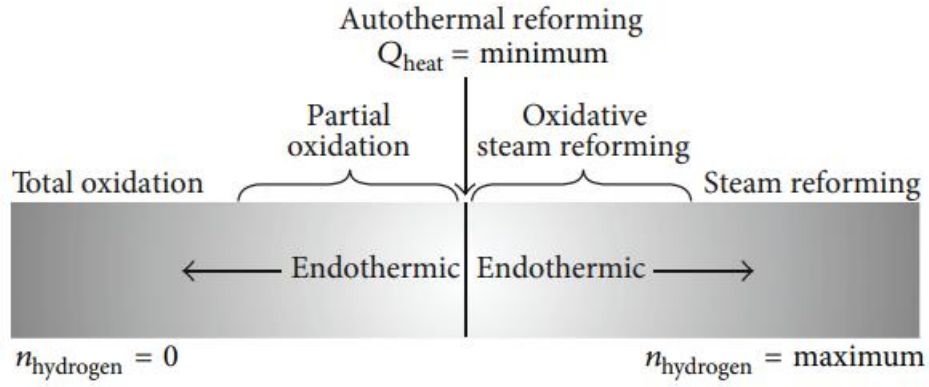
Buhar reformingi 4 ana procesten oluşur:

- Gazın kükürdünün giderilmesi,
- Sentez gazının üretimi (H_2 / CO),
- CO 'nin CO_2 'e dönüşümü,
- Gazın saflaştırılması [89]

Yukarıda da belirtildiği gibi proses öncelikle içerisinde bulunan kükürt ve diğer safsızlıklardan arındırılır ki bu safsızlıklar diğer reaktörlerdeki katalizörlere zarar vermesin ve zehirlemesin. Yapılan bu işlem prosesin verimini ve ömrünü uzatmaktadır [91].

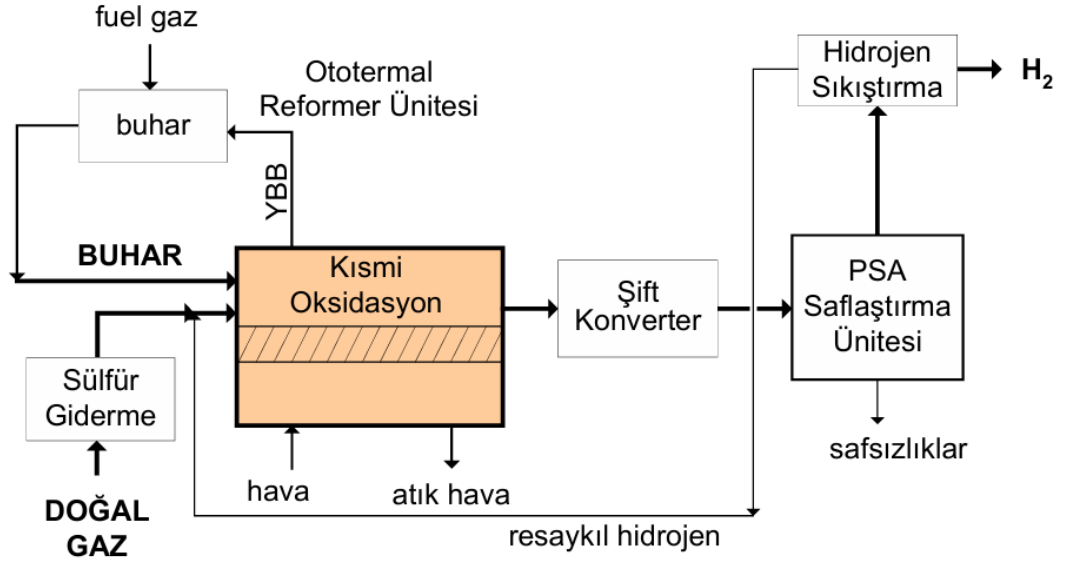
3.4 Oto-termal Reforming

Oto-termal reforming, kısmi oksidasyon ve buhar reformingin birleştirilmiş bir şekilde uygulandığı procestir [88]. Burada ekzotermik tepkime sonucu oluşan ısı buhar dönüşüm prosesinde gerekli olan ısı için kullanılır ve bu dönüşüm ise oto-termal ya da termal nötr olarak adlandırılmaktadır [66]. Oto-termal, endotermik buhar reformingi ile ekzotermik kısmi oksidasyon reaksiyonlarının arasındaki ısı alışverişini gerçekleştiren işlem anlamına gelmektedir. [88]. Isının reaktör ile karşılanması metan buhar reformasyonu prosesine göre daha az ısı akışı ile sağlanmaktadır.



Şekil 14. SR (Buhar Dönüşüm), POX (Kısmi Oksidasyon) ve ATR (Oto-termal dönüşüm [92])

Yukarıdaki şekilde hidrojen üretim teknolojilerinde ekzotermik ve endotermik çalışma aralığı gösterilmiştir. Buradaki temel amaç ise düşük karbon monoksit ve yüksek hidrojen içeriğinin sağlanmış olmasıdır. Buhar dönüşüm işleminin gerçekleşmesi ile maksimum hidrojen etkinliği ve düşük karbon monoksit içeriği sağlanmış olur. Fakat buhar dönüştürme işlemi endotermik olduğu için bu süreçte dışarıdan enerji alınması gereklidir. ATR işlemi hızlı bir şekilde durdurulabilir ya da başlatılabilir. Süreç iyi bir şekilde yönetilebilirse SR'den daha fazla hidrojen üretimi elde edilebilir [66], [92]. Aşağıdaki şekilde oto-termal dönüşüm akış şeması verilmiştir [88].



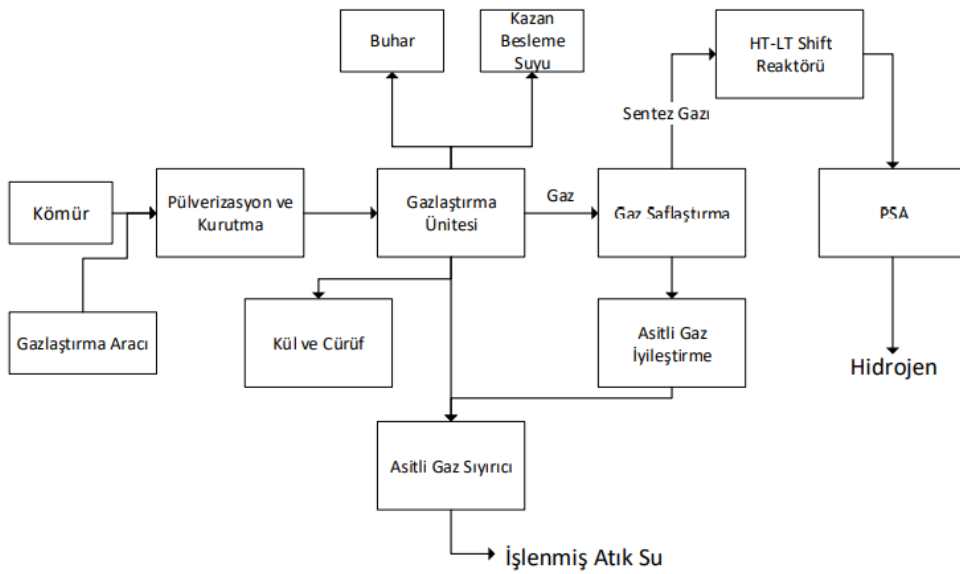
Şekil 15. Oto-termal dönüşüm akım şeması [88]

Oto-termal dönüşümün sorunsuz bir şekilde çalışması için hem oksijen-yakıt oranının hem de buhar-karbon oranının sürekli olarak doğru bir şekilde kontrol edilmesi gerekir. [86] Oto-termal dönüşümde, yanma işlemi (~2200 K) ve dönüşüm işlemi ise (1200-1400 K) bölgelerinde gerçekleşmektedir [93].

3.5 Gazlaştırma

Katı, karbon içeren hammaddelerin (petrol, kömür, biyokütle) kontrolü sağlanarak oksijen ve sıcaklık faktörlerinin yardımıyla hidrojen ve karbon monoksitten (CO) meydana gelen gaz dönüşümüdür. Meydana gelen bu gaza ise sentez gazı adı verilir [91]. Gazlaştırma yöntemi, hidrokarbonların kullanılmasıyla hidrojen üretiminde en etkili yöntemlerdendir. Bu işlemten sonra meydana gelen sentez gazının içeriğinde metan, hidrojen, karbon monoksit, karbondioksit ve azot bulunmaktadır. Gazlaştırma, kömür veya kömür atığının oksijen, hava, su buharı, hidrojen veya tüm bu faktörlerin bir arada bulunduğu karışımla tepkimeye girmesi temeline dayanmaktadır [91]. Gazlaştırma, sadece karbondioksit (CO₂) ve su üretimi olan yanma işlemlerinin tersi

olarak, oksijenin sınırlı olduğu bir ortamda meydana gelen kısmi bir oksidasyon sürecidir diyebiliriz [2]. Hidrojen içeriğini zenginleştirmek için, gelişmiş reaktörler kullanılarak su, CO₂ yer değiştirme tepkimeleri gerçekleştirilir. Gazlaştırma oluşmuş CO₂, NO_x, SO₂ emisyonları, metandan hidrojen üretme sürecinde oluşan emisyonlardan oldukça fazladır. Özellikle oluşan CO emisyonlarının neredeyse bütünü CO₂' e dönüştüğü için CO₂ emisyonu oldukça fazla bulunmaktadır. Son olarak saf hidrojen elde edilmesi için meydana gelen sentez gazı arındırılma işlemine tabii tutulmaktadır [84].



Şekil 16. Kömürün gazlaştırılması işleminin akım şeması [91]

Bir diğer gazlaştırma işlemi olan biyokütle ile gazlaştırma, yüksek kükürt ve kül içeriğine sahip kömür kullanılması yerine düşük kükürt ve kül içeriğine sahip olan (bitki, hayvan, tarımsal atıkları, gübre, odun vb.) biyokütlesel maddelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir [85]. Biyokütle kullanılarak yapılan gazlaştırma da ise yine kömürde olduğu gibi yüksek basınç ve sıcaklıkta belli bir miktar oksijenin biyokütle ile karıştırılarak bir sentez gazı meydana gelir. Bu sentez gazı CO, CO₂, CH₄' den oluşmaktadır [84]. Sentez gazından hidrojen elde etmek için ve CO'ü CO₂' e çevirmek için WGS işlemi uygulanır [66].

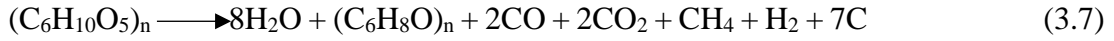
Sentez gazının arıtma işlemlerinden sonra reformasyon ile hidrojen üretilmiş olur. Biyokütle ile gazlaştırma işleminin hammaddesi yenilenebilir ve ucuz bir hammadde olduğu için bu işlem düşük maliyetli bir işlemdir [84].

Katalizörlü ve katalizörsüz gazlaştırma işlemlerinde farklı çalışmalar ortaya çıkarmak için sabit yataklı ve akışkan yataklı reaktörler kullanılmıştır. Bu iki tip reaktör arasında ise, sabit yataklı reaktörlere oranla akışkan yataklı reaktörlerin kaydedilen performansı daha yüksektir [94]. Biyokütlenin nem içeriği %35'in altındadır ve buhardan hidrojen elde etmek için birincil enerji kaynağı olarak kullanılabilir [2]. Ancak biyokütlenin sahip olduğu nemi uzaklaştırmak gazlaştırma işleminin ısı verimini düşürmektedir. Katalizör ya da akışkan yataklı reaktörler kullanılması verimi arttırabilir [66]. Biyokütlenin nem oranı olması gerekenden çok yüksekse gazlaştırma veya süper kritik buhar gazlaştırma gibi bir işlem uygulanmadan önce biyokütlenin kurutulması lazımdır. Süper kritik buhar gazlaştırma işlemi, süper kritik basınç ve sıcaklıkta buhar kullanılarak nem içeriğinden bağımsız bir şekilde biyokütlenin hidrojene dönüştürülmesini sağlayan bir süreçtir [2]. Oluşan bu kuru biyokütleden yüksek değerlerde hidrojen çıkarmak için kızgın buhar (900 °C) kullanılmaktadır. Fazla miktarda biyokütleyi işleyebilmek amacıyla gazlaştırma tesisleri genellikle çok büyük ölçekte inşa edilmektedir [66].

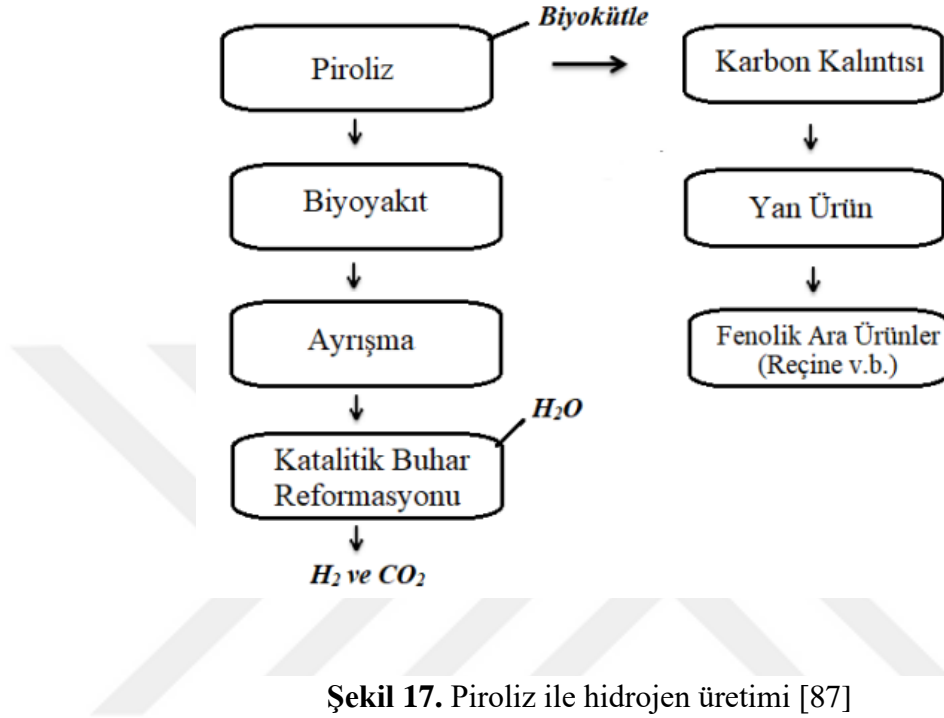
3.6 Piroliz (Pyrolysis)

Piroliz, biyokütle gibi ham organik maddelerin havasız, oksijensiz ve kapalı bir ortamda 500-900 °C sıcaklık ve 0.1-0.5 MPa basınçta ısıtılarak gazlaştırılması işlemine tabi tutulması ile gerçekleştirilir [66], [95]. Piroliz işleminde su ve hava kullanılmadığı için CO ve CO₂ oluşmamaktadır. Bu nedenle WGS ya da PrOx reaktörlerine gerek yoktur [66]. Oksijensiz ortamda ve 500-900 °C' ye kadar ısıtma yapılan piroliz işlemi sonucunda gaz bileşenleri, uçucu yoğunlaşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül gibi ürünler açığa çıkmaktadır. [93]. Bu işlem sonucunda katı, gaz ve sıvı formunda ürünler elde edilir [8].

Piroliz sıcaklığı, partikül boyutu, ısıtma hızı, tepkime süresi, piroliz ortamı, reaktör tipi, basınç, katalizör gibi farklı birçok değişken piroliz işleminin kontrol edilmesini sağlamaktadır [95]. Piroliz sürecinin kimyasal denklemi;



şeklindedir.



Şekil 17. Piroliz ile hidrojen üretimi [87]

Piroliz prosesleri üç sıcaklık aralığına göre tanımlanmaktadır. Bu aralıklar, düşük piroliz (<500⁰C), orta piroliz (500-800⁰C), yüksek piroliz (>800⁰C) şeklindedir [2].

Yavaş piroliz sonucunda yüksek miktarda kömür meydana gelirken hızlı pirolizde yüksek sıcaklıkta gaz, düşük sıcaklıkta ise katran meydana gelmektedir. Yavaş pirolizde kullanılan ana madde yüksek miktarda kömür olduğu için bu yöntem tercih edilmemektedir [96]. Piroliz işlemi ile kuru biyokütleden %70-80 aralığında verime sahip biyoyakıt elde edilir [97].

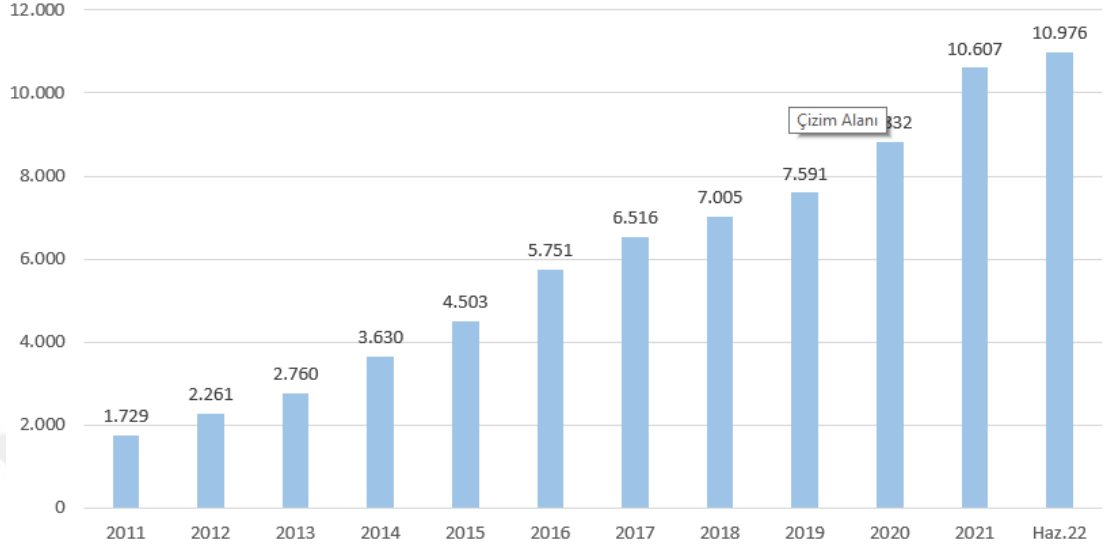
Hızlı piroliz yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu nedenle yüksek pirolizde daha fazla hidrojen üretimi olmaktadır. Hızlı piroliz sonucunda ise katı, sıvı ve gaz olmak üzere tüm fazlarda ürünler olabilir [96].

Tablo 2. Piroliz süreçleri, oluşan ürünler ve tepkime koşulları [96]

Piroliz Türü	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Kalma Süresi	Isıtma Hızı ($^{\circ}\text{C/s}$)	Ana Ürün
Yavaş	55-950	Uzun (5-30 dk)	Düşük (10)	Gazlar, char, biyo-yağ
Hızlı	850-1250	Kısa (0.5-2s)	Yüksek (100)	Biyo-yağ, gazlar, char
Orta	1050-1300	Çok Kısa (<0.5s)	Çok Yüksek (>500)	Gazlar, biyo- yağ

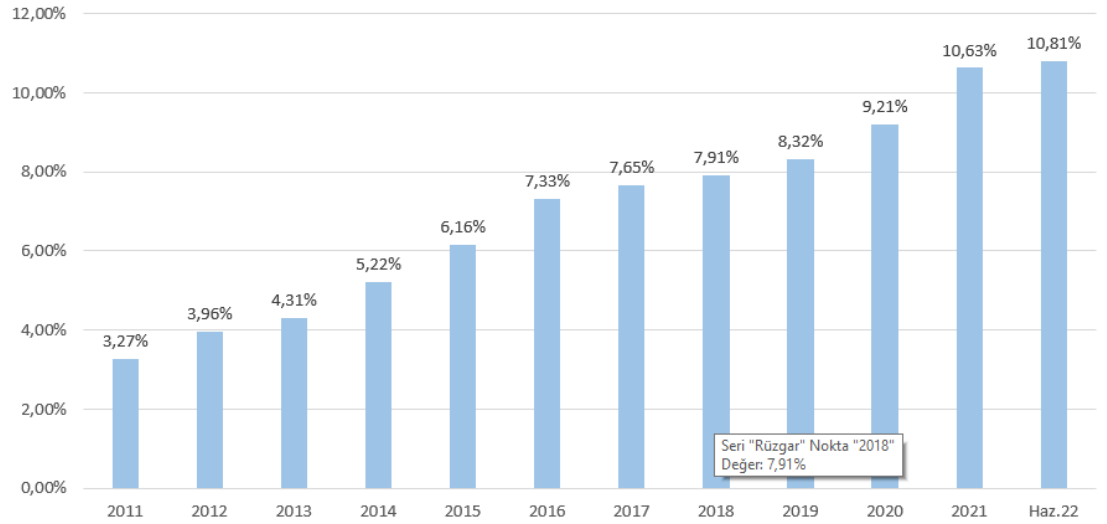
Hızlı piroliz işlemi genelde yüksek enerji içeriğine sahip organik materyallerin dönüşümünde kullanılan pirolizdir [2]. Biyokütlenin ayrışmasından önce hızlı bir şekilde en yüksek sıcaklığa çıkarılmasına hızlı piroliz denir. Hızlı piroliz işleminde biyokütle sırasıyla buhar, kömür ve katrana dönüştürülmektedir. Karbonmonoksit ve hidrojen gibi gaz formundaki ürünler ise yoğunlaştırılmayan ürünlerdir. Proses sonucunda hem kömür oluşumunu hem de sıvı verimini arttırmak için flaş piroliz önerilmektedir. Ek olarak bu yöntem yüksek sıcaklıkta uzun süreli reaksiyon göstermesi nedeniyle hidrojen üretimini de arttırmaktadır [96]. Piroliz sürecinin sıcaklık, ısınma hızı, alıkonma zamanı, katalizör tipi gibi kontrol değişkenleri önem taşımaktadır [8]. Son yıllarda plastik, kolza tohumu, katran yağı, tarımsal ürün atıkları gibi malzemeler kullanılarak pirolizle hidrojen üretimi yapılmaktadır [8].

RÜZGAR ENERJİSİNE DAYALI KURULU GÜÇ (MW)



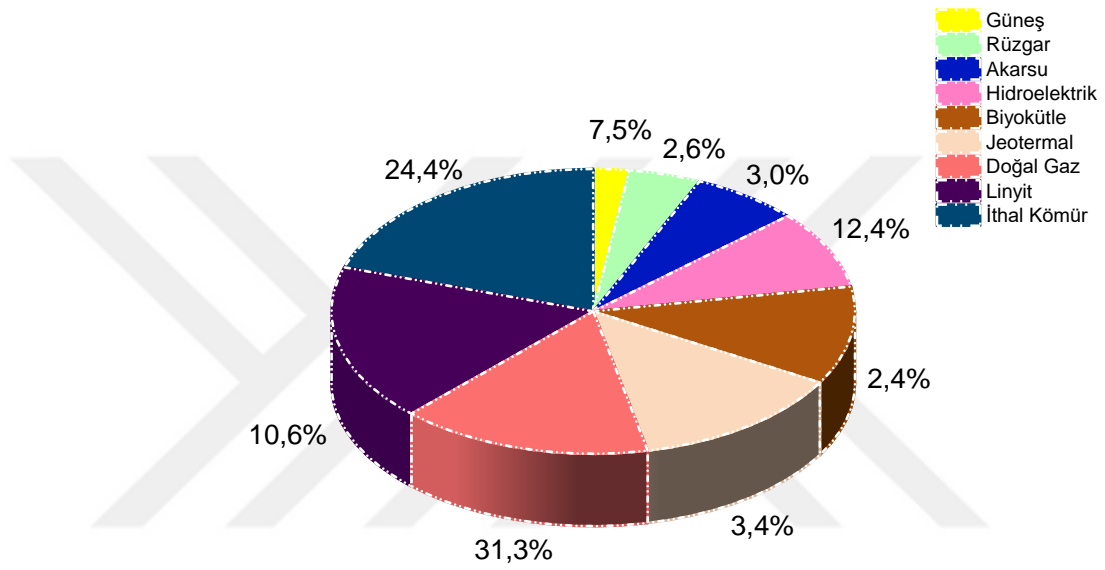
Şekil 19. Türkiye Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [98]

TOPLAM KURULU GÜÇ İÇERİSİNDEKİ ORANI



Şekil 20. Türkiye Rüzgar Enerjisine Dayalı Toplam Kurulu Güç
İçerisindeki Oranı [98]

2023 yılında elektrik üretimimizin, %36,3'ü kömürden, %21,4'ü doğal gazdan, %19,6'sı hidrolik enerjiden, %10,4'ü rüzgardan, %5,7'si güneşten, %3,4'ü jeotermal enerjiden ve %3,2'si diğer kaynaklardan elde edilirken 2024 yılı Aralık ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 115.9375 MW'a ulaşarak kaynaklara göre dağılımı ise; %27,8'i hidrolik enerji, %21,3'ü doğal gaz, %18,9'u kömür, %11,1'i rüzgâr, %17,1'i güneş, %1,5'i jeotermal ve %2,3'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir [100].



Şekil 21. 2025 Ocak ayı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı [100]

Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısında artış görülmektedir. Bu artışa göre 2024 yılı aralık ayı sonu itibarıyla elektrik üretim santral sayısı lisanssız santrallerde dahil olmak üzere 33.573'e yükselmiştir. Bu santrallerin 765 adedi hidroelektrik, 69 adedi kömür, 374 adedi rüzgâr, 66 adedi jeotermal, 337 adedi doğal gaz, 31.491 adedi güneş santrali iken geriye kalan 471 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir [101].

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Bölgeye Ait Bazı Bilgiler ve Rüzgar Bilgileri

Osmaniye, Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz Bölgesinin ve Çukurova'nın doğusunda yer alırken güneyinde Hatay, batısında Adana, doğusunda Gaziantep ve kuzeyinde ise Kahramanmaraş illeri ile komşudur. 35 52' - 36 42' doğu meridyenleri (boylamları) ve 36 57' - 37 45' kuzey paralelleri (enlemleri) arasında yer alan Osmaniye'nin yüz ölçümü 3.279,9 km² dir [102], [103]. Çalışmada 2015 yılı Ocak ve Aralık ayları arasında bölgede kurulu olan meteorolojik istasyondan alınan rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgar hızı ölçümleri 80 metre yükseklikte ve 10'ar dakikalık aralıklarla rüzgar anemometresi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, ölçülen rüzgar hızları ile günlük ve aylık olmak üzere iki ayrı güç hesabı yapılmıştır.

5.2 Rüzgar Enerjisi Hesaplamaları

Rüzgar enerjisini kaynak olarak herhangi bir sahada uygulanabilirliğini analiz etmek için rüzgar gücünün hesaplanması oldukça önemli bir faktördür ve genellikle rüzgar gücünü hesaplamak için iki yöntem vardır. Rüzgar gücü hesaplamasının ilk ve en doğru yöntemi meteoroloji istasyonunda ölçülen değerler ile yapılmaktadır. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir ve rüzgâra dik bir A alanından geçen rüzgardaki güç şu şekilde verilir: [104], [105]

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho V^3 C_p A \quad (5.8)$$

P, rüzgardan elde edilen güç (watt), ρ hava yoğunluğu (kg/m³), A rotorun süpürme alanı (m²), V rüzgârın hızı (m/s), Cp betz limiti, güç katsayısıdır [11], [106].

Rüzgar gücü hesabının temeli kinetik enerji formülüne dayanmaktadır [107].

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (5.9)$$

Standart hava yoğunluğu 1 atmosfer basınç altında ve 15 °C sıcaklığında, kuru havada $\rho = 1,225$ kg/m³ olarak alınmaktadır [108]. Betz teoremine göre Cp güç katsayısı en fazla 0,5926 değerinde bir verime sahip olacağını söyler. Yani rüzgardaki kinetik enerjinin %59'u mekanik enerjiye çevrilir [104], [109]. Bu çalışmada Cp değeri tüm sistem ve literatür göz önünde bulundurularak 0,40 olarak alınmıştır [110].

ρ hava yoğunluğu değeri 1,225, V rüzgar hızı değerleri ise Hasanbeyli bölgesine kurulan meteorolojik istasyondan rüzgâr anemometresi ile 80 metre yükseklikte yapılan ölçümler sonucu alınmıştır [108].

5.3 Kullanılan Rüzgar Türbinleri

Çalışmada üç farklı rüzgar türbini kullanılmıştır. Aşağıda bu rüzgar türbinlerine ait bilgiler verilmiştir [111], [112], [113].

Tablo 3. Kullanılan rüzgar türbinleri ve özellikleri [111], [112], [113]

Türbin Modelleri	Anma Gücü	Kesme Rüzgar Hızı	Kesinti Rüzgar Hızı	Çap	Taranan Alan
Nordex N117/3600	3,6 MW	3 m/s	25 m/s	116,8 m	10715 m ²
Nordex N149/4.X	4.0/4.X MW	3 m/s	26 m/ s' ye kadar	149,1 m	17460 m ²
Nordex N163/6.X	6.0/6.X MW	4 m/s	20 m/s	163 m	20867 m ²

Yukarıdaki tabloda çalışmada kullanılan rüzgar türbinlerine ait teknik veriler verilmiştir. Seçilen bölgenin rüzgar potansiyeline göre 3,6 MW, 4-4,5 MW ve 6 MW olmak üzere üç farklı güçte ve özellikte rüzgar türbini seçilmiştir. Rüzgar türbinleri gelişmiş bir Alman firması olan Nordex' e aittir. Nordex N117/3600 Delta grubunda yer alırken, Nordex N149/4.X ve Nordex N163/6.X Delta4000 grubunda yer almaktadır [114].

5.4 Kullanılan Elektrolizörler

Bu çalışmada rüzgar enerjisinden hidrojen üretmek için yüksek enerji verimliliğine sahip olan PEM elektrolizörler kullanılmıştır. PEM elektrolizörler ticari olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Aşağıda elektroliz çeşitleri ve karakteristik özellikleri verilmiştir [115].

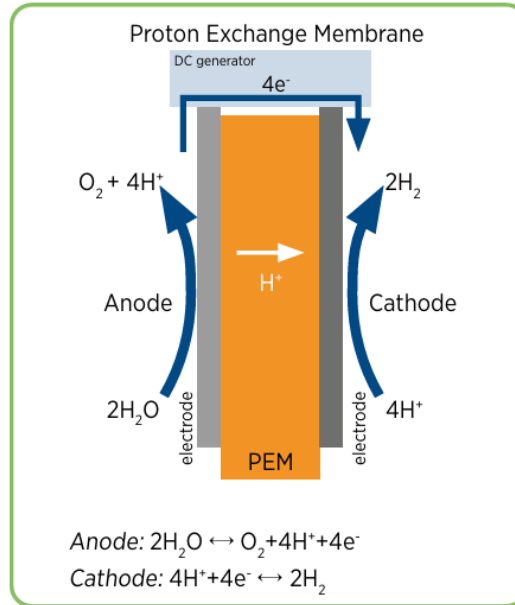
Tablo 4. Elektroliz çeşitleri ve karakteristik özellikleri [115]

	Alkalin	PEM	AEM	Solid Oxid
Çalışma Sıcaklığı	70-90 °C	50-80 °C	40-60 °C	700-850 °C
Çalışma Basıncı	1-30 Bar	< 70 Bar	< 35 Bar	1 Bar
Elektrolit(Ayırıcı)	KOH 5-7 mol/L (Potasyum hidroksit)	PFSA membran	1 mol/L KOH veya NaHCO ₃ ile DVB polimer desteği	İtiryumla stabilize edilmiş zirkonya
Ayırıcı/Membran	PPS ağ ile stabilize edilmiş ZrO ₂	Katı elektrolit	Katı elektrolit	Katı elektrolit
Elektrot/Katalizör (Oksijen Tarafı)	Nikel kaplı delikli paslanmaz çelik	İridyum oksit	Yüksek yüzey alanlı Nikel veya NiFeCo alaşımları	Perovskit tipi (örn. LSCF, LSM)
Elektrot/Katalizör (Hidrojen Tarafı)	Nikel kaplı delikli paslanmaz çelik	Karbon siyahı üzerindeki platin nanopartikülleri	Yüksek yüzey alanlı nikel	Ni/YSZ
Gözenekli Taşıma Katmanı (Anaot)	Nikel örgü (her zaman mevcut değildir)	Platin kaplı sinterlenmiş gözenekli titanyum	Nikel köpük	Kaba Nikel-örgü veya köpük
Gözenekli Taşıma Katmanı (Katot)	Nikel örgü	Sinterlenmiş gözenekli titanyum veya karbon kumaş	Nikel köpük veya karbon kumaş	Hiçbiri

Bipolar Plaka(Anot)	Nikel kaplamalı paslanmaz çelik	Platin kaplamalı titanyum	Nikel kaplamalı paslanmaz çelik	Hiçbiri
Bipolar Plaka (Katot)	Nikel kaplamalı paslanmaz çelik	Altın kaplamalı titanyum	Nikel kaplamalı paslanmaz çelik	Nikel kaplamalı paslanmaz çelik
Sızdırmazlık	PSU, PTFE, EPDM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, Silikon	Seramik cam

PEM tipi elektrolizörün temel yapısı suyun elektrokimyasal ayrışması sonucu oksijenin oluştuğu anot, hidrojenin oluştuğu katot katalizör, DC güç kaynağı, sadece protonların geçmesine izin veren polimer membran (Nafion, Fumapem, Flemion, Aciplex vb.) ve elektrik iletimini gerçekleştiren bir elektrottan oluşmaktadır. [11] En önemli ve öne çıkan avantajları hızlı tepkime ve dinamik bir yapısı olmasıdır. Yakıt temini gibi durumlar için uzun süreli çalışması adına daha yüksek basınçlarda üretilebilir. Bunun yanısıra Platin ve İridyum gibi maliyeti yüksek katalizörlerle çalışıyor olması ise önemli bir dezavantajdır [116].

PEM elektrolizörün çalışma prensibi ve bazı avantajları aşağıda verilmiştir [115].



Şekil 22. PEM elektrolizör çalışma prensibi [115]

Avantajları:

1. Yüksek akım yoğunluklarında çalışması
2. Kompakt sistem tasarımı
3. Hızlı tepki ve yüksek gaz saflığı
4. Daha yüksek enerji verimliliği (%80-90)
5. Ticari teknoloji
6. Yüksek ve dinamik çalışma - hızlı yanıt alma [117], [118]

PEM elektrolizörler ticari olarak oldukça yaygın kullanıma sahiptirler. Aşağıda bazı PEM elektrolizör markaları ve özellikleri verilmiştir [119], [120].

Tablo 5. Piyasada bulunan bazı elektrolizör markaları ve özellikleri [119], [120]

Üretim	Ülke	Model Adı	Hidrojen(H ₂) Kapasitesi (Nm ³ /h)	Basınç (Bar)	Enerji Tüketimi (kWh/Nm ³)
Nel.	Norveç	M500	5000	30	4.5
Siemens	Almanya	Silyzer 300	100-2000	35	N/A
ITM Power	UK	HGASXMW	110-1900	20	N/A
Cummins	Kanada	HyLYZER-4.000-30	4000	30	4.3
Plug Power	ABD	GenFuel 5 MW	1000	40	5.2
Elogen	Fransa	ELYTE 260	260	30	4.9

Bu çalışmada kullanılmak üzere yukarıda özellikleri verilen elektrolizörlerden üç tanesi seçilmiş ve işleme sokulmuştur. Seçilen elektrolizörlerin özellikleri aşağıdaki gibidir [121], [122], [123].

Elektrolizör 1:

Tablo 6. Siemens Silyzer 300 özellikleri [121]

Elektrolizör Modeli	Sistemde İhtiyaç Duyulan Enerji	Sistem Verimliliği	Tesis Verimliliği	Hidrojen Saflığı (H ₂)
Siemens Silyzer 300	39.45 kWh/kg	>76%	>75.5%	%99.999

Elektrolizör 2:

Tablo 7. Plug Power Plug EX-2125 özellikleri [122]

Elektrolizör Modeli	Sistemde İhtiyaç Duyulan Enerji	Hidrojen Saflığı (H ₂)
Plug Power/Plug EX-2125D	49.9 kWh/kg	%99.999

Elektrolizör 3:

Tablo 8. Cummins HyLYZER 500-30 özellikleri [123]

Elektrolizör Modeli	Sistemde İhtiyaç Duyulan Enerji	Hidrojen Saflığı (H ₂)
Cummins HyLYZER 500-30	54 kWh/kg	%99.999

Aşağıda bazı elektrolizör üreticileri, ülkeleri ve elektrolizör tipleri verilmiştir [115].

Tablo 9. Piyasadaki bazı elektrolizör üreticileri, ülkeleri ve elektrolizör tipleri [115]

FİRMA	ÜLKE	ELEKTROLİZÖR TİPİ
AREVAH₂	FRANSA-ALMANYA	PEM
CARBOTECH	ALMANYA	PEM
CUMMINS-HYDROGENİCS	BELÇİKA-KANADA-ALMANYA	PEM VE ALKALİN
DENORA	İTALYA-JAPONYA-ABD	PEM VE ALKALİN
GİNER ELX	ABD	PEM
HİTACHİ ZOSEN	JAPONYA	PEM VE ALKALİN
HONDA	JAPONYA	PEM
İGAS	ALMANYA	PEM
ITM	UK	PEM
KOBELCO	JAPONYA	PEM VE ALKALİN
NEL Hydrogen	DANİMARKA-NORVEÇ-ABD	PEM VE ALKALİN
PLUG POWER	ABD	PEM
SİEMENS ENERGY	ALMANYA	PEM
TELEDYNE	ABD	PEM

Elektrolizör ile hidrojen enerjisi üretmek için elektrolizör cihazının verimi ve sistemin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı önemli bir parametredir. Rüzgar hızı değerleri ile teorik olarak üretilen elektriğin tekrardan elektrolizör ile sudan hidrojen üretiminde kullanılması sonucu elde edilen hidrojenin ve bu aşamanın hesaplanması aşağıdaki gibidir: [124]

$$Yıllık \text{ üretilen hidrojen miktarı (kg)} = \frac{Yıllık / Aylık Enerji Üretimi (kWh)}{\text{Elektrolizör Sisteminde İhtiyaç Duyulan Enerji (kWh/kg)}} \quad (5.10)$$

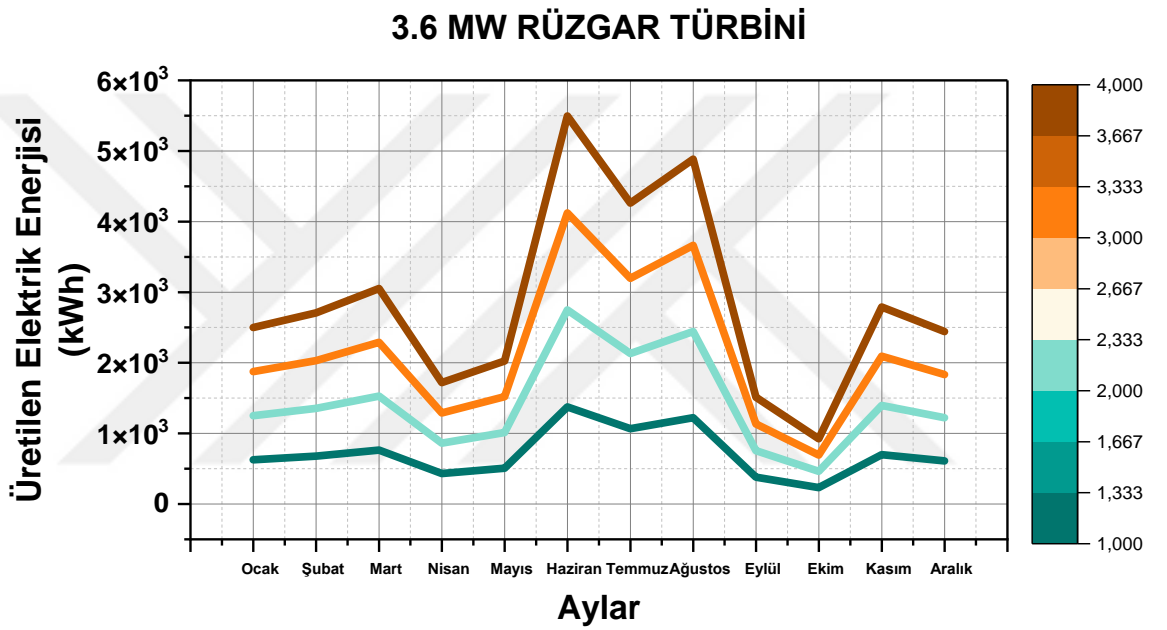


6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Aylara Göre Üretilen Elektrik Enerjisi

Tablo 3'te özellikleri verilen rüzgar türbinlerinin her biri 1 yıl boyunca her ay 4, 8,12 ve 16 saat çalışması durumunda üretilen elektrik enerjisi miktarı aşağıda verilmiştir.

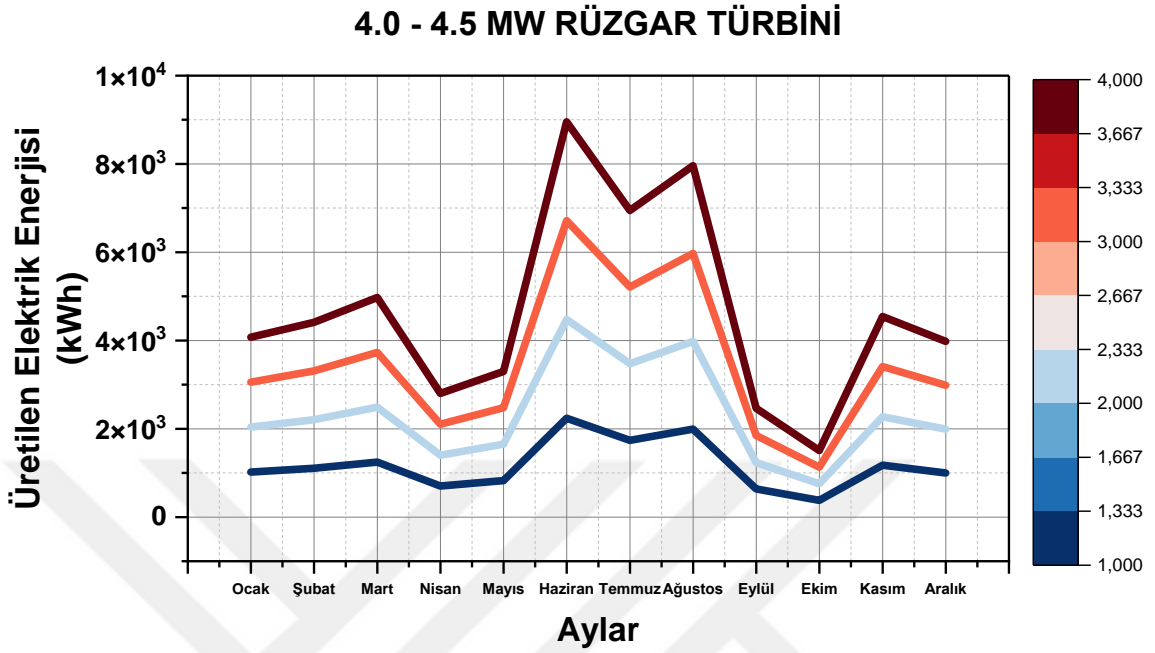
Nordex N117/3600 3.6 MW Rüzgar Türbini



Şekil 23. Nordex N117/3600 Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)

Verilen grafikte seçilen rüzgar türbininin her ay 4, 8, 12 ve 16 saat boyunca çalışması durumunda elde edilen elektrik enerjisi görüldüğü gibidir. Elde edilen maksimum elektrik enerjisi miktarı Haziran ayında gerçekleşirken, Ekim ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı en düşük seviyededir. Bunun başlıca sebebi Haziran ayının rüzgar esme hızı diğer aylara oranla oldukça yüksek olmasıdır. Çalışma saati arttıkça üretilen elektrik enerjisinde artış görülmektedir.

Nordex N149/4.X 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbini

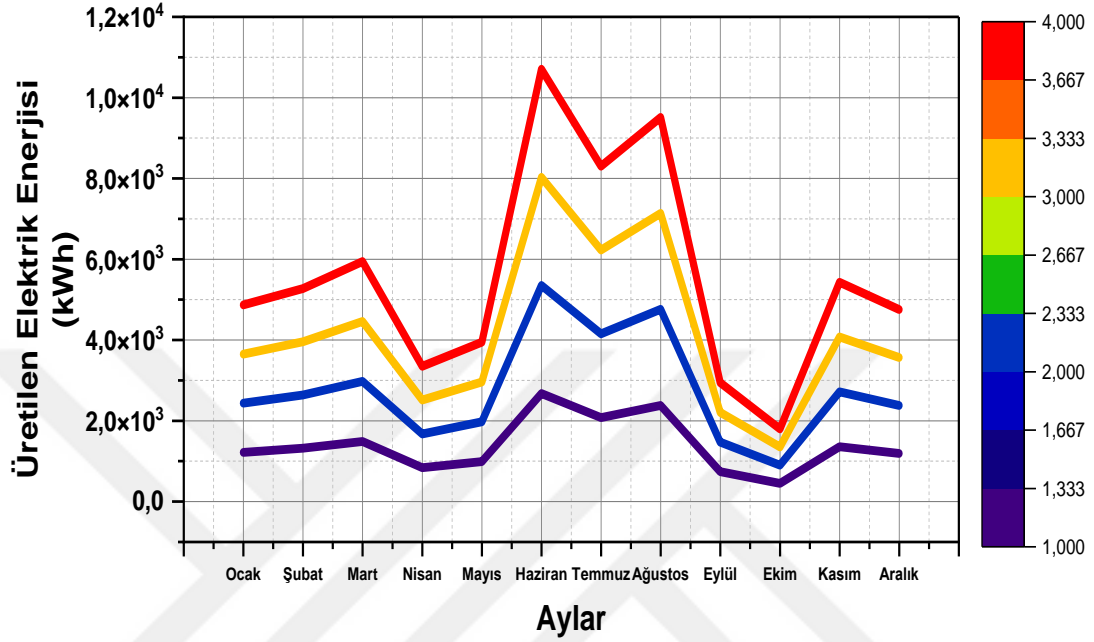


Şekil 24. Nordex N149/4.X Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)

Grafiğe göre rüzgar türbininin sırasıyla 4, 8, 12, 16 saat çalışması sonucunda yine en yüksek elektrik enerjisi Haziran, ardından ise Ağustos ayında elde edilmiştir. Hem bu aylarda rüzgar hızının yüksek olması hemde türbinin çalışma saatinin artması ile elde edilen elektrik enerjisi artmıştır. Çalışma saati artmış olsada Ekim ayında rüzgar hızının düşük olması sebebi ile elde edilen elektrik enerjisi en düşük seviyededir.

Nordex N163/6.X 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbini

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ

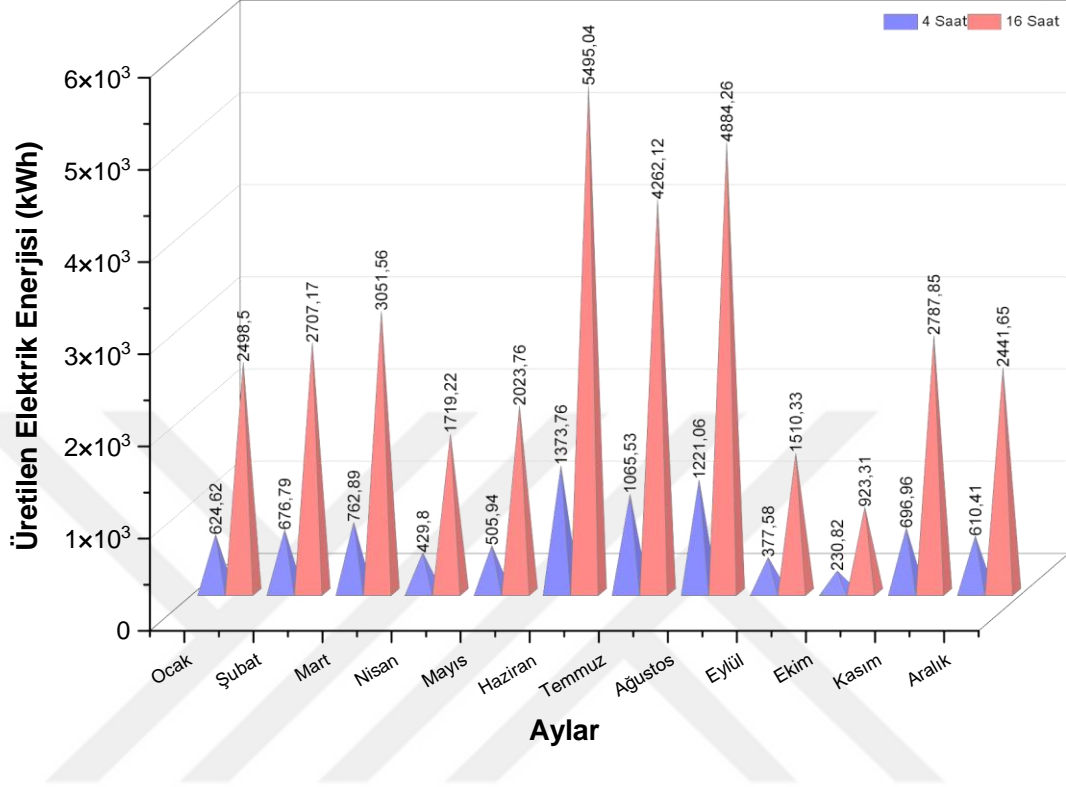


Şekil 25. Nordex N163/6.X Rüzgar Türbininin 4, 8, 12, 16 Saat Çalışması Sonucunda Elde Edilen Elektrik Enerjisi (kWh)

Artan rüzgar türbini gücü ile birlikte Ocak ayından Mayıs ayına kadar kısmen artış ve belli aralıklarda durağan seyreden elektrik enerjisi Haziran ayında 4121 kWh ile maksimum seviyeye ulaşmıştır. Ekim ayı 692 kWh elektrik enerjisi ile en düşük elektrik enerjisine sahip olurken, Temmuz ayında düşüş görülse de tekrar Ağustos ayında ikinci en yüksek elektrik enerjisi üretilmiştir.

6.2 Türbinlerin Minimum ve Maksimum Saatlerde Ürettiği Elektrik Enerjisi

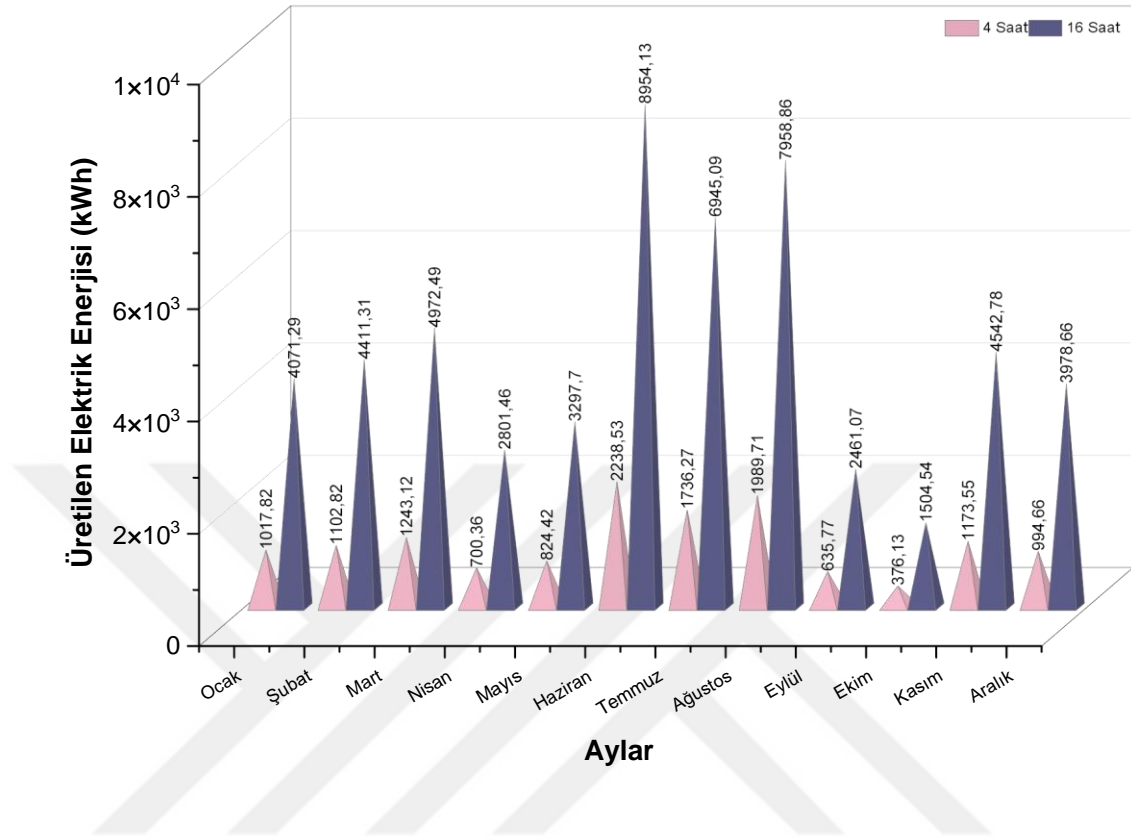
3.6 MW Rüzgar Türbini



Şekil 26. Nordex N117/3600 Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)

3.6 MW rüzgar türbininin aylık olarak 4 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. En az elektrik enerjisi üretimi rüzgar hızının en düşük olduğu ve türbinin 4 saat çalışması sonucu Ekim ayında gerçekleşmiştir. Ekim ayının ardından Eylül ve Nisan ayları en düşük üretimin olduğu aylardır. Türbinin 16 saat çalışması sonucu en yüksek elektrik enerjisi miktarı üretilmiş olup, Haziran ayında, 5495 kWh'tir. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ise rüzgar hızının en yüksek olduğu aylar olması sebebiyle elektrik enerjisi üretiminin en fazla olduğu aylardır. Türbinin 4 saat çalışması sonucu üretilen en yüksek elektrik enerjisi ise yine Haziran ayında gerçekleşmiş olup 1373 kWh'tir.

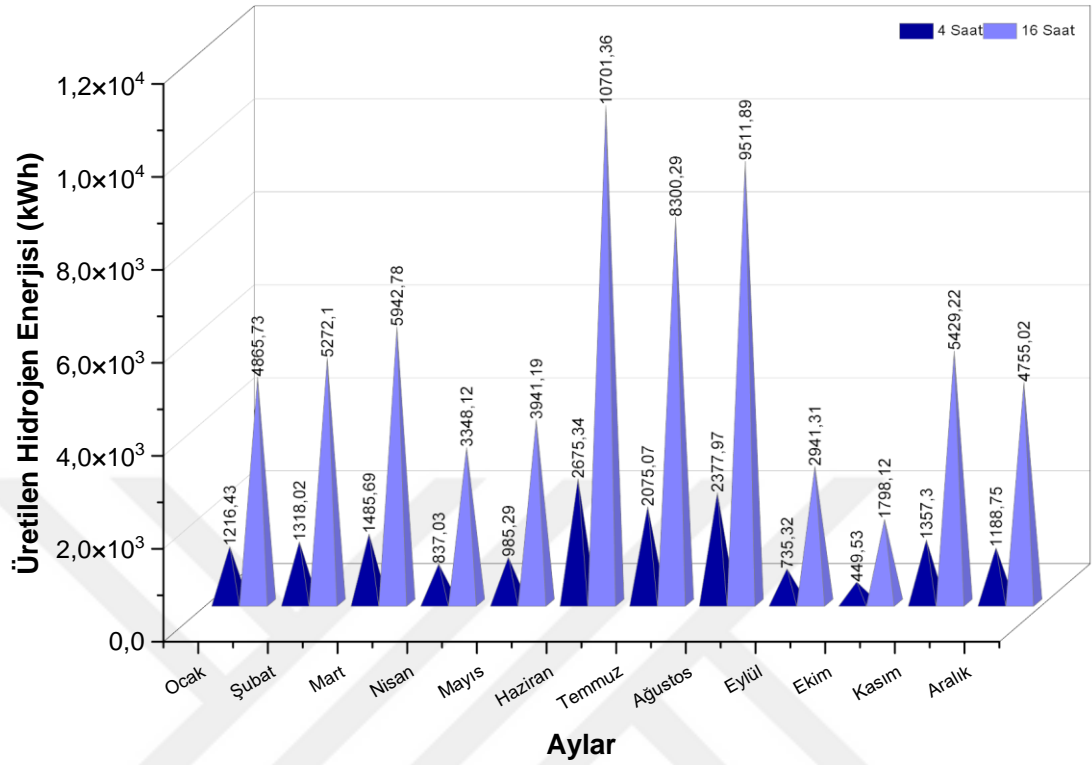
4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbini



Şekil 27. Nordex149/4.X Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)

4.0 – 4.5 MW rüzgar türbininin aylık olarak 4 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Türbin gücünün artması ile rüzgar hızının yüksek olduğu aylar olan Haziran, Eylül ve Ağustos aylarında en az çalışma saati olarak 4 saat çalışması sonucu yüksek seviyede elektrik üretilmesini sağlamıştır. Türbin 4 saat çalışarak en düşük üretimi Ekim ayında 635 kWh, 16 saat çalışarak en fazla üretimi Haziran ayında 8954 kWh olarak yapmıştır. En düşük üretim sıralamasında Ekim ayını Eylül, Nisan ve Mayıs ayları takip etmektedir. Minimum çalışma saatinde bu aylarda üretim oldukça düşmektedir.

6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbini



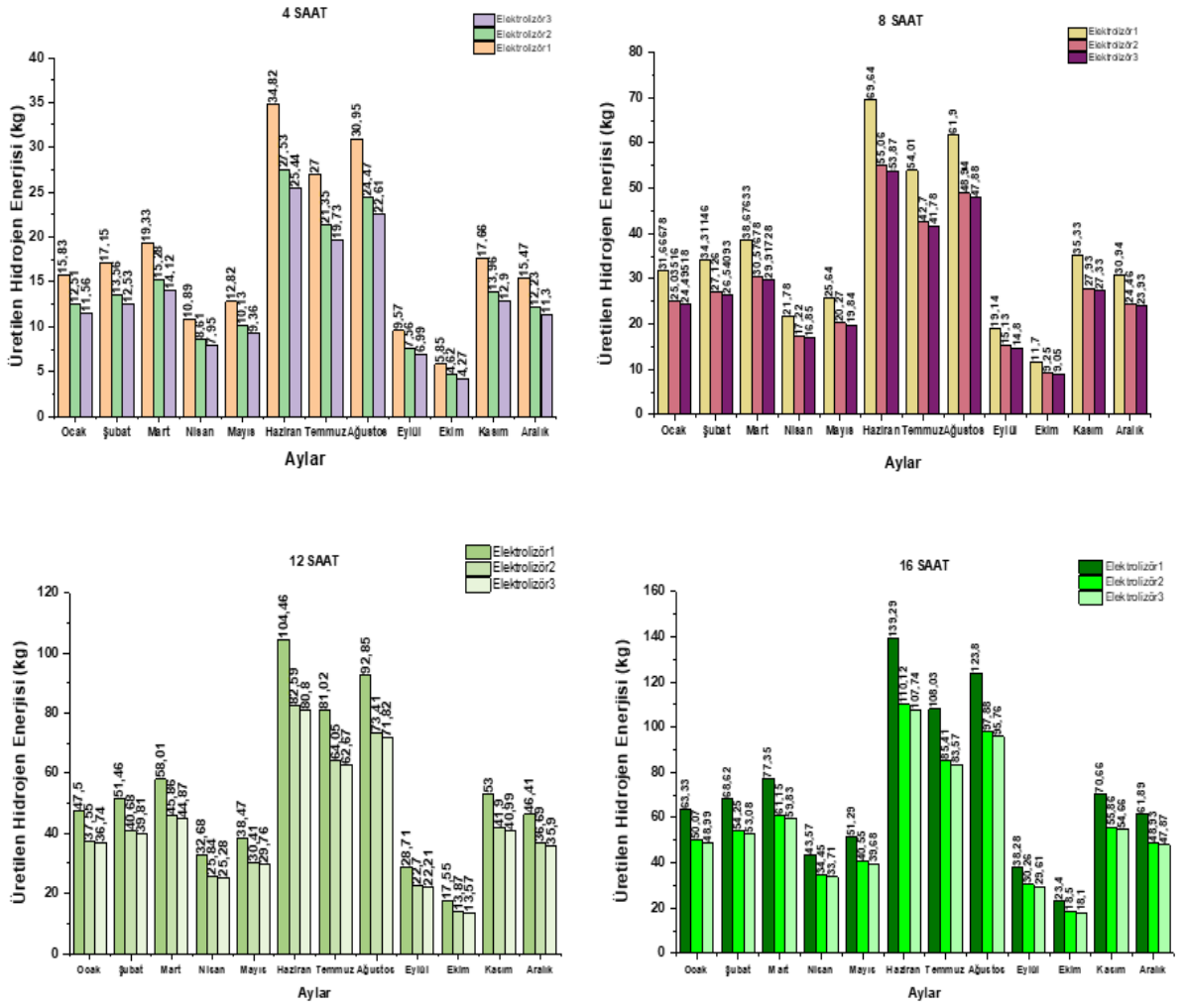
Şekil 28. Nordex N163/6.X Rüzgar Türbininin Aylık 4 ve 16 Saat Çalışması Sonucu Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbininin aylık olarak 4 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Rüzgar türbini gücünün artması ile üretilen elektrik enerjisi miktarı da artmıştır. Rüzgar hızının en düşük olduğu ve bu nedenle üretilen elektrik enerjisinin en düşük olduğu ay olan Ekim ayında üretimin diğer türbinlere oranla arttığı, 16 saat çalışma sonucu Ekim ayında üretimin 1798 kWh'e çıktığı görülmektedir. Rüzgar hızının yakın olduğu Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında türbinin hem 4 saat hemde 16 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi miktarları yakın değerlerdedir. En yüksek rüzgar hızına sahip olan Haziran ayında 4 saat çalışma sonucu 2675 kWh, 16 saat çalışma sonucu ise 10701 kWh elektrik üretilmiştir.

6.3 Aylık Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi

3.6 MW Rüzgar Türbininin Aylık Hidrojen Üretimi

3.6 MW'lık güce sahip olan rüzgar türbininin aylık 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu seçilen 3 farklı elektrolizör ile teorik olarak elde edilen hidrojen enerjisi miktarı aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibidir.

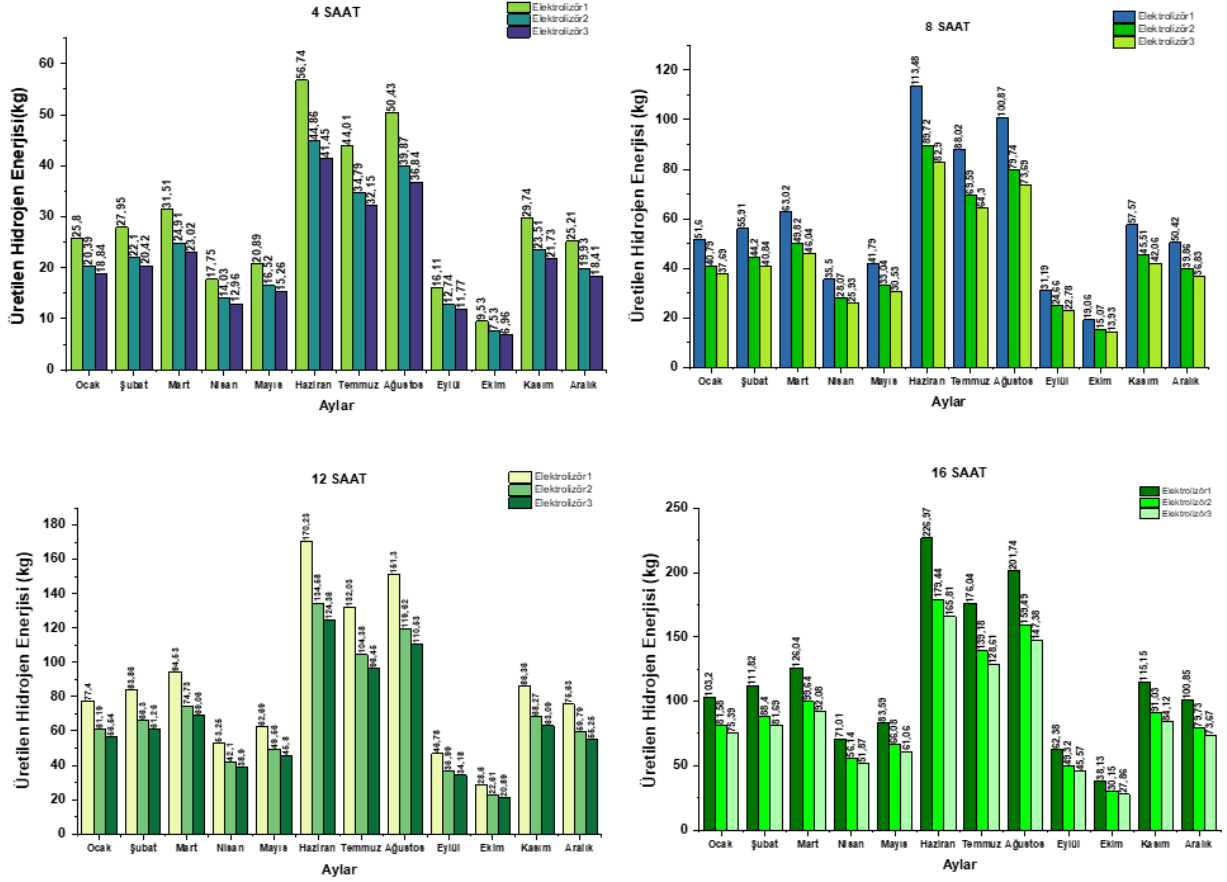


Şekil 29. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucu Haziran ayında en yüksek hidrojen üretimi elektrolizör 1'in kullanılması ile gerçekleşmiştir. Çalışma saati arttıkça üretilen hidrojen miktarıda artmaktadır. Elektrolizör 1'in yüksek verimlilikte çalışıyor olması yüksek miktarda hidrojen üretimini sağlamaktadır. En düşük hidrojen üretimi elektrolizör 3'ün kullanılması durumunda Ekim ayında gerçekleşirken, elektrolizör 2 ile üretilen en düşük hidrojen enerjisi miktarıda grafikte görüldüğü gibi elektrolizör 3 ile yakın değerlere sahiptir.



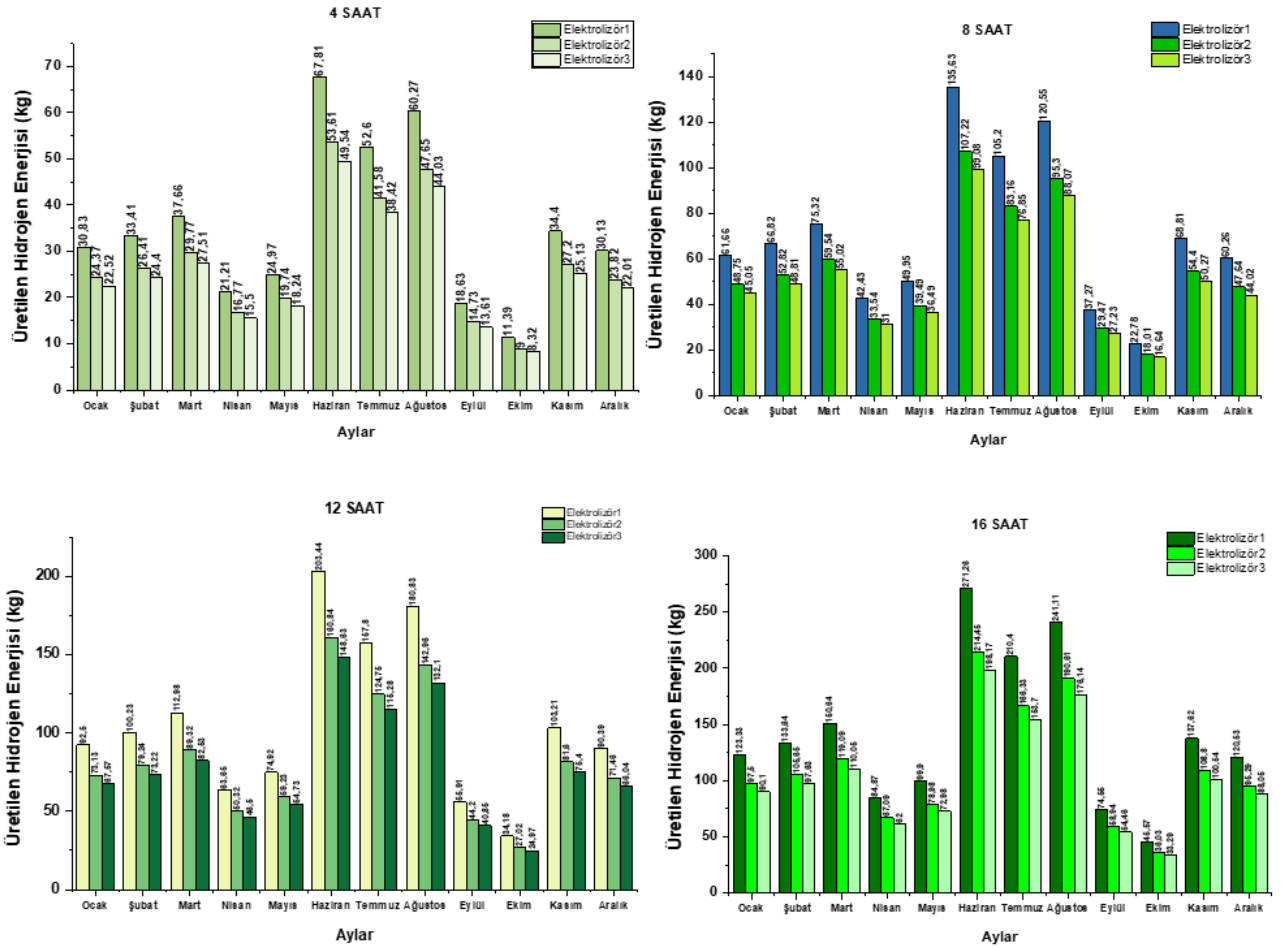
4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininin Aylık Hidrojen Üretimi



Şekil 30. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Türbin gücünün artışı üretilen elektrik enerjisi artışına, bu durumda elektrik enerjisinden elde edilen hidrojen enerjisi miktarının artmasına sağlamaktadır. Elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen miktarları birbirlerine yakın değerlerde seyrederken elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı daha yüksektir. En yüksek toplam hidrojen enerjisi miktarı türbinin 16 saat çalışması sonucu Haziran ayında elektrolizör 1 kullanılarak üretilmiş ve 271 kg, en düşük toplam hidrojen enerjisi miktarı ise türbinin 4 saat çalışması sonucu Ekim ayında elektrolizör 3 kullanılarak üretilmiş ve 6,97 kg'dır.

6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininin Aylık Hidrojen Üretimi

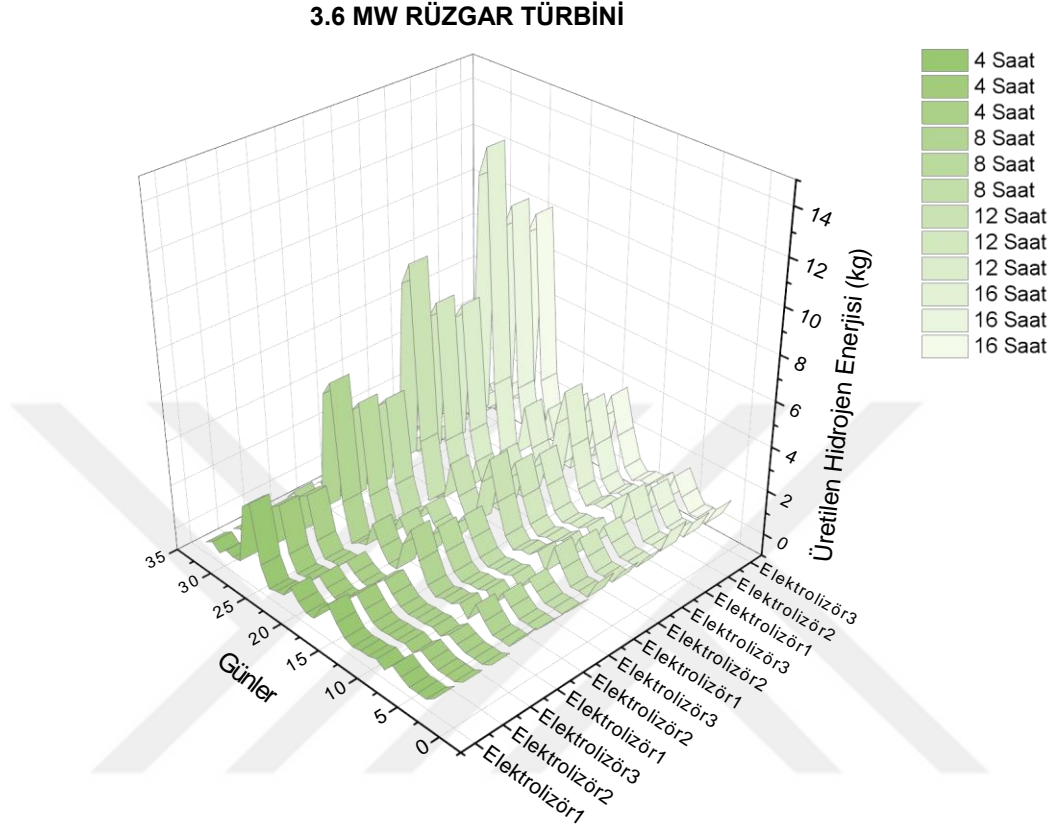


Şekil 31. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aylık Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Kullanılan elektrolizörler, çalışma saatleri ve türbin gücü göz önünde bulundurulduğunda 4 saat çalışma sonucu en yüksek elde edilen hidrojen enerjisi 67 kg, en düşük elde edilen hidrojen enerjisi 8 kg, 8 saat çalışma sonucu en yüksek elde edilen hidrojen enerjisi 135 kg, en düşük elde edilen hidrojen enerjisi miktarı 16 kg, 12 saat çalışma sonucunda en yüksek elde edilen hidrojen enerjisi miktarı 203 kg, en düşük elde edilen hidrojen enerjisi miktarı 24 kg, 16 saat çalışma sonucunda en yüksek elde edilen hidrojen enerjisi miktarı 271 kg, en düşük elde edilen hidrojen enerjisi miktarı ise 33 kg'dır.

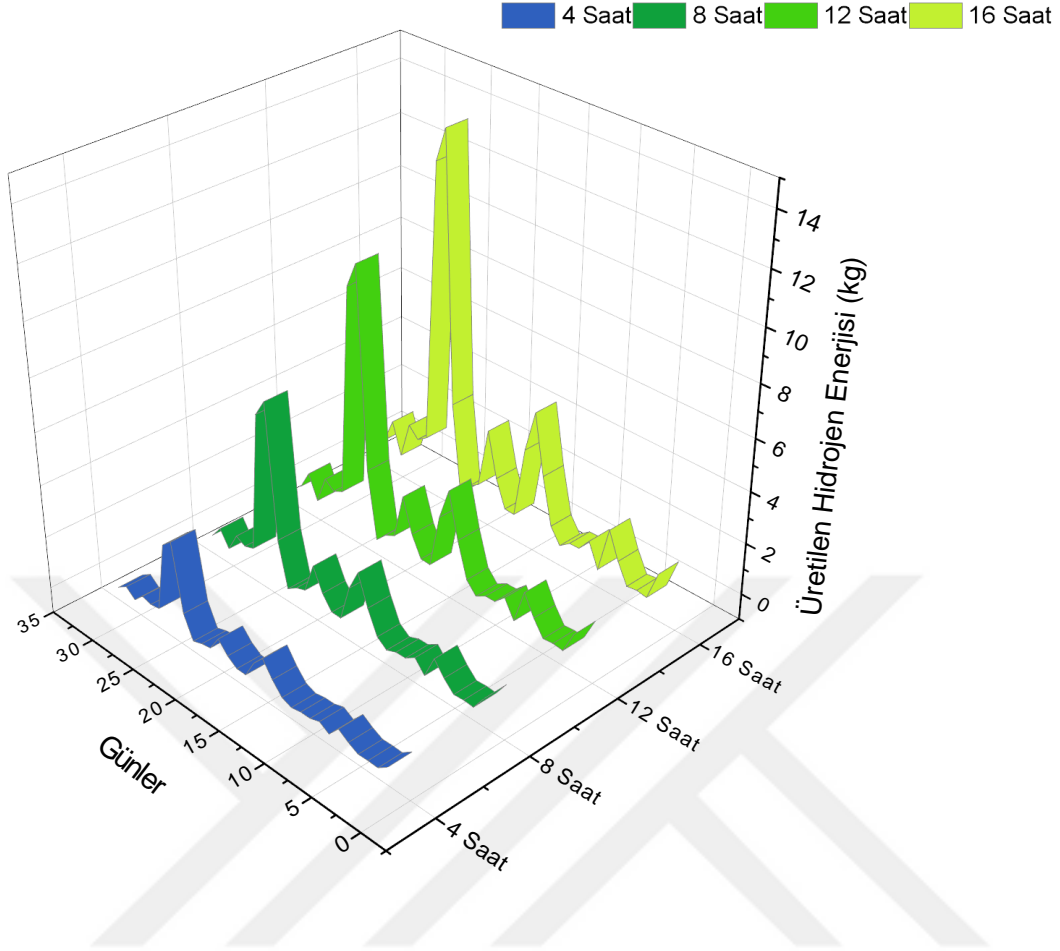
6.4 Günlük Olarak Üretilen Hidrojen Enerjisi

Ocak Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 32. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

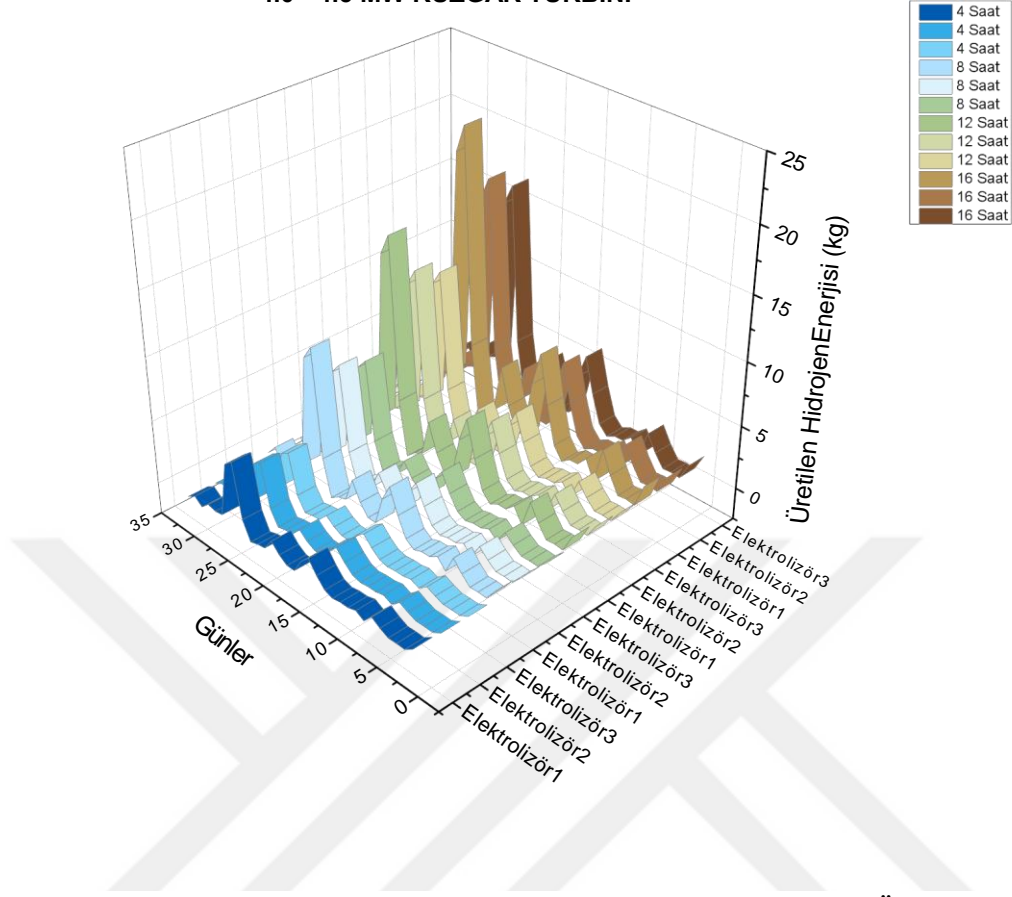
Grafikte görüldüğü gibi en yüksek üretim elektrolizör 1 ile, en düşük üretim ise elektrolizör 3 ile gerçekleşmiştir. Elektrolizör 2 kullanılarak elde edilen hidrojen enerjisi miktarları elektrolizör 3 ile yakın değerlerdedir. Bunun sebebi elektrolizör verimliliklerinin yakın olmasıdır. Ocak ayının son günlerine doğru hidrojen enerjisi üretimi artmıştır. Rüzgar hızının düşük olduğu ayın ilk günlerinde ise tüm çalışma saati ve kullanılan elektrolizörlere rağmen üretilen hidrojen enerjisi miktarı düşüktür.



Şekil 33. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

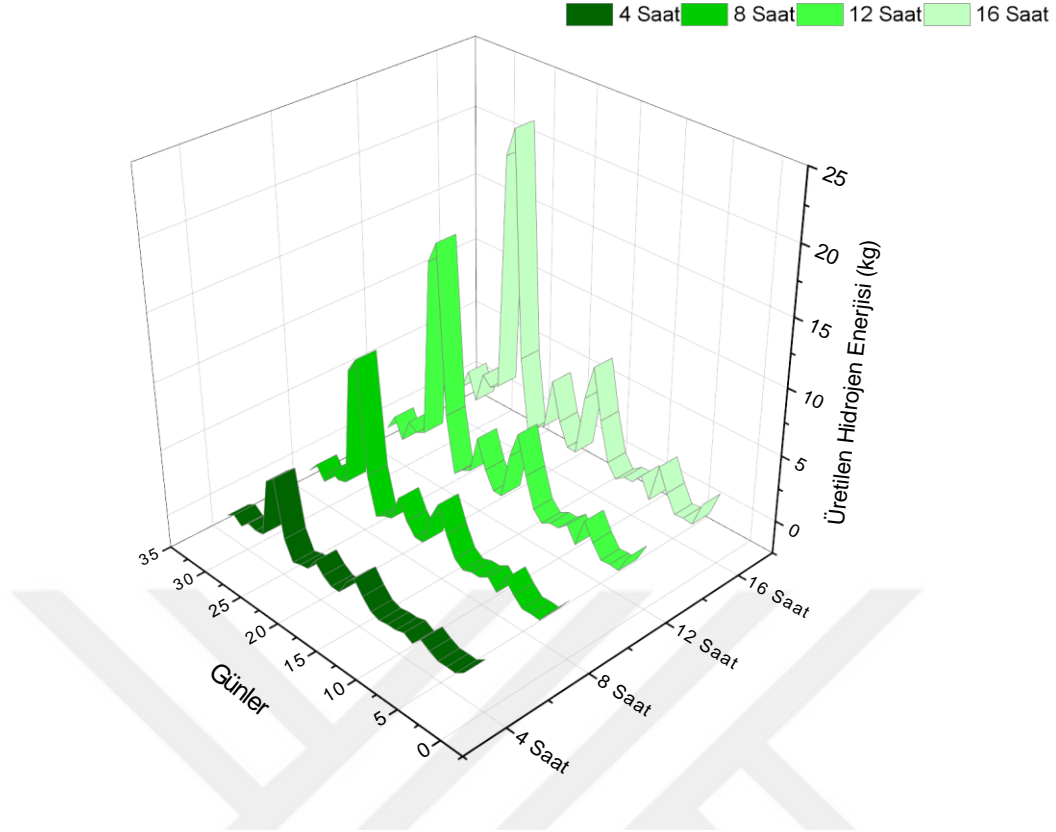
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ocak ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın son günlerine doğru üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 34. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

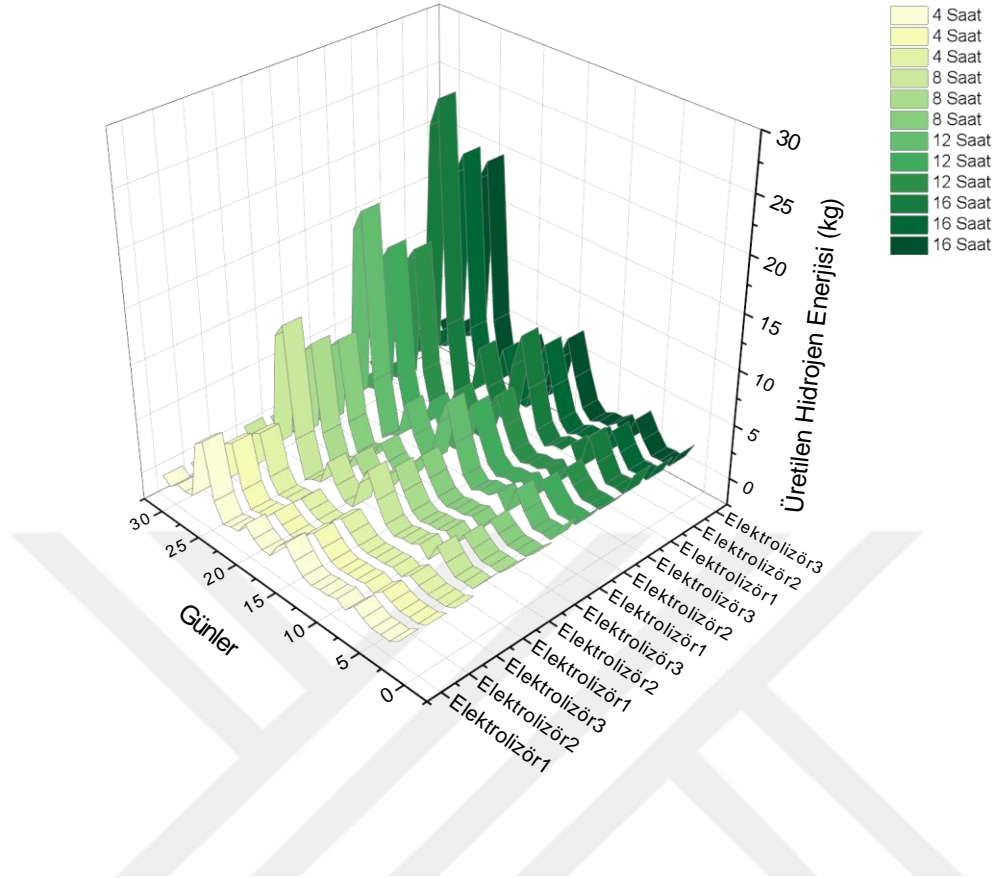
Ayın 14'üncü gününde gözlenen artıştan sonra tekrar düşüş yaşanmış olsada 24. ve 25. günlerde yüksek bir artış olmuştur. Ayın son günlerinde artan rüzgar hızını kullanarak elde ettiğimiz elektrik enerjisi ile yüksek verimlilikte olan elektrolizör 1 ile yine yüksek miktarda hidrojen enerjisi üretilmiştir. Elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile aralarında ortalama 5 kg kadar hidrojen enerjisi farkı vardır.



Şekil 35. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

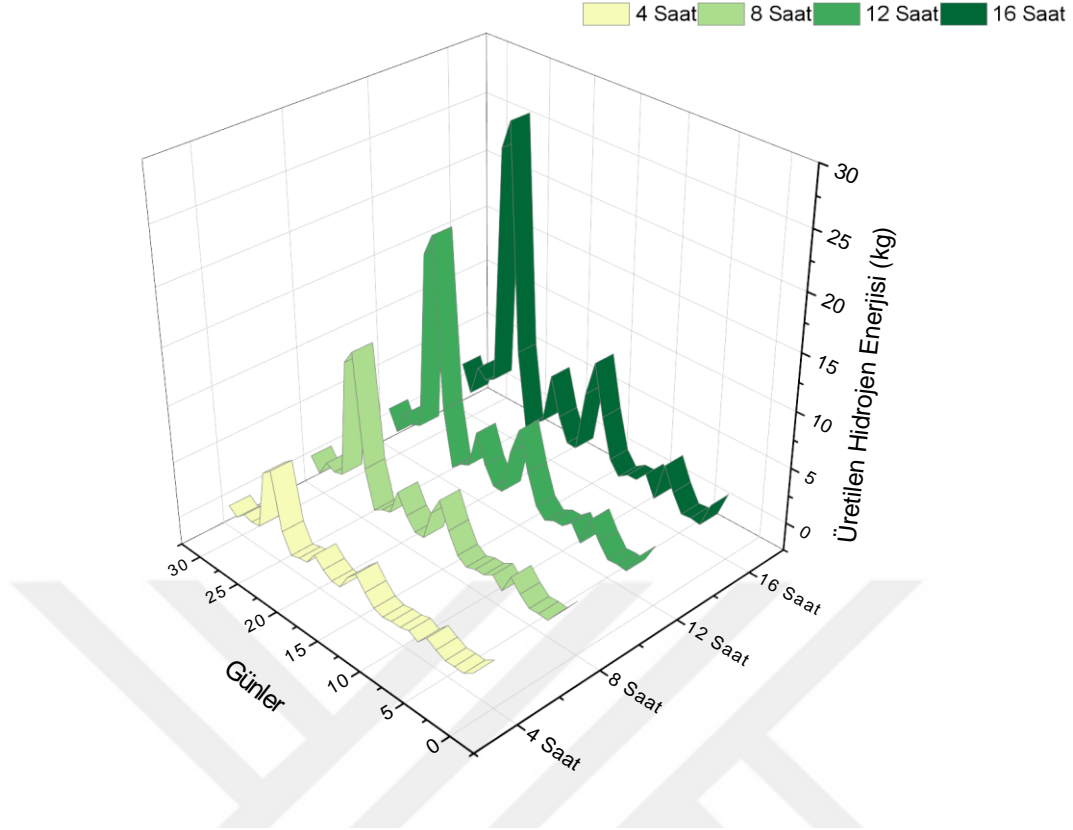
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ocak ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Son günlere doğru rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu 22 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 36. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

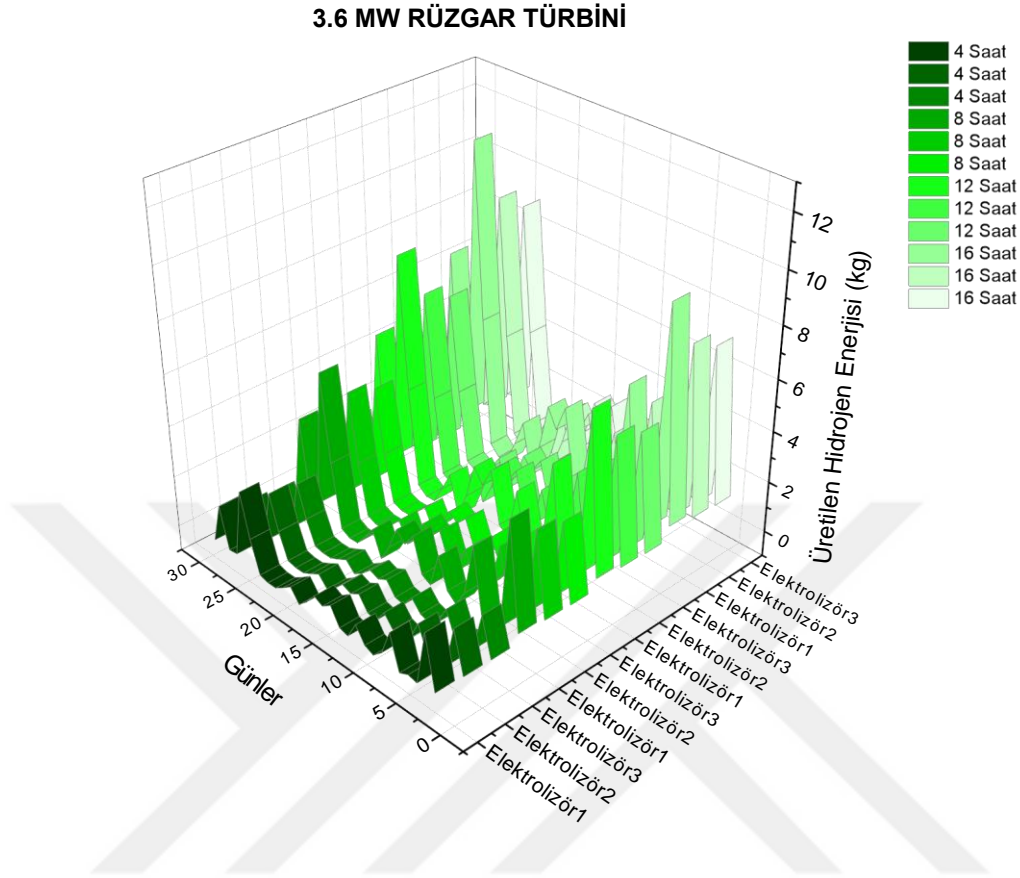
Türbin gücünün artması üretilen hidrojen enerjisi miktarlarında artırmıştır. Diğer rüzgar türbinlerine oranla ayın ilk günlerinde üretilen hidrojen enerjisi miktarı daha yüksek seviyededir. Özellikle tüm saatler çerçevesinde elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarları grafikte görüldüğü gibi büyük bir artış içerisindedir. Özellikle rüzgar türbininin 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi maksimum seviyeye ulaşırken, elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 16 kg civarındadır.



Şekil 37. 6.0- 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ocak Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

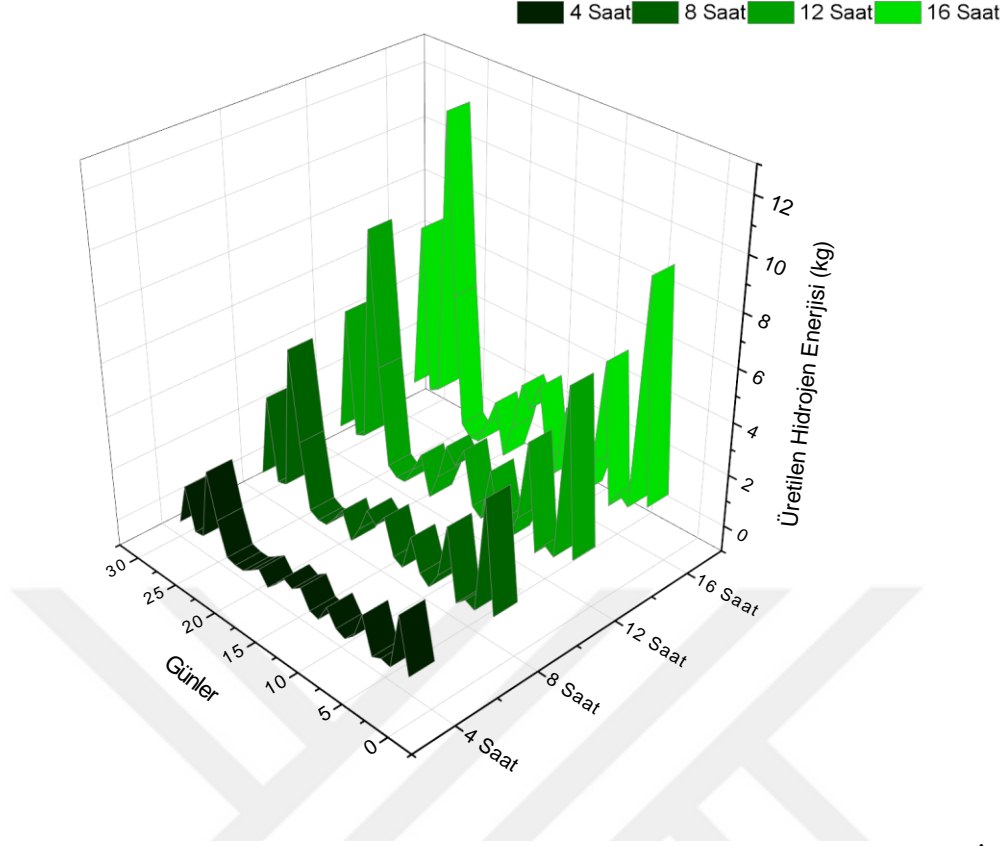
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ocak ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. İlk günlerde düşük olan rüzgar hızının artması ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 27 kg'a çıkarmıştır.

Şubat Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 38. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

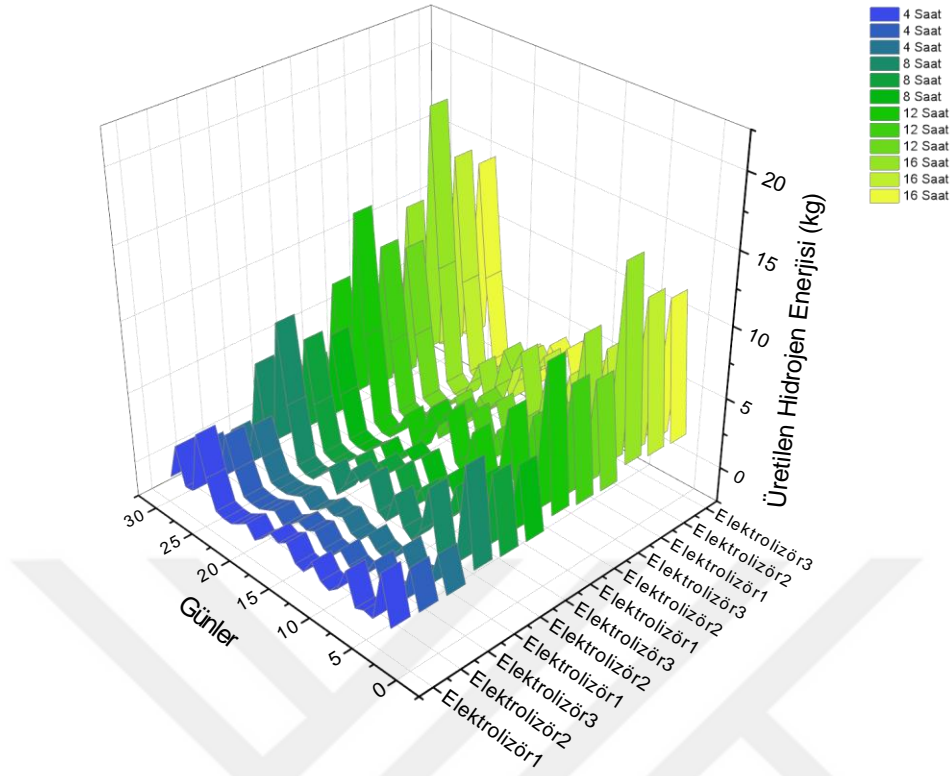
Şubat ayının ilk ve son günlerinde üretilen hidrojen enerjisi miktarları, ayın ortasında üretilen hidrojen enerjisi miktarlarına oranla daha yüksektir. Türbinin 4 saat çalışması sonucu üretilen maksimum hidrojen enerjisi miktarı 3 kg civarındadır. Elektrolizör 2 ile üretilen hidrojen enerjisi elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarına çok yakın ancak hem çalışma saatlerinin artması hemde verimliliği daha yüksek olan elektrolizör 1'in kullanılması ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 3 kg gibi bir farkla en yüksek seviyeye çıkmıştır.



Şekil 39. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

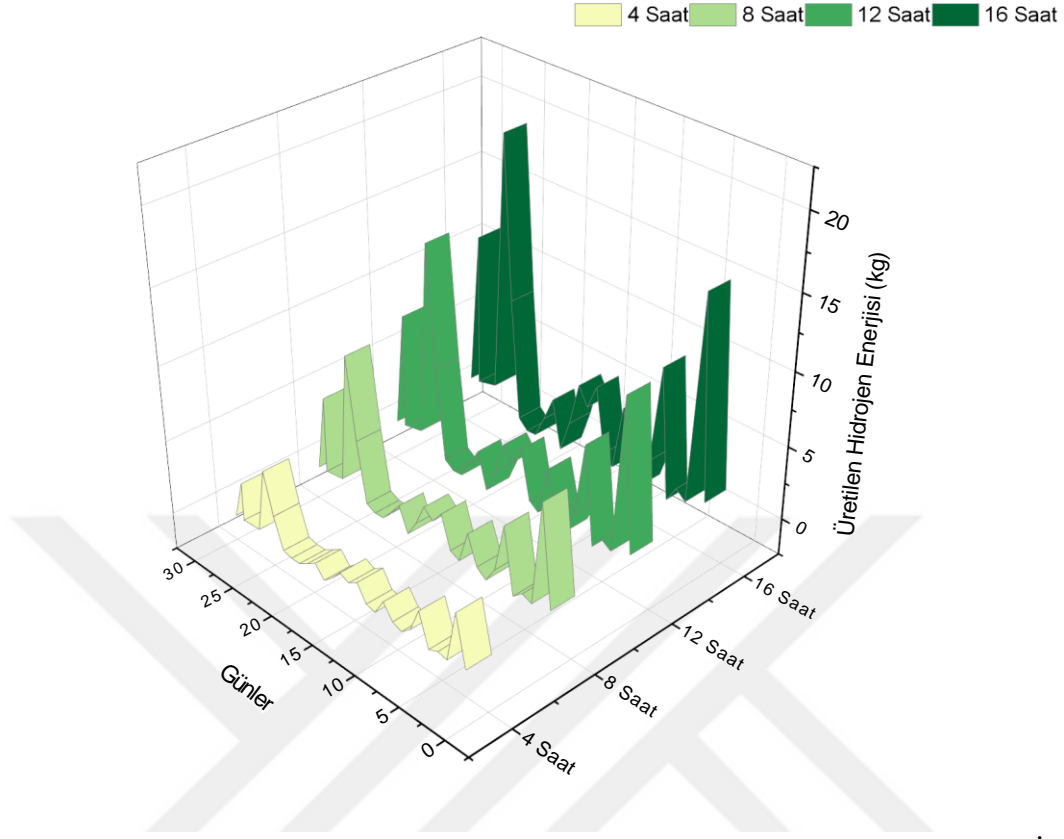
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Şubat ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk ve son günlerine doğru üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 40. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

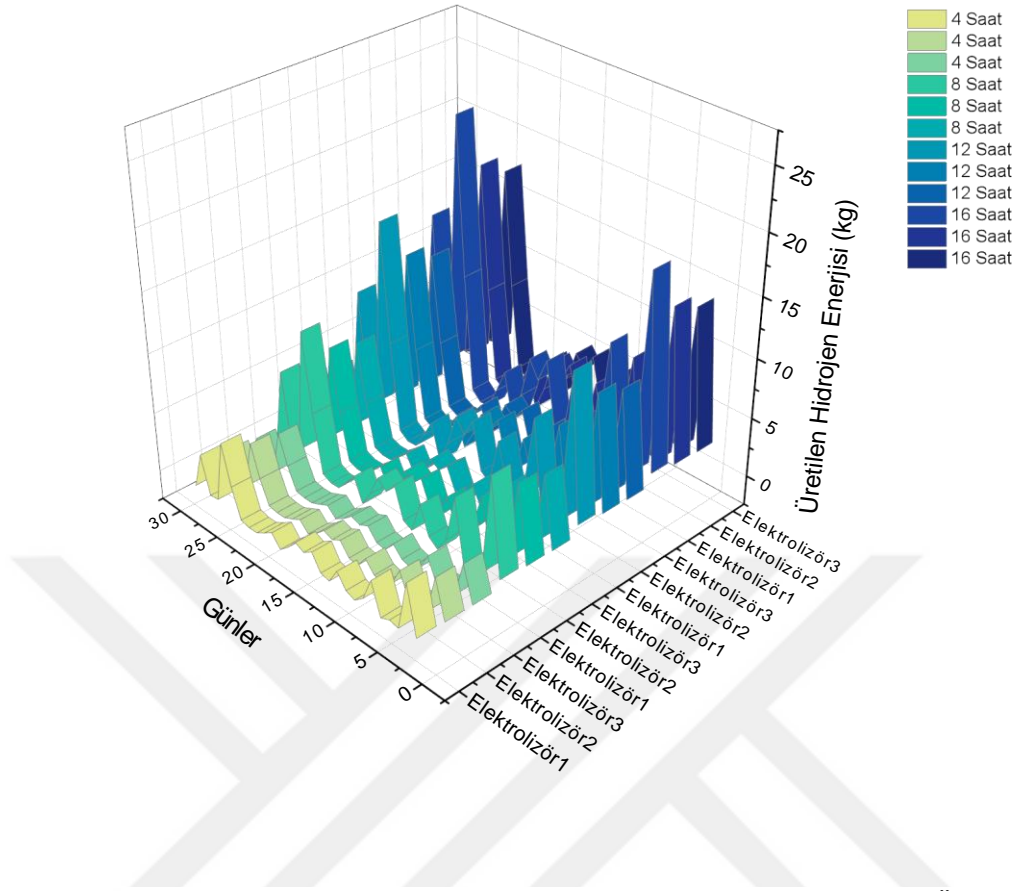
Yüksek üretimle başlayan Şubat ayı yine son günlerde yüksek hidrojen enerjisi üretimi ile devam etmiştir. Grafikte görüldüğü gibi hidrojen enerjisi üretiminin en yüksek olduğu nokta ayın 24. günüdür. Rüzgar hızının yüksek olması seçilen elektrolizör ve çalışma saati ile en yüksek hidrojen eldesini sağlamıştır. Yani 16 saat çalışma ve elektrolizör 1 hidrojen enerjisi üretiminde maksimum seviyededir.



Şekil 41. 4.0- 4.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

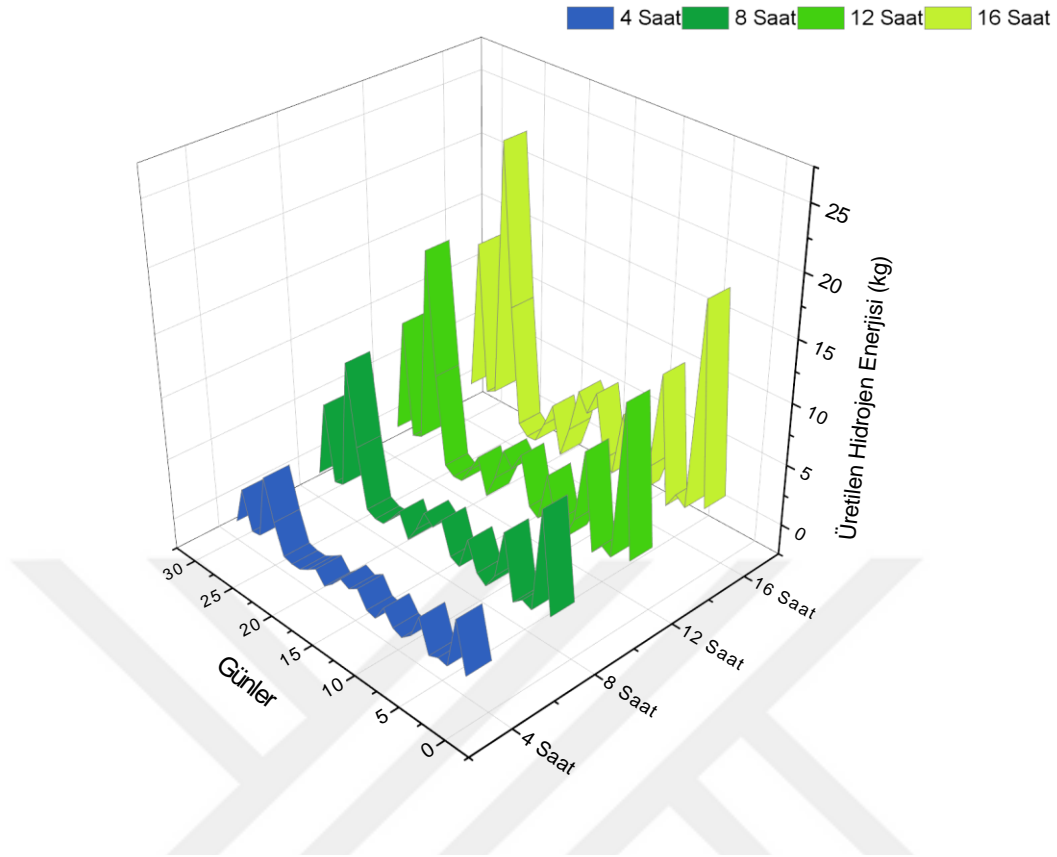
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Şubat ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. İlk ve son günlere doğru rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 19.5 kg'a çıkmıştır.

6.0- 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 42. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

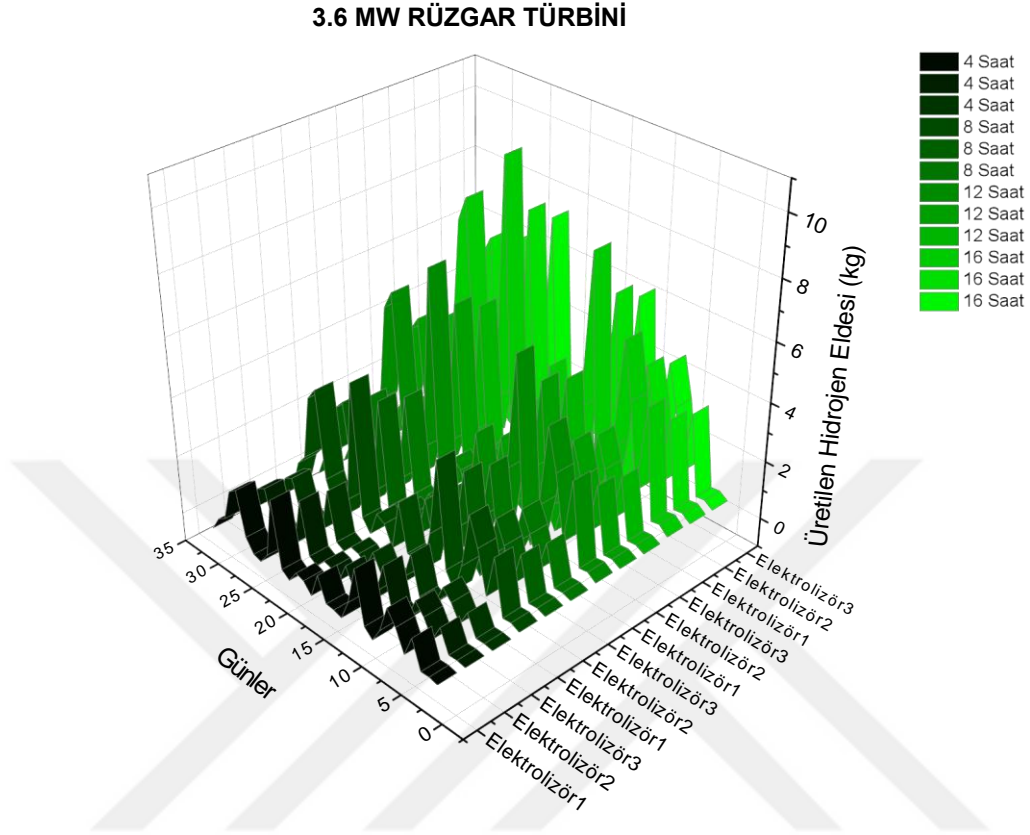
Artan rüzgar türbini gücü rüzgar hızının yüksek olduğu günlerde maksimum seviyede hidrojen enerjisi üretimini sağlamıştır. Grafığe göre en yüksek üretim Şubat ayının 24. Gününde gerçekleşmiştir. 4 saat çalışma sonucu elektrolizör 1 ile maksimum 3 kg hidrojen enerjisi, elektrolizör 2 ile 2.5 kg civarı hidrojen enerjisi üretilirken elektrolizör 3 ile bu üretim 2 kg civarına düşmektedir. 8, 12 ve 16 saatlik çalışmalar sonucu üretilen hidrojen enerjisi artarken Şubat ayında en yüksek üretim 12 kg ve en düşük üretim ise 1 kg'dan daha azdır.



Şekil 43. 6.0 - 6.5 MW Rüzgar Türbininden Şubat Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

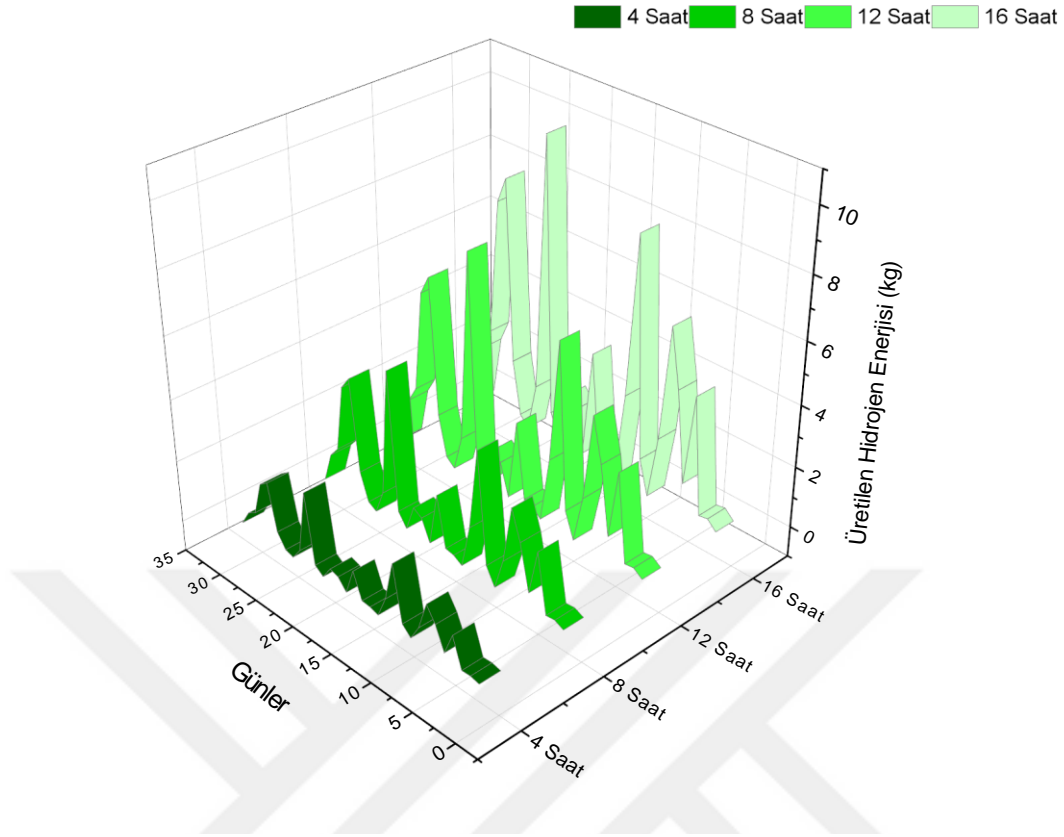
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Şubat ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ortasında düşük olan rüzgar hızının artması ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 23 kg'a çıkarmıştır.

Mart Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 44. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

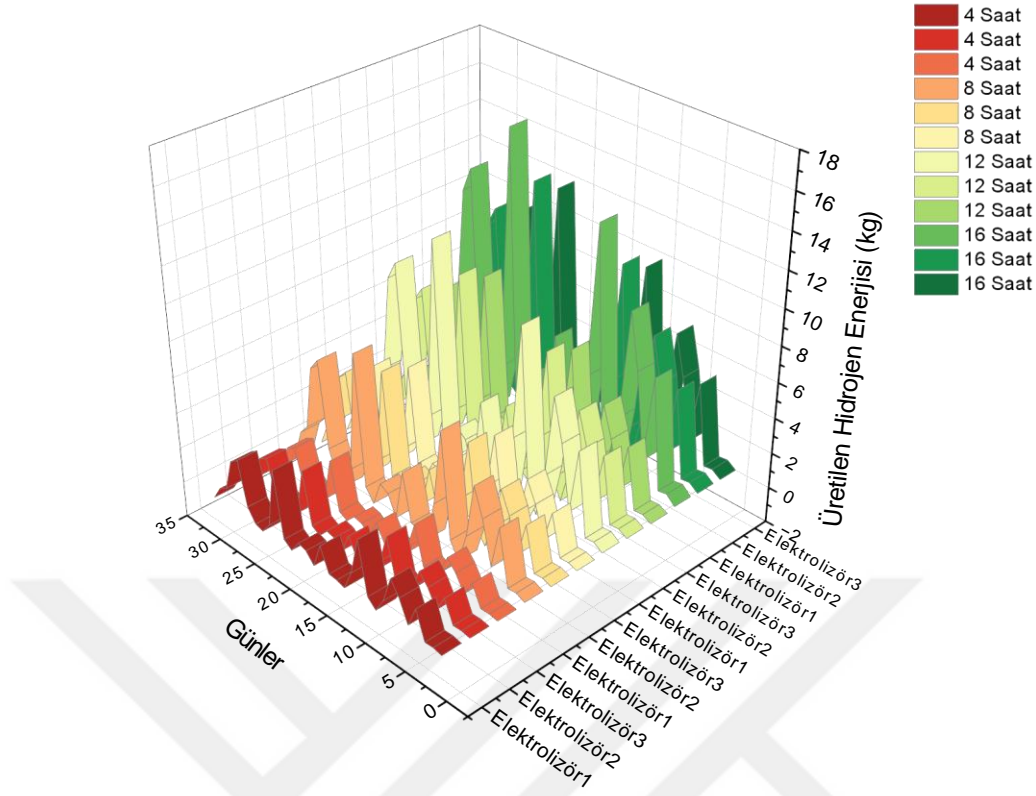
Mart ayında özellikle ayın başlarında rüzgar hızının artması ile üretiminde arttuğu görülmektedir. Türbinin 4 saat çalışması sonucu elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile en fazla üretilen hidrojen enerjisi miktarları ortalama 2 kg civarında, 8 saat çalışması sonucu elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarları ortalama 5 kg civarında, 12 saat çalışması sonucu elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarları ortalama 6 kg civarında, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 2 ve elektrolizör 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarları ise 8 kg civarındadır. Elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi en yüksek miktarda hidrojen enerjisidir ve türbinin 16 saat çalışması sonucu elde edilmiştir. Ortalama 10 kg'dır.



Şekil 45. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

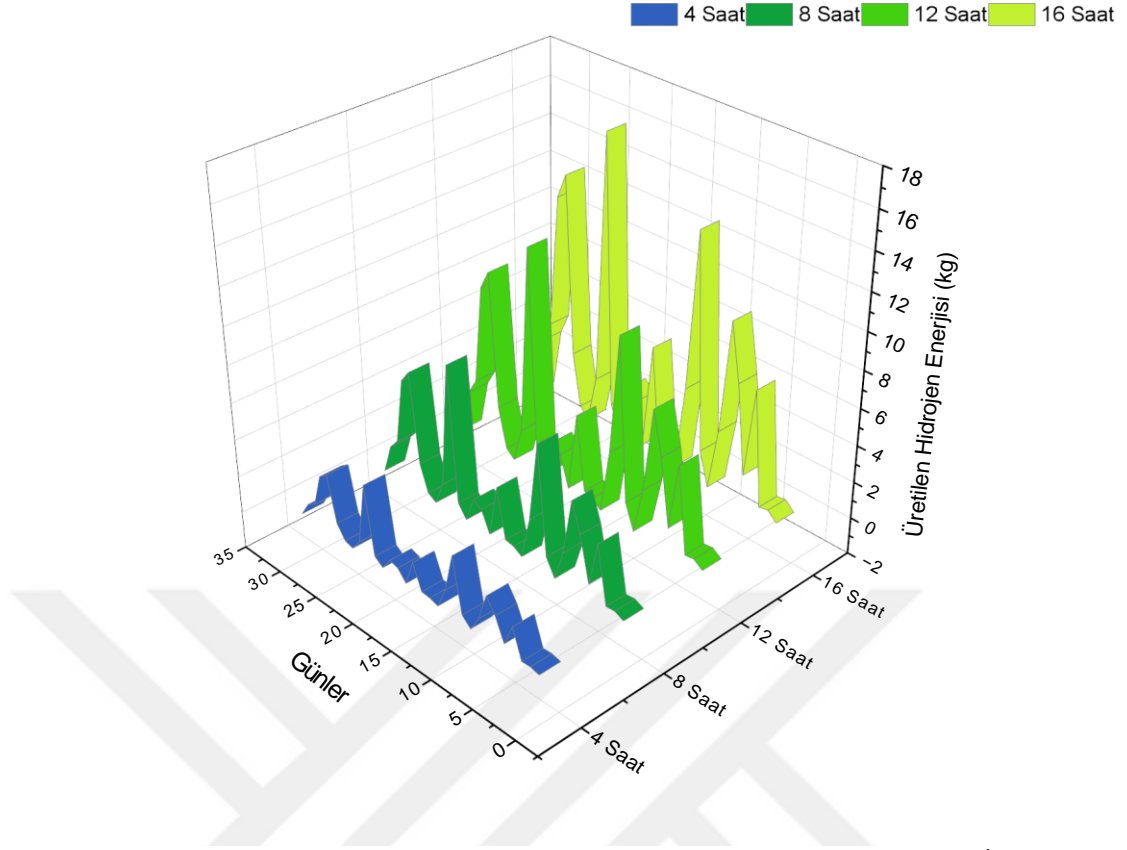
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mart ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 10. Ve 20. günlerinden sonra üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 46. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

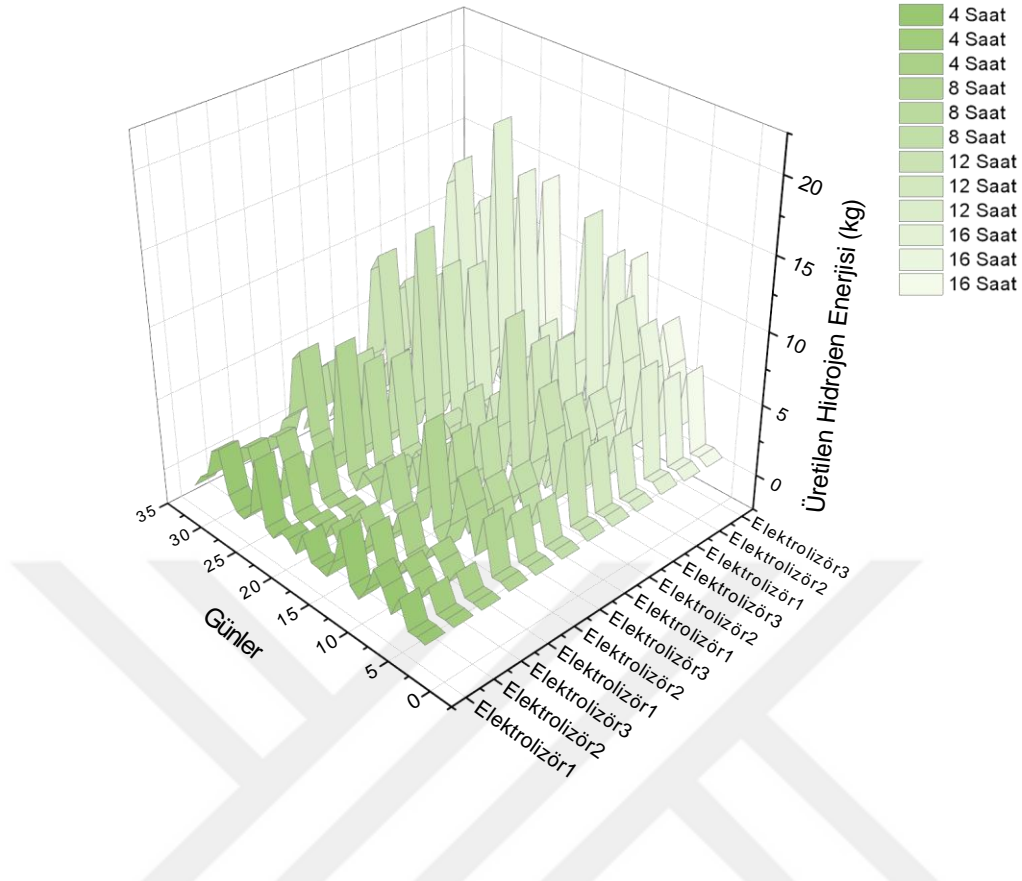
Elektrolizör 1'in 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu hidrojen enerjisi miktarı diğer elektrolizörlerden üretilen hidrojen enerjisi miktarına oranla daha yüksek seviyededir. Mart ayının en verimli olduğu gün 22. Günüdür ve türbin 16 saat çalışarak elektrolizör 1 ile ortalama 16 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir. İkinci en yüksek hidrojen enerjisi miktarı ise 12 kg civarında olup 12 saat çalışma ile elde edilmiştir.



Şekil 47. 4.0 - 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

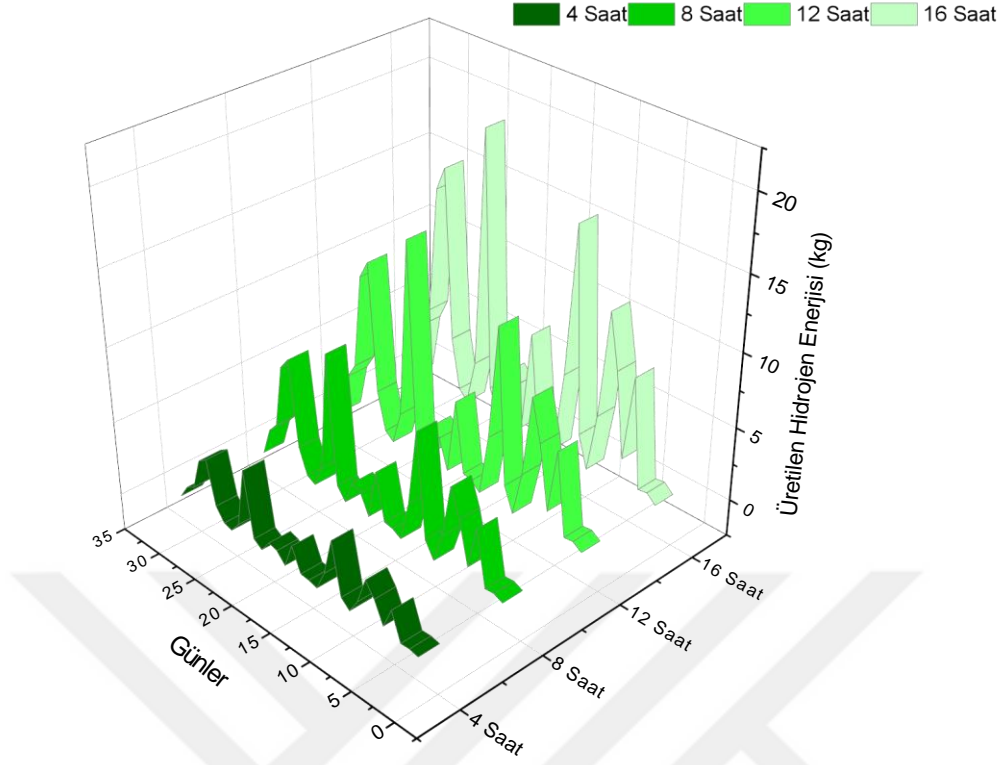
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mart ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 20. gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 16 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



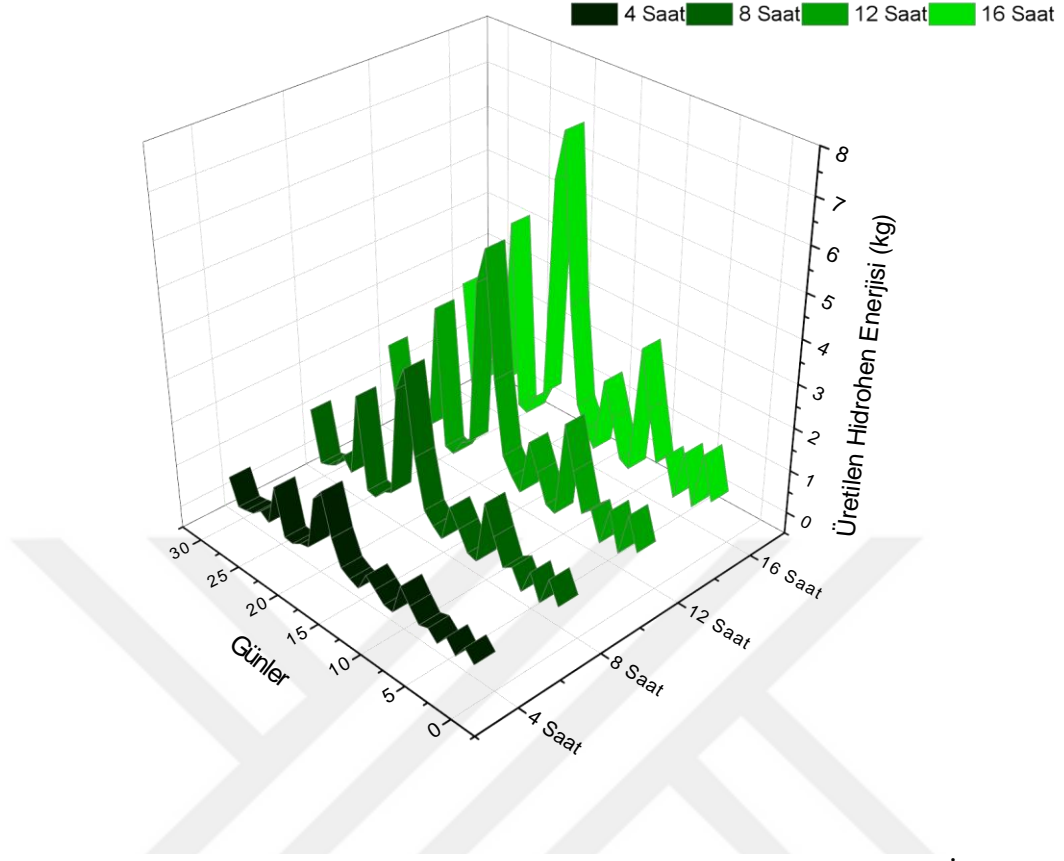
Şekil 48. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Türbin gücü artarak hidrojen enerjisi miktarında ki artışın daha net şekilde görülmesini sağlamıştır. Türbinin 4 saat çalışması sonucu elektrolizörler ile sırasıyla en yüksek ortalama 5 kg, 4 kg ve 3 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir. Diğer türbinlere oranla en az çalışma saati olan 4 saat çalışma sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarında artış gözlenmiştir. Elektrolizör 1 ile üretilen maksimum hidrojen enerjisi miktarı ortalama 19 kg civarındadır. Bu üretim rüzgar türbininin 16 saat çalışması sonucu elde edilmiştir.



Şekil 49. 6.0 -6.5 MW Rüzgar Türbininden Mart Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

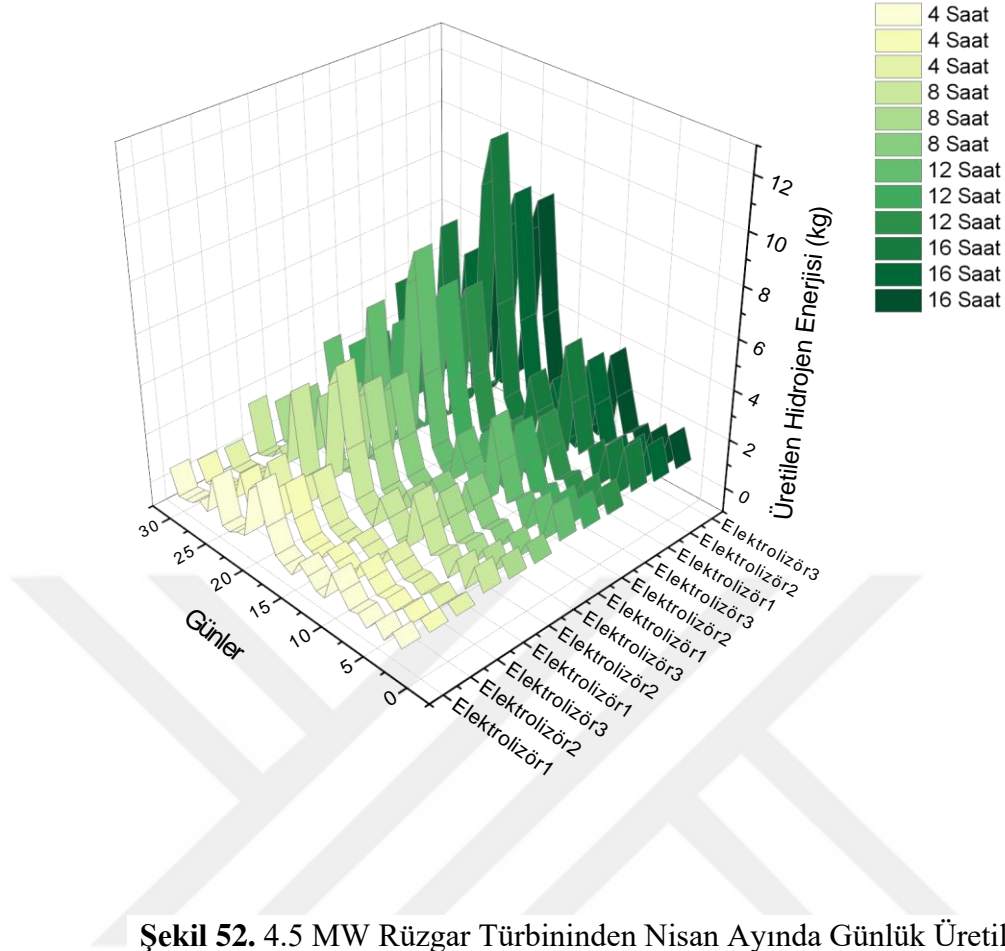
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mart ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın başında ve ortasında düşük olan rüzgar hızınının 20. günden sonra artması ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 19 kg'a çıkarmıştır.



Şekil 51. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

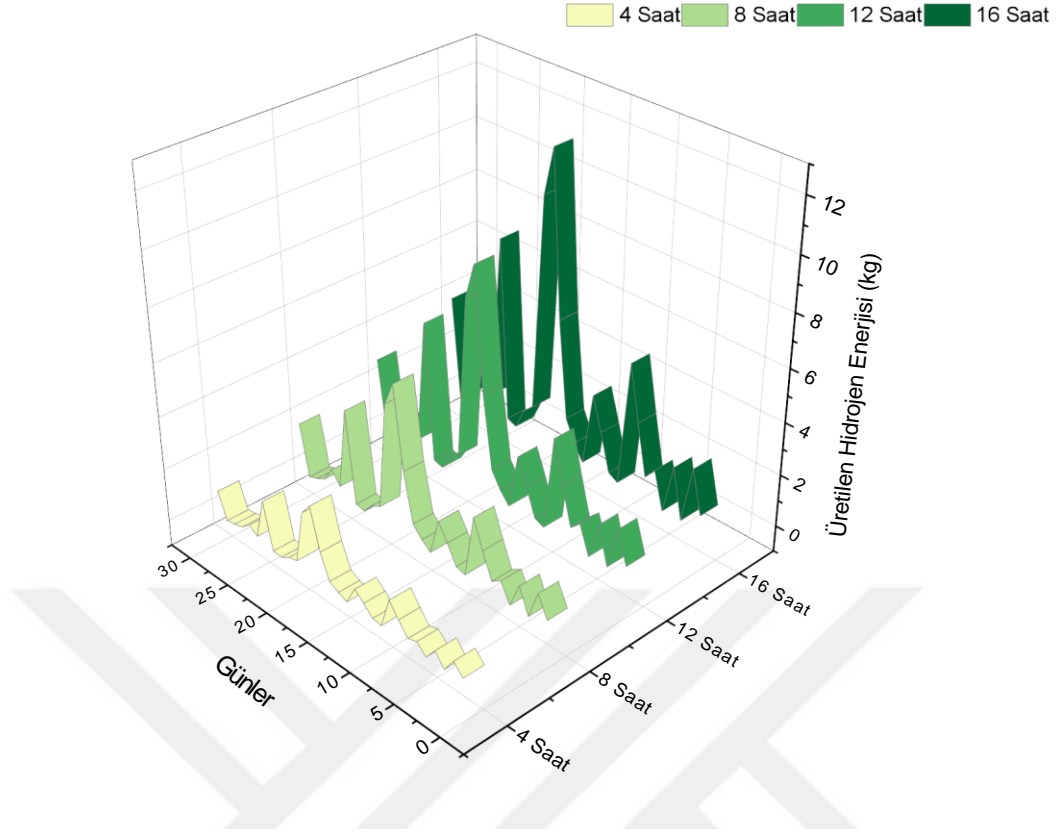
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Nisan ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 18. ve 19. Günlerinde üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 52. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

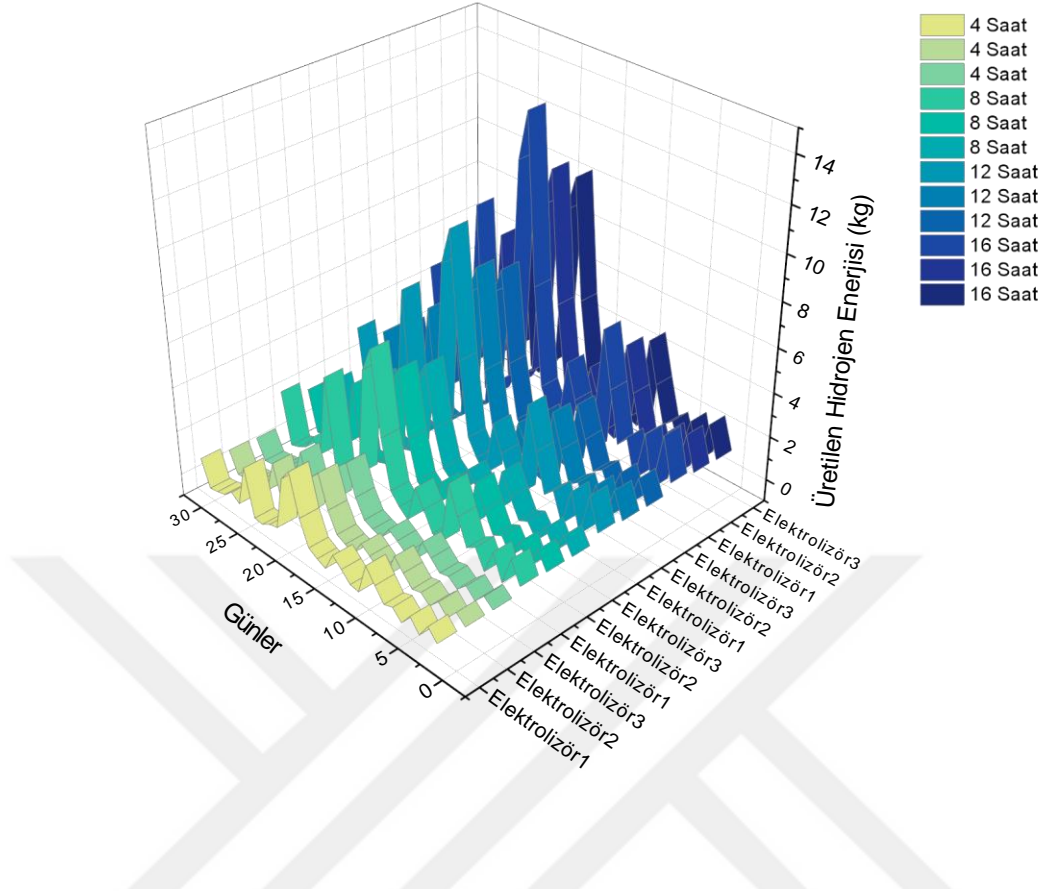
Rüzgar hızının düşük olması üretimi etkilediği için en fazla çalışma saati ve en verimli elektrolizör kullanıldığında üretilen hidrojen enerjisi miktarı maksimum 11 kg civarına çıkabilmiştir. Aynı şekilde türbinin 16 saat çalışması sonucu elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 8 kg ve 9 kg civarındadır. Türbinin 4, 8, 12 saat çalışması sonucu ise üretilen hidrojen enerjisi miktarları en yüksek 2 kg ile 8 kg arasında değişmektedir.



Şekil 53. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

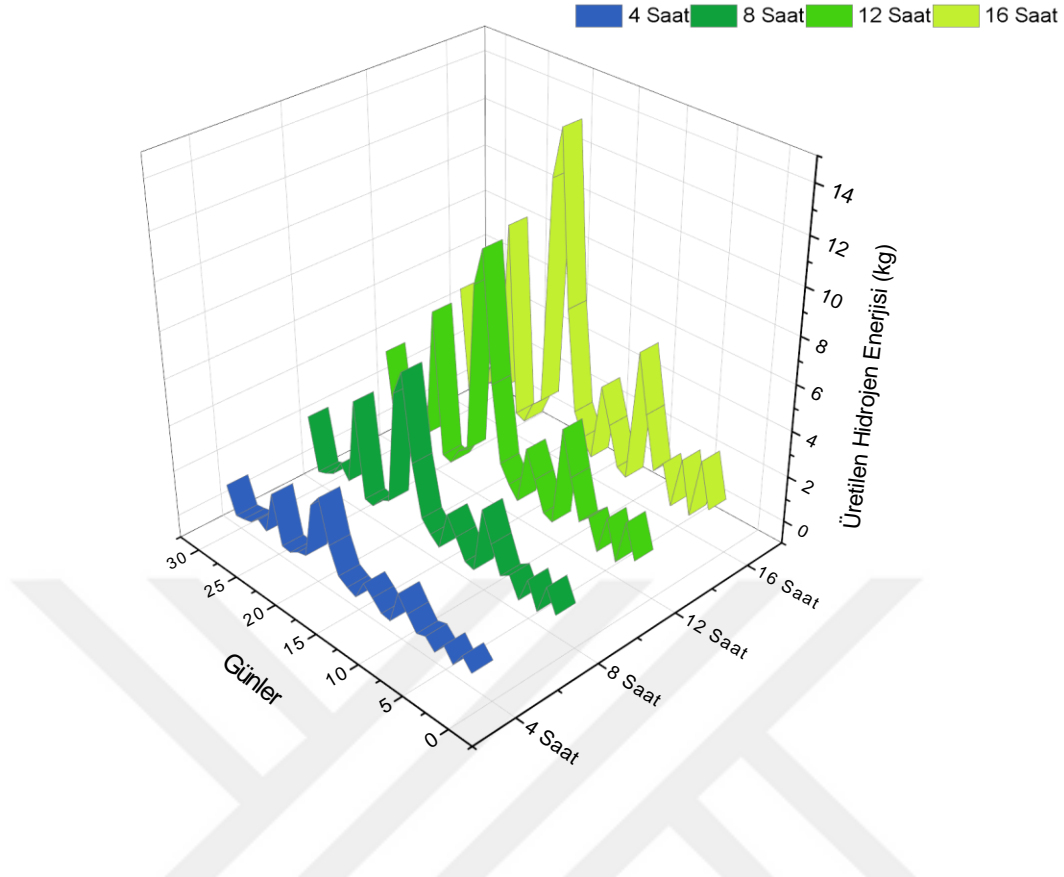
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Nisan ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 18. gününde rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 11 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 54. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

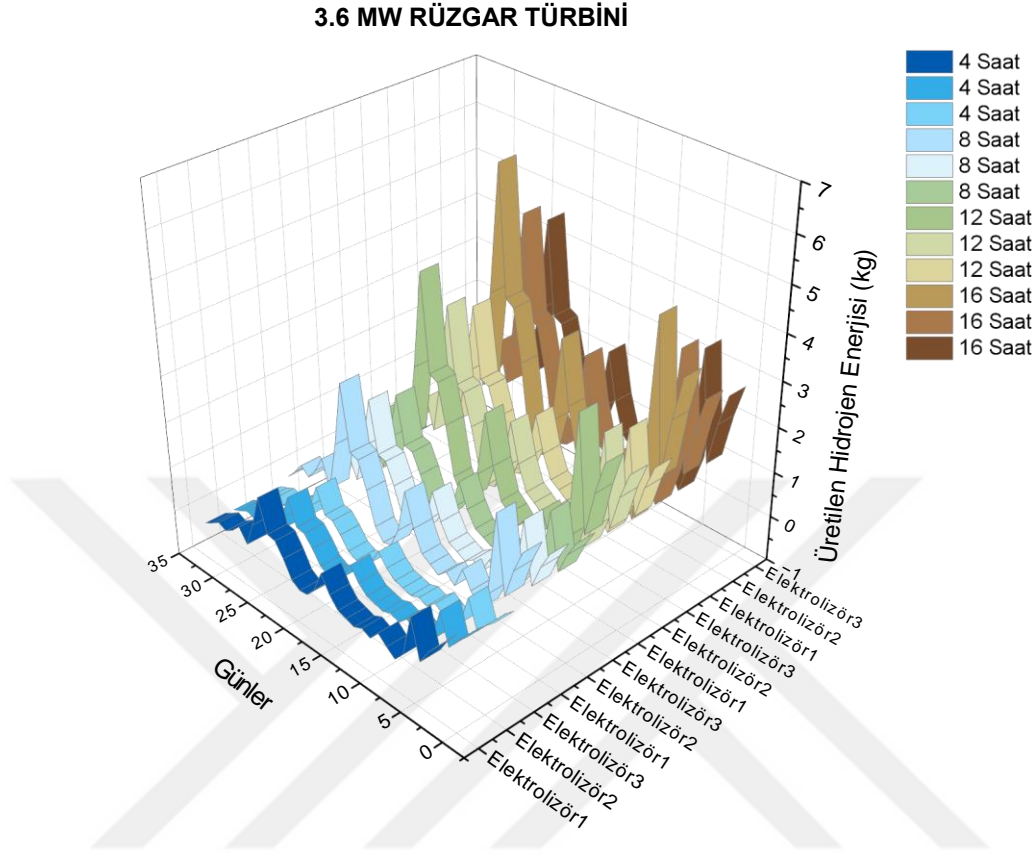
Nisan ayının en yüksek hidrojen enerjisi üretimi olan günü ortalama 14 kg ile 18. günüdür. Diğer günlerde rüzgar hızından kaynaklı üretim oldukça düşüktür. Rüzgar türbini gücünün artması ve 16 çalışma ile elektrolizör 1'in kullanılması sonucu hem diğer türbinlere oranla hemde diğer günlere oranla daha fazla hidrojen enerjisi üretilmiştir. Türbinin 12 saat çalışması sonucu ortalama 7 kg, 8 kg ve 10 kg civarı hidrojen enerjisi üretilirken bu değerler türbinin 4 saat ve 8 saat çalışması sonucu daha da düşmüştür. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarları grafikte de görüldüğü gibi birbirine yakın değerdedirler.



Şekil 55. 6.0 -6.5 MW Rüzgar Türbininden Nisan Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

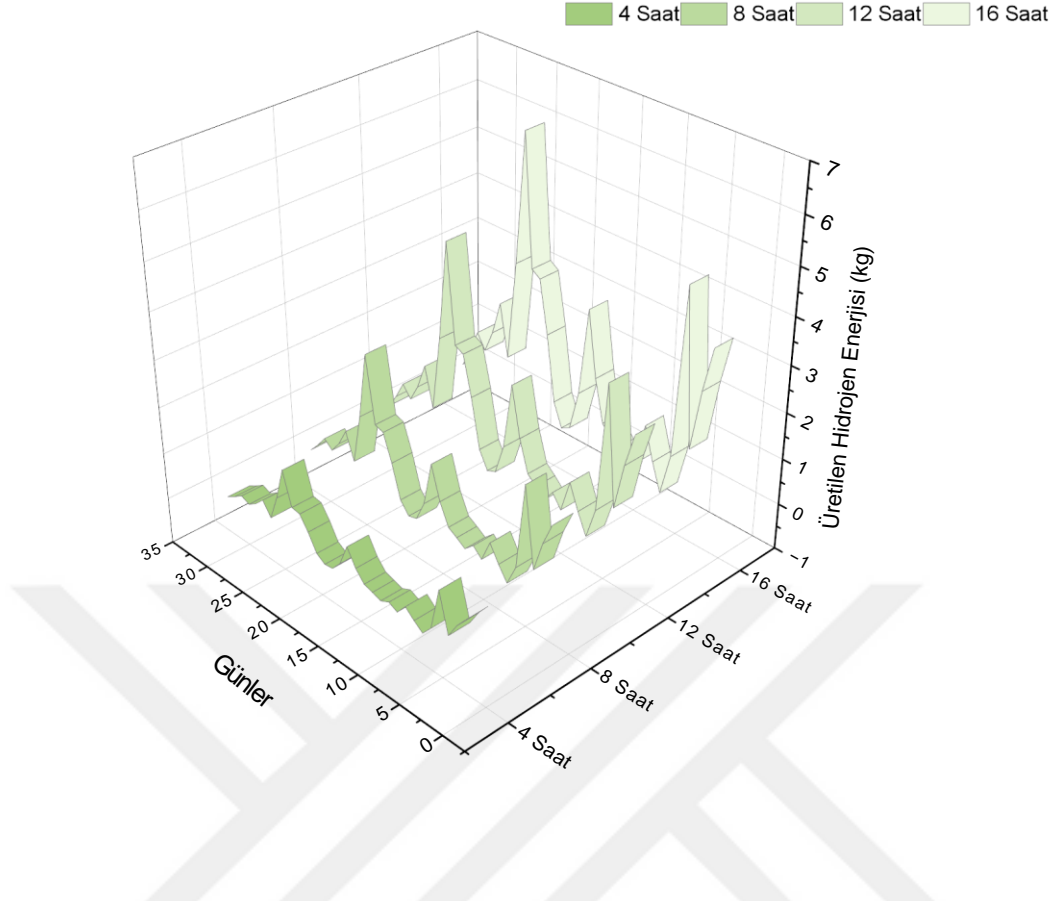
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Nisan ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın başında düşük olan rüzgar hızı 16. günden sonra artmış ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarda artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 14 kg'a çıkarmıştır.

Mayıs Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 56. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

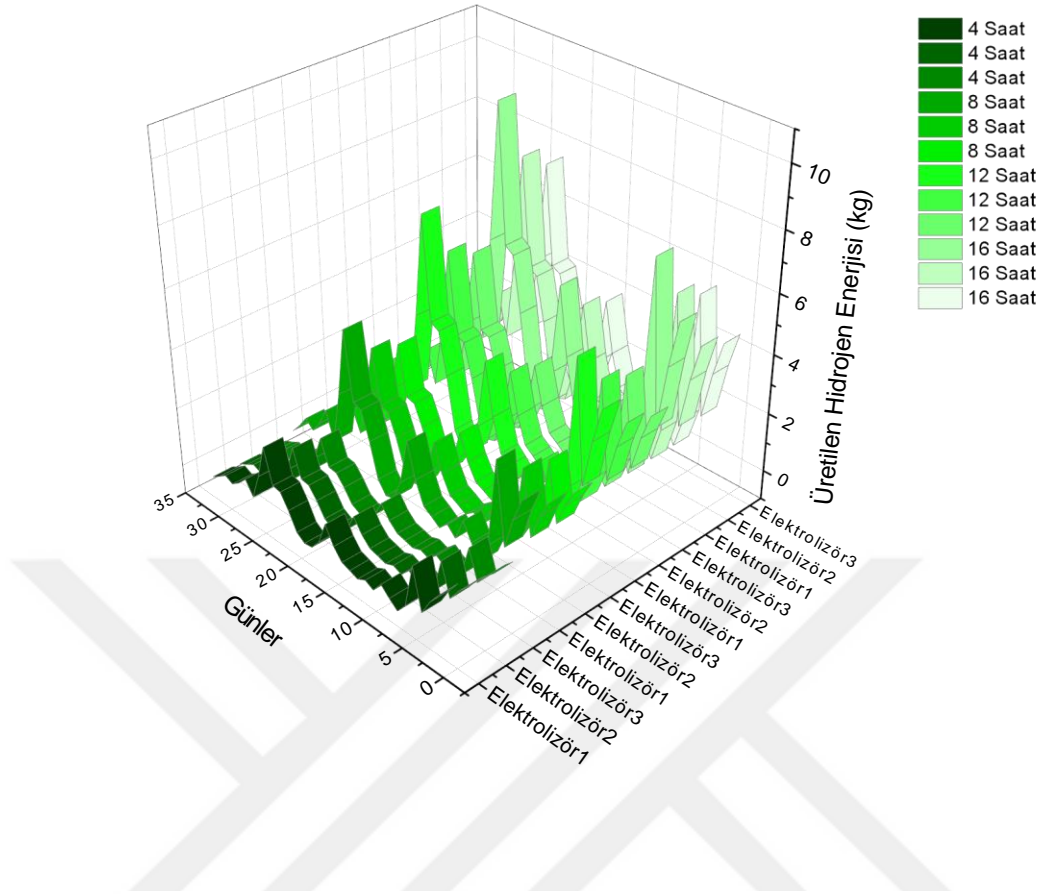
Mayıs ayında düşük olan rüzgar hızı sebebi ile hidrojen enerjisi üretimi de düşük seviyelerdedir. Grafikte görüldüğü üzere maksimum hidrojen enerjisi miktarı 7 kg civarındadır. Ay boyunca rüzgar hızı ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarı ortalama en yüksek 3 kg civarlarındadır. Ayın 6. günü rüzgar hızı sıfırın altına düşerek hem Mayıs ayında hemde 1 yıl içerisinde en düşük hidrojen enerjisi üretimini gerçekleştirmiştir.



Şekil 57. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

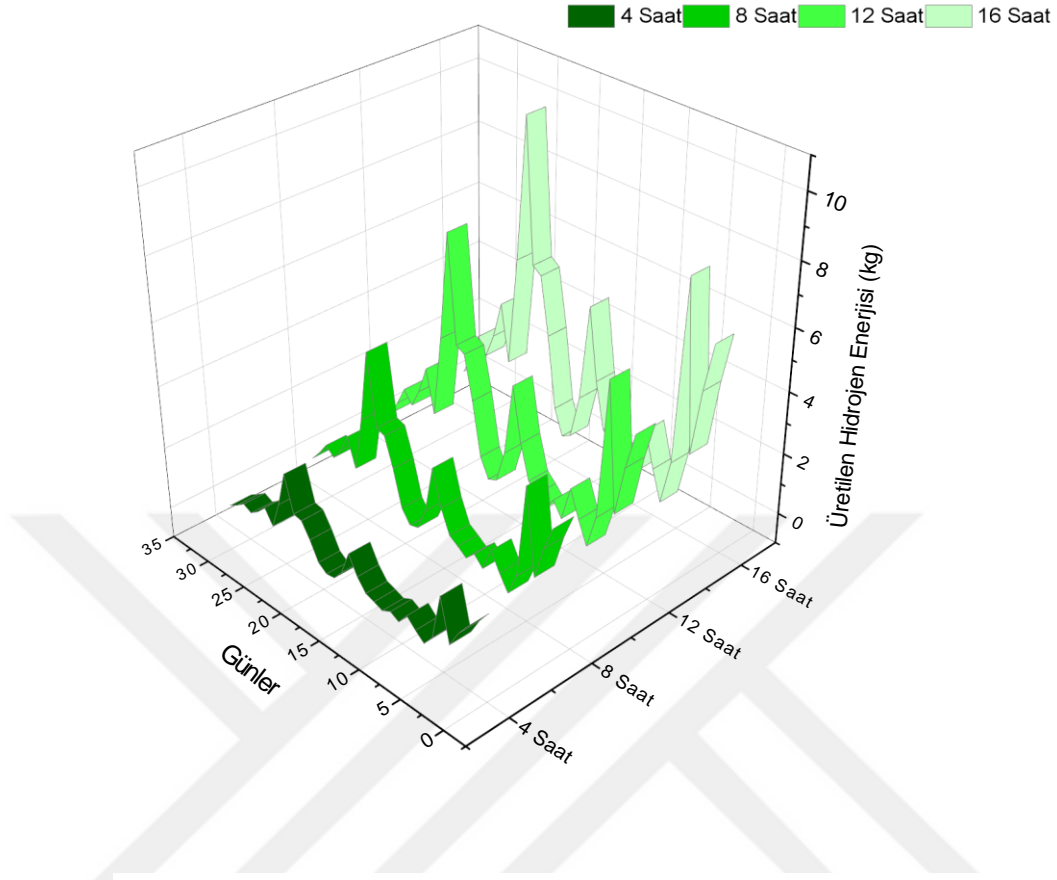
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mayıs ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk günlerinde yüksek görülen hidrojen enerjisi miktarı ayın son günlerine kadar düşük devam etmiştir. Bu dalgalanmalar ile birlikte 23. gün en çok üretim olan gün olmuştur.

4.0 -4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 58. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

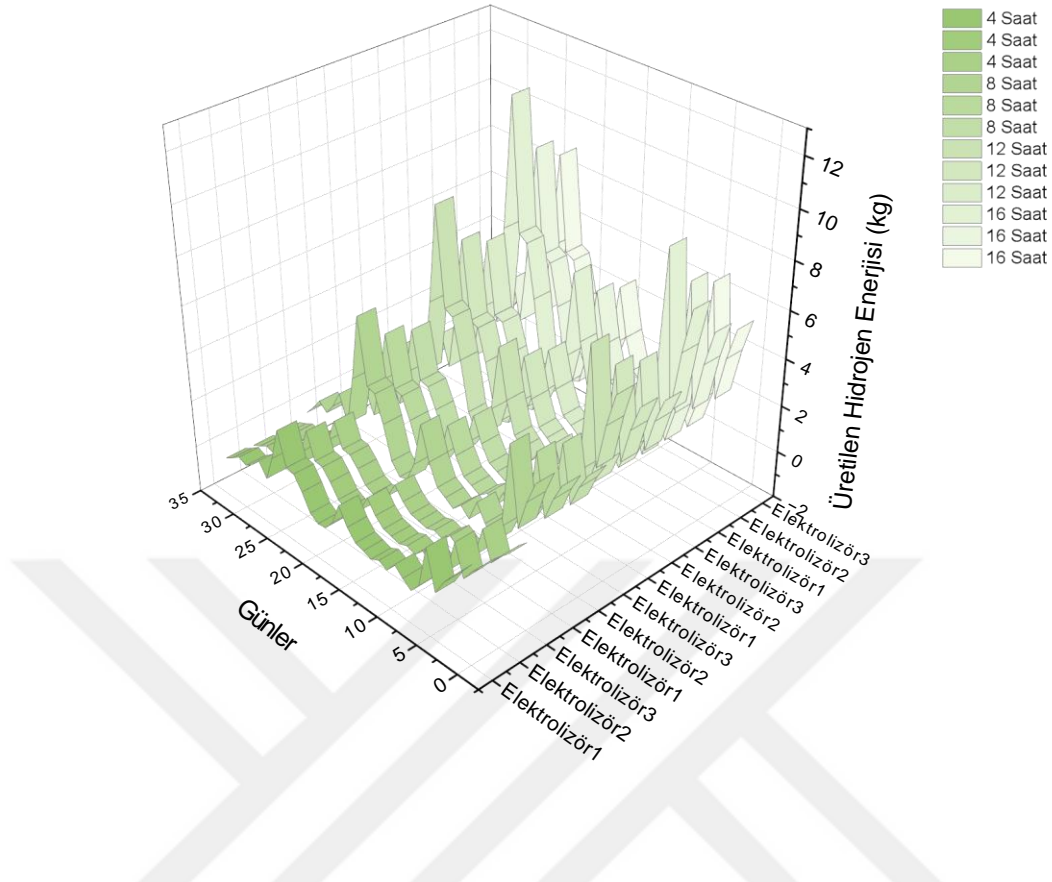
Genel olarak düşük rüzgar hızına sahip olan Mayıs ayında türbin gücü artsada üretilen hidrojen enerjisi miktarında fazla bir değişiklik olmamıştır. Ayın son günlerinde küçük bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması ile maksimum 6 kg civarında hidrojen enerjisi üretimini sağlamıştır. Türbinin 4, 8 ve 12 saat çalışması sonucu elektrolizör 2 ve 3'ün kullanılması ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarları ise 1 kg ve 2 kg arası, 3 kg ve 5 kg arası, 5 kg ve 7 kg arasında değişmektedir.



Şekil 59. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

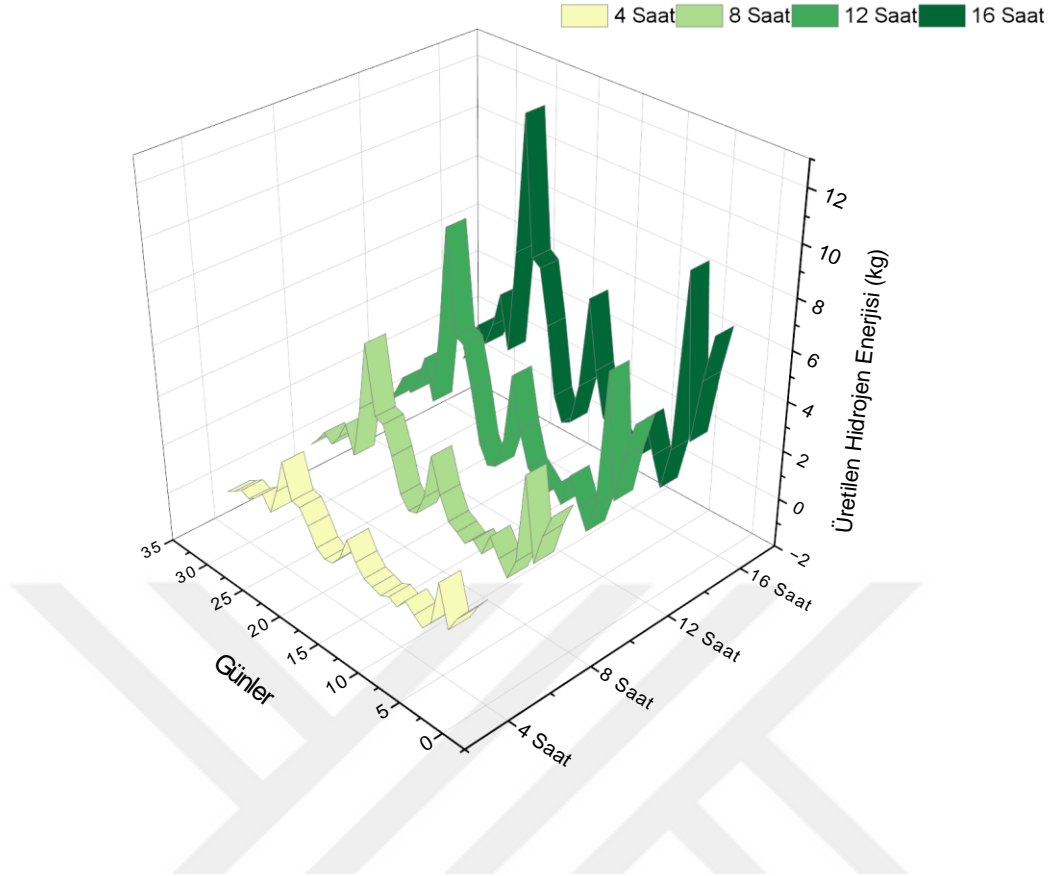
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mayıs ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 23. gününde rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 10 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 60. 6.5 MW Rüzgar Enerjisinden Mayıs Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Mayıs ayında en yüksek çalışma saati ve en verimli elektrolizör olan elektrolizör 1 ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarı 12 kg'dır. Genel olarak rüzgar hızının düşük olması düşük hidrojen enerjisi üretimine sebep olsada rüzgar türbini gücünün artması üretim miktarlarını azda olsa artırmıştır. En düşük hidrojen enerjisi miktarı elektrolizör 3 ile rüzgar hızının sıfırın altına düştüğü gün elde edilmiştir. Türbinin 4 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 2 kg ile 3 kg arasında, 8 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 4 kg ile 6 kg arasında, 12 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı ise 6 kg ile 9 kg arasında değişmektedir.

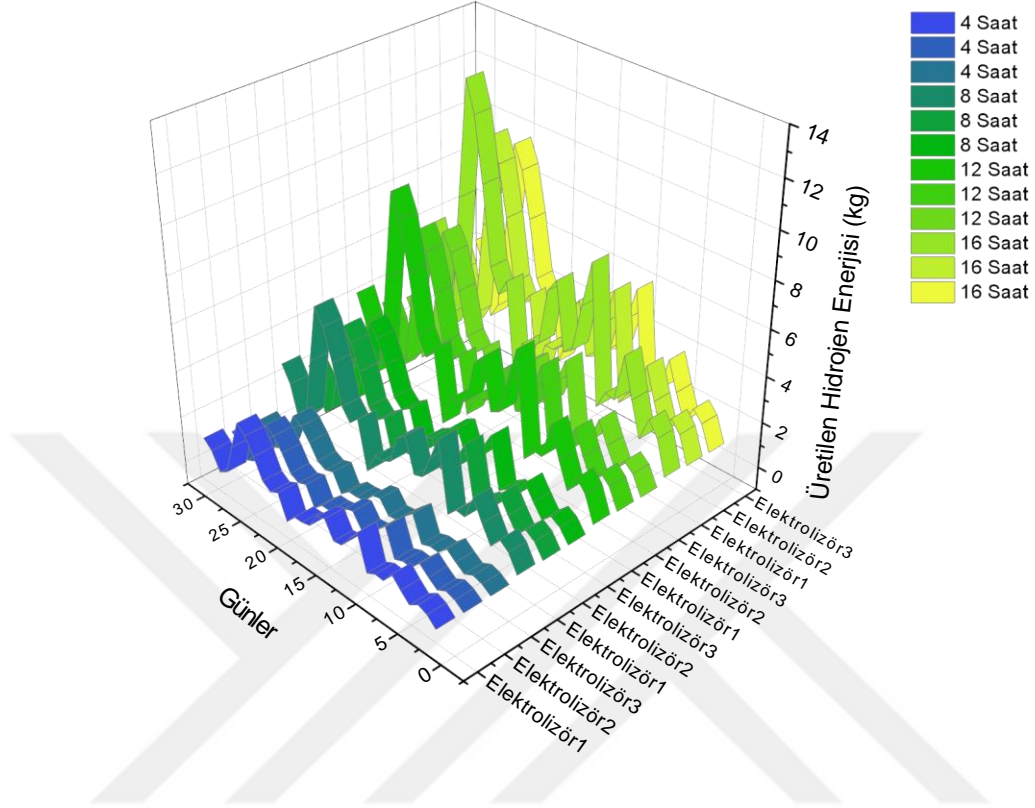


Şekil 61. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Mayıs Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Mayıs ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk 5 gününden sonra düşük olan rüzgar hızı 21. günden sonra artmış ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarında artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 12 kg'a çıkarmıştır.

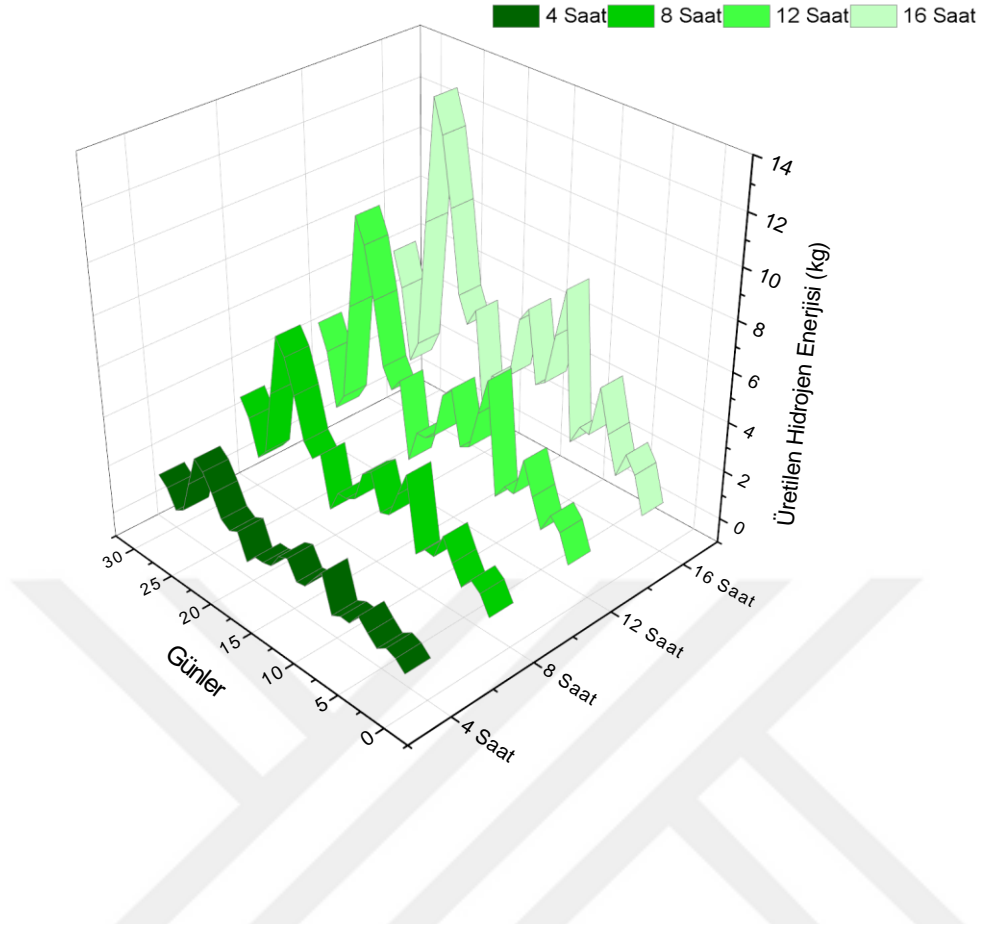
Haziran Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi

3.6 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 62. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

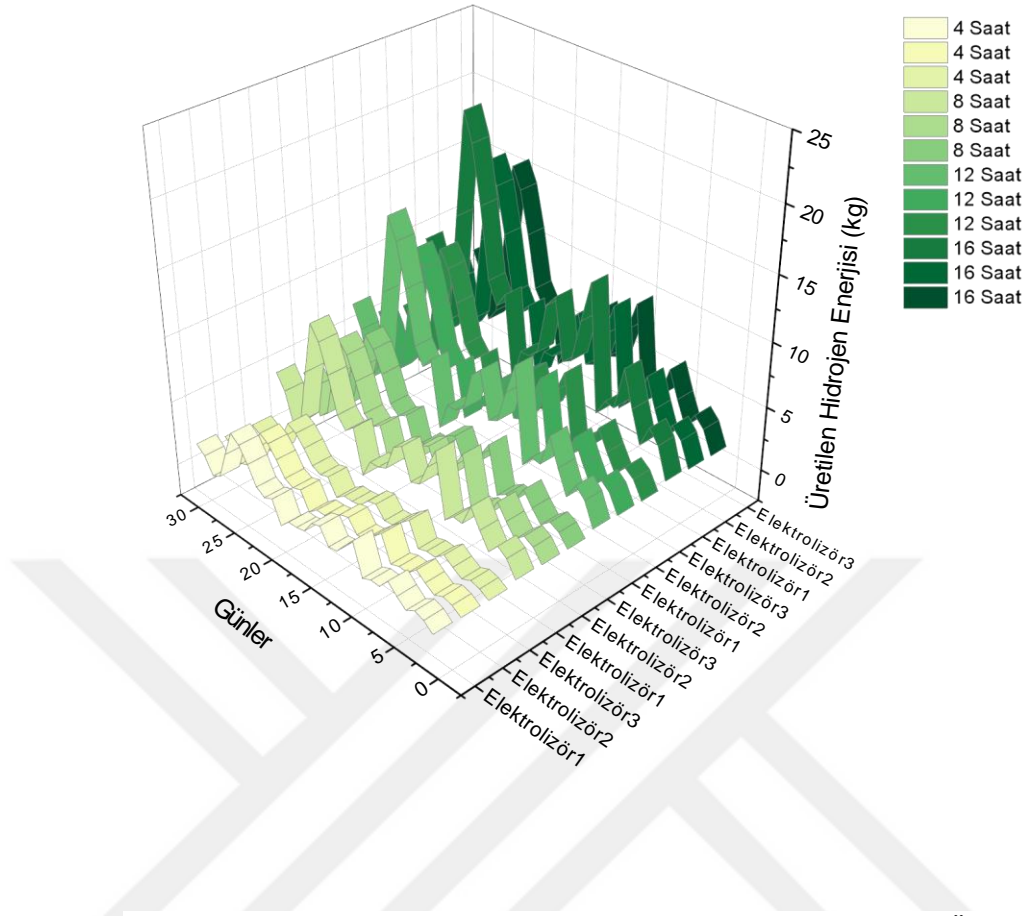
Haziran ayı genel olarak rüzgar hızının en yüksek olduğu aydır. Bu nedenle üretilen hidrojen enerjisi miktarlarında diğer aylara oranla oldukça yüksektir. Türbinin 4 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, ve 3 ile üretilen hidrojen enerjisi 2 kg, 2.5 kg ve 3 kg civarındadır. Türbinin çalışma saati arttıkça üretilen hidrojen enerjisi miktarı artacak ve 8 saat ile 12 saat çalışma sonucu elde edilen hidrojen enerjisi miktarı elektrolizör 2 ve 3'e göre ortalama 4 kg ile 7 kg ve 7 kg ile 10 kg arasındadır. Türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması ile en yüksek hidrojen enerjisi üretilmiştir ve 13 kg civarındadır.



Şekil 63. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

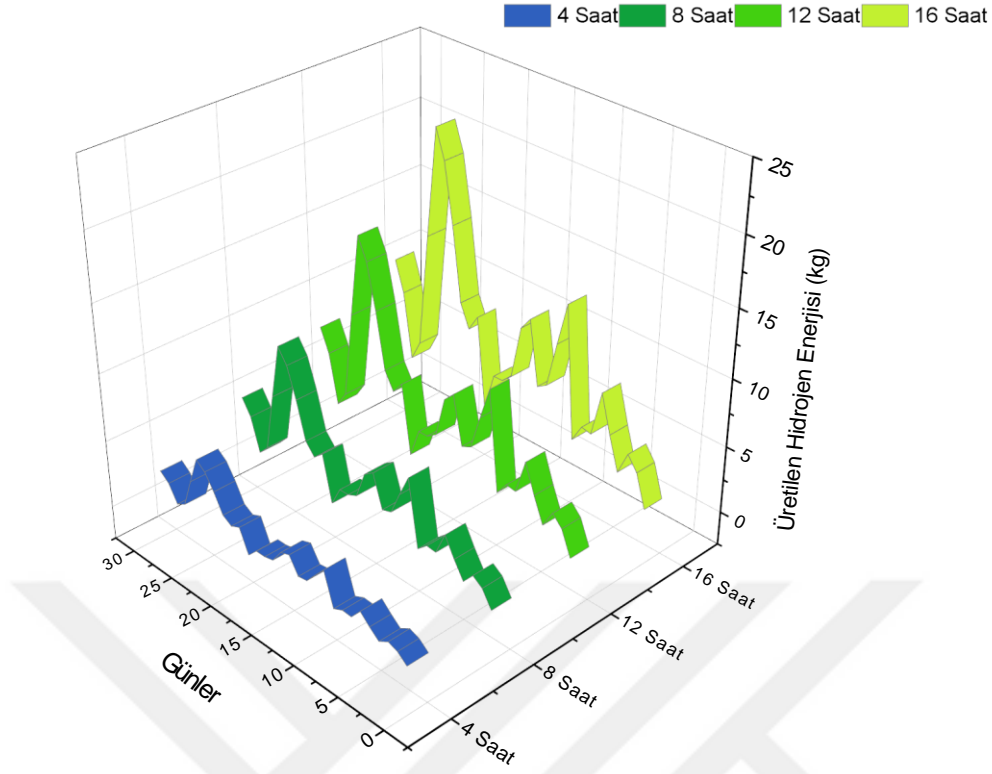
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Haziran ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk 5 gününden sonra üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 64. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

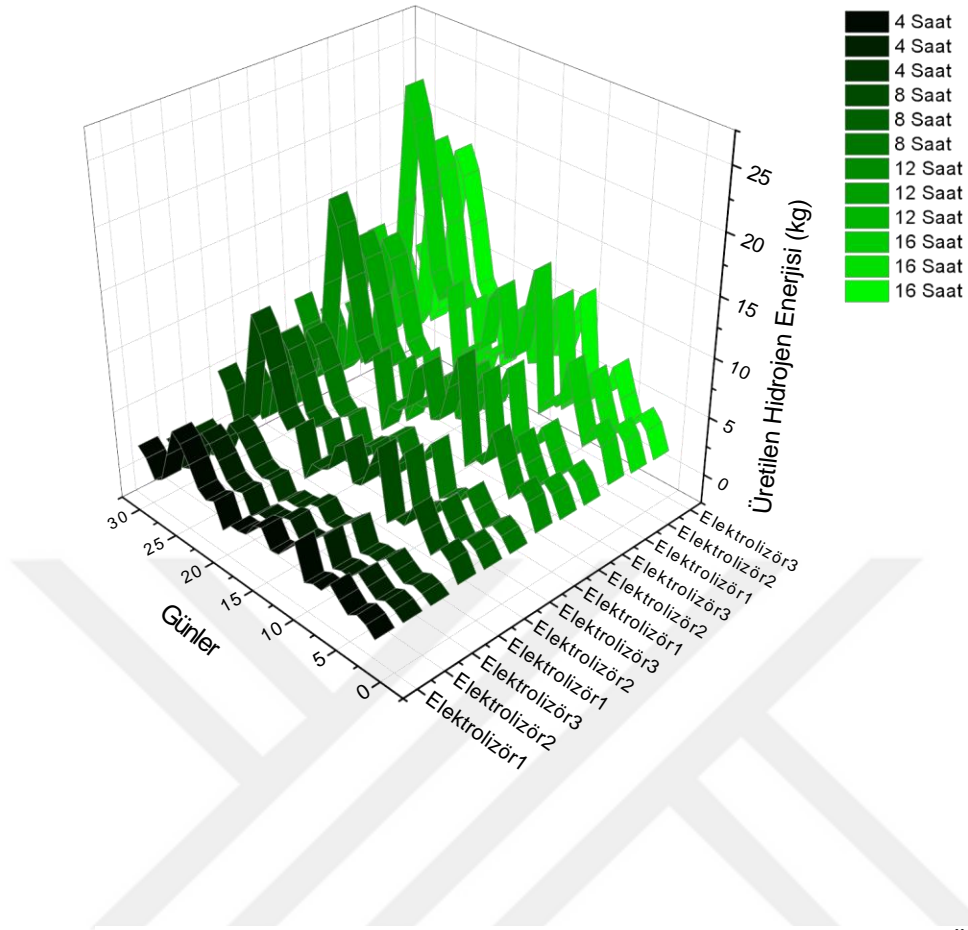
Ayın son 10 gününden sonra rüzgar hızının artması ile hidrojen enerjisi miktarında artmıştır. Grafikte görüldüğü gibi özellikle ayın 25. Günü en yüksek hidrojen enerjisi üretimi yapılan gündür. 25. Günde türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması sonucu ortalama 21 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarı ortalama olarak 15 ve 16 kg civarındadır. En düşük hidrojen enerjisi üretimi ise 4 saat çalışma ve elektrolizör 3 ile ayın ilk günlerinde olmuştur.



Şekil 65. 4.0 -4.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

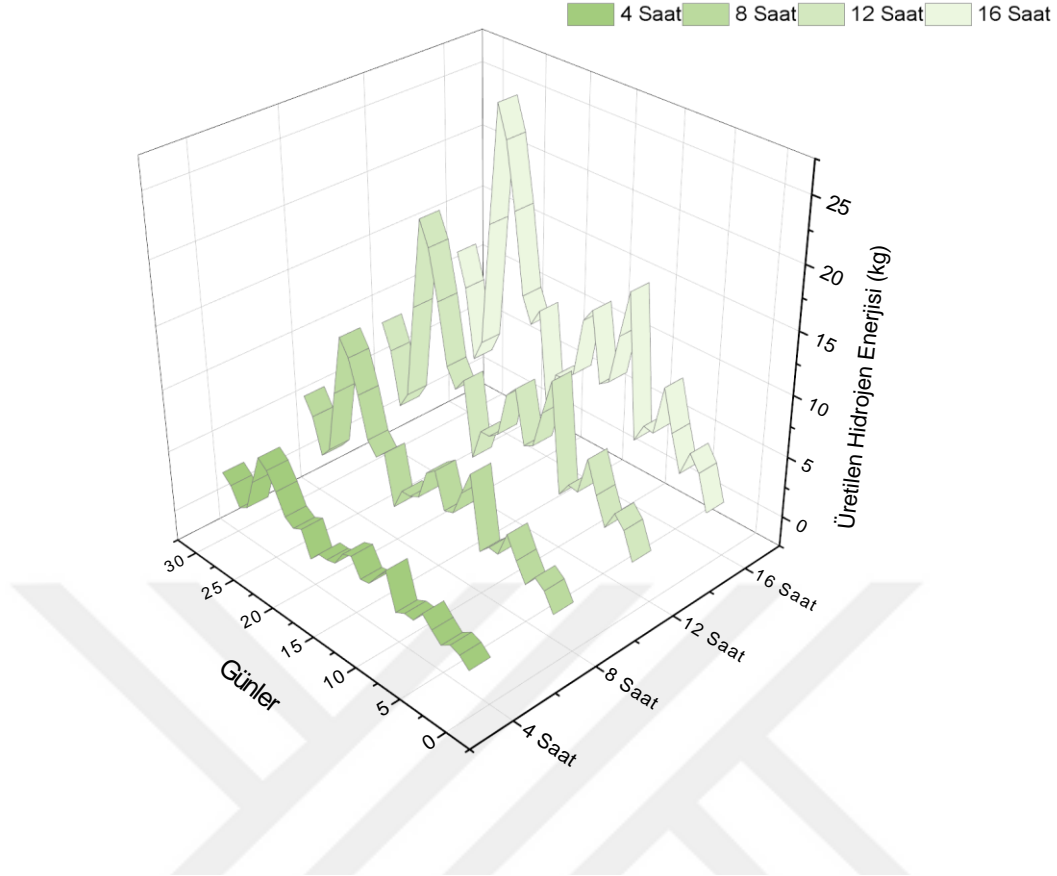
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Haziran ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 10. ve 20. Gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 21 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 66. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

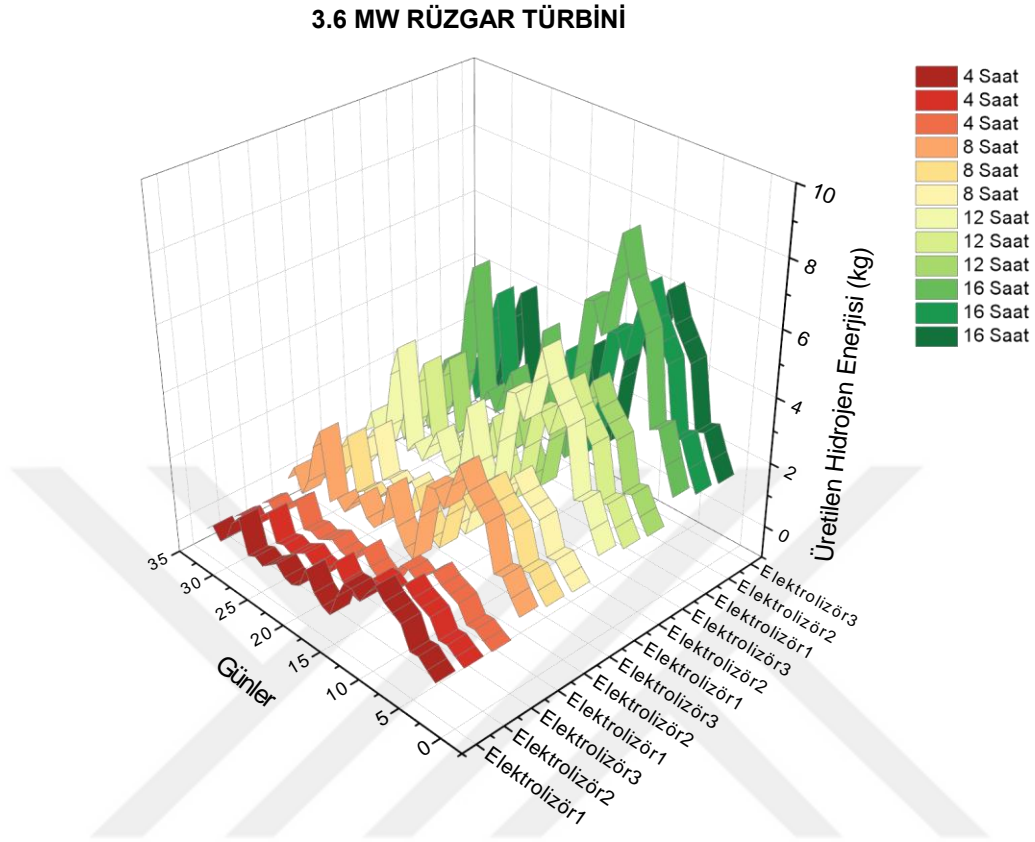
Grafikte görüldüğü gibi türbin gücünün 6.5 MW'a çıkması ile hidrojen enerjisi üretimleride aynı şekilde artmıştır. Haziran ayı genel olarak yüksek rüzgar hızına sahip olduğu için grafikte buna göre şekil almıştır. Ayın 24. günü en yüksek üretime ulaşılmıştır. Türbinin 4, 8, 12, 16 saat çalışması sonucu elektrolizör 1 ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarları sırasıyla yaklaşık olarak 6 kg, 12 kg, 17 kg ve 25 kg civarındadır. Yani en yüksek hidrojen enerjisi miktarı 25 kg civarındadır. Elektrolizör 2 ve 3'te ise bu değerler daha düşük ancak birbirine yakın seviyelerdedir.



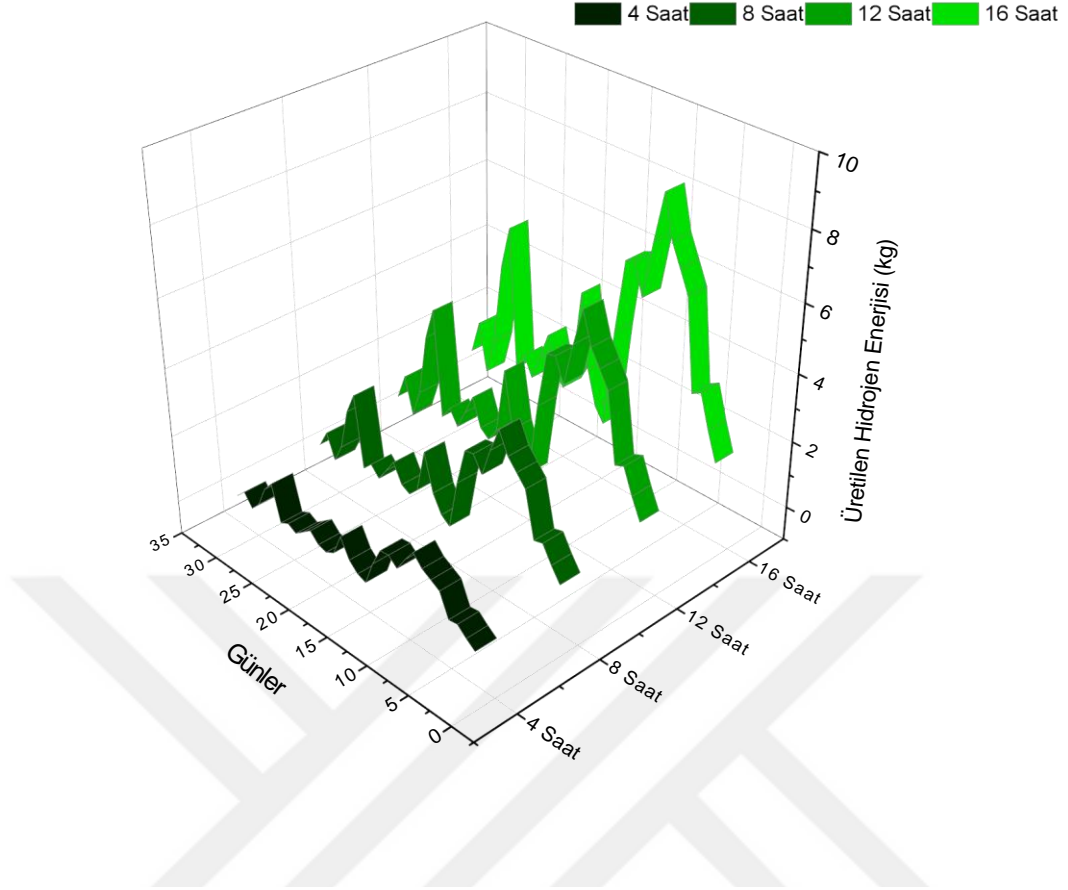
Şekil 67. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Haziran Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Haziran ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk 3 gününde düşük olan rüzgar hızı sonraki günlerde hemen hemen giderek artmış ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 25 kg'a çıkarmıştır.

Temmuz Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



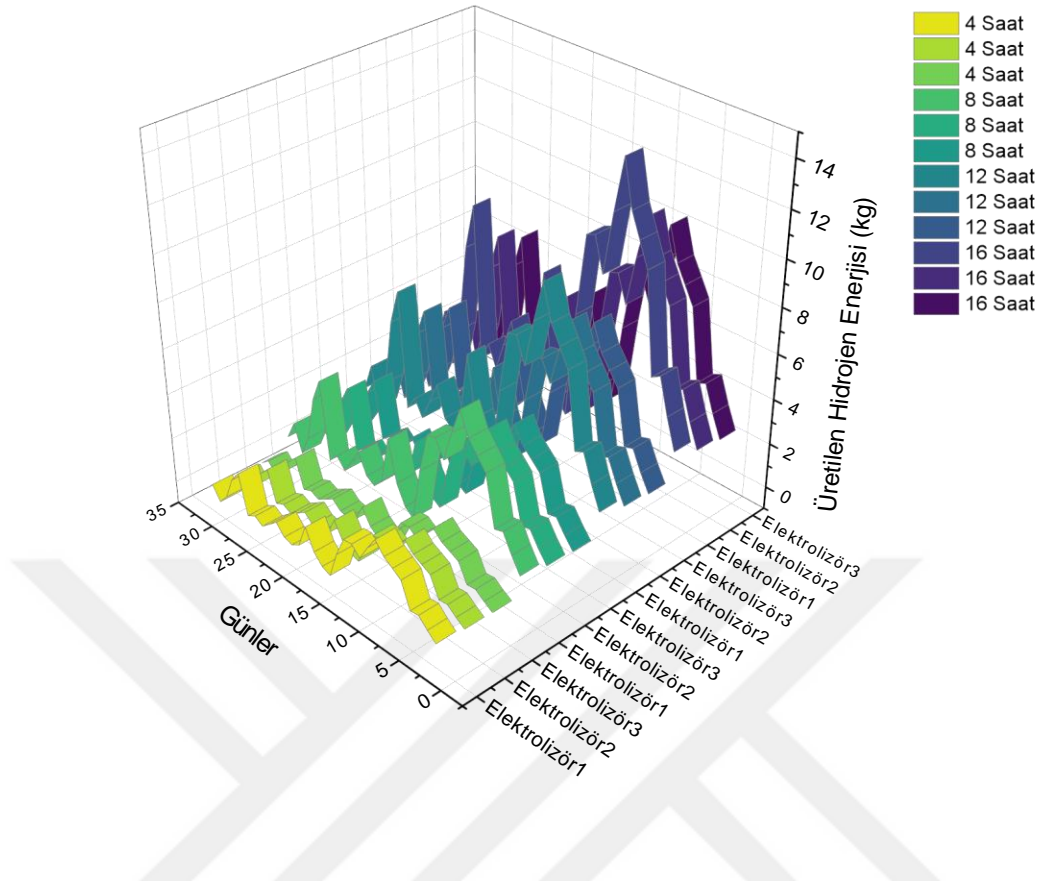
Temmuz ayında rüzgar hızı bazı günler fazla artarken bazı günler daha da düşmüştür. Özellikle ayın ilk günlerinde rüzgar hızının yüksek olduğu görülmektedir ve bu durum hidrojen enerjisi miktarını artırmıştır. Ayın 8. Günü tüm çalışma saatleri ve elektrolizörlerin kullanımını sonucu en yüksek hidrojen enerjisi üretiminin olduğu gündür. Türbinin 4 saat çalışması ve elektrolizör 1 ile en yüksek 2 kg civarında hidrojen enerjisi üretilmiştir. Buda en az çalışma saatinde üretilebilecek en yüksek hidrojen enerjisi miktarıdır.



Şekil 69. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

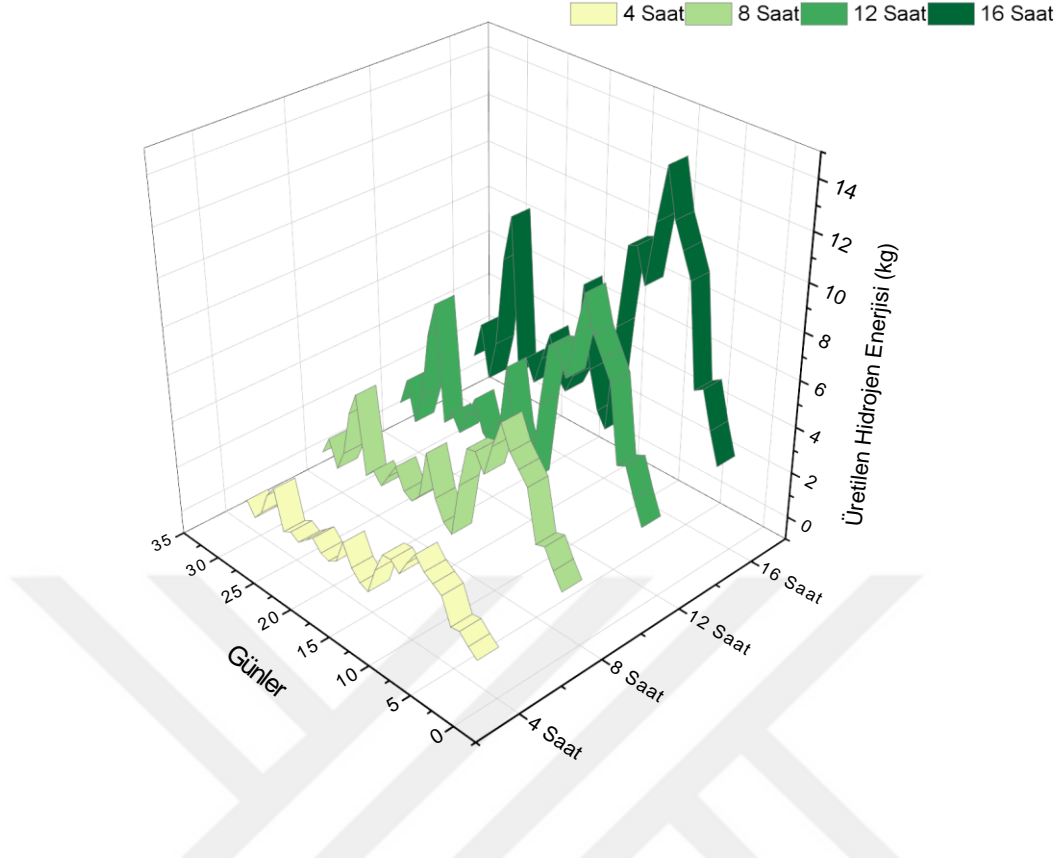
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Temmuz ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 5. ve 13. günleri arasında üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 70. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

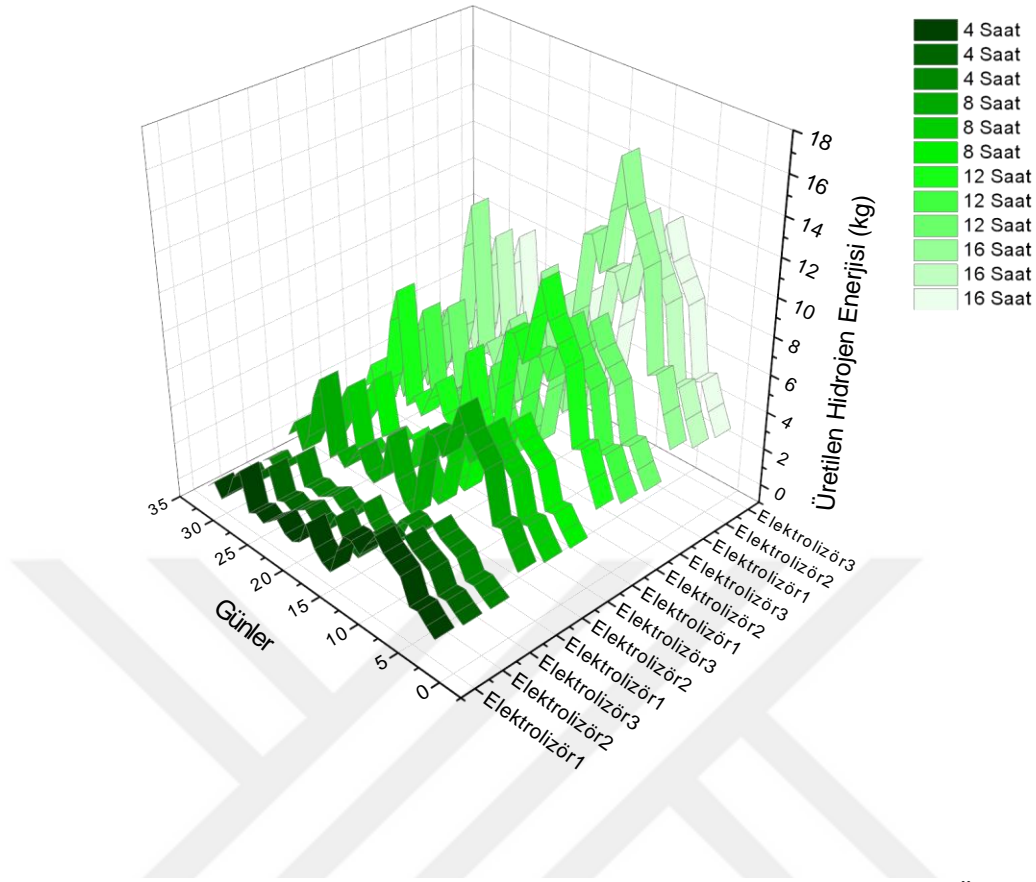
Rüzgar hızının yüksek olduğu ilk günlerde grafikte de görüldüğü gibi üretilen hidrojen enerjisi miktarı ortalama olarak 1 kg civarındadır. Ayın ortasına gelindikçe artan hidrojen enerjisi üretimi 8. Günde 14 kg seviyelerine çıkmıştır. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi türbinin 4 saat çalışması sonunda 2.5 ve 3 kg iken, 8 saat sonunda 5 ve 5.5 kg'a, 12 saat sonunda 7.5 kg ve 8 kg'a, 16 saat sonunda ise 10 kg ve 11 kg'a yükselmiştir.



Şekil 71. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

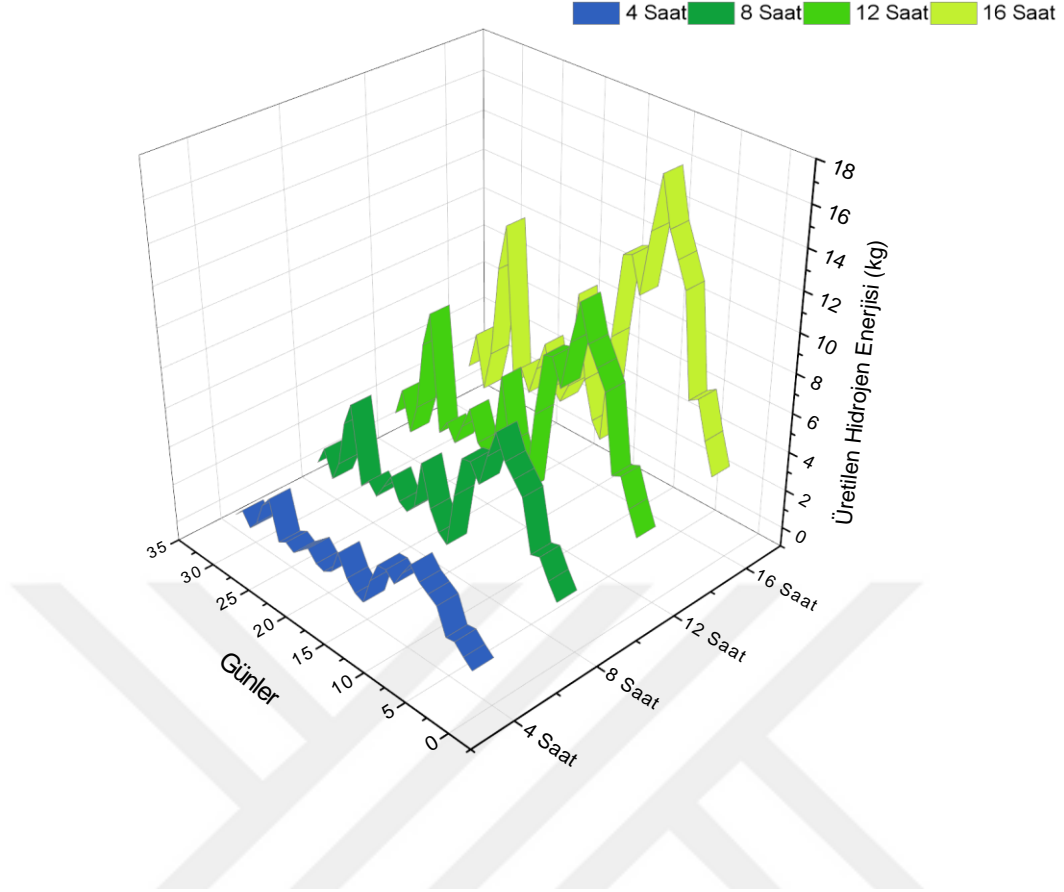
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Temmuz ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 5. gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 14 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 72. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

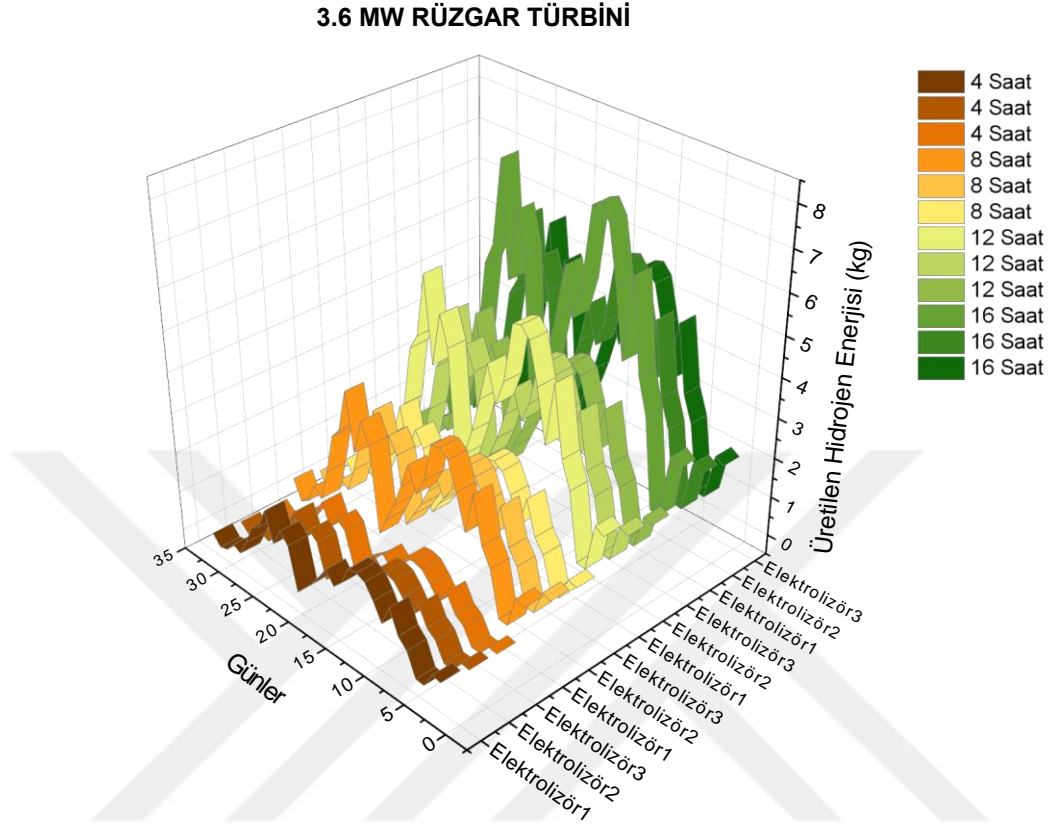
Grafikte görüldüğü gibi ayın 12. gününe kadar hidrojen enerjisi miktarı oldukça yüksek devam etmiştir. Sonrasında üretimde düşüş yaşansa da tekrar ayın son günlerinde bir artış olmuştur. Elektrolizör 1 ile en yüksek üretim türbinin 16 saat çalışması sonucu olmuştur ve yaklaşık 17 kg'dır. Türbin gücünün artması ile diğer çalışma saatlerindeki üretimlerde artmış ve 4, 8, 12 saat çalışma sonucu elektrolizör 1, 2, ve 3 ile sırasıyla en yüksek 3 kg, 3.5 kg, 4 kg, 6 kg, 6.5 kg, 8 kg, 9 kg, 10 kg, 12 kg civarında hidrojen enerjisi üretilmiştir.



Şekil 73. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Temmuz Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

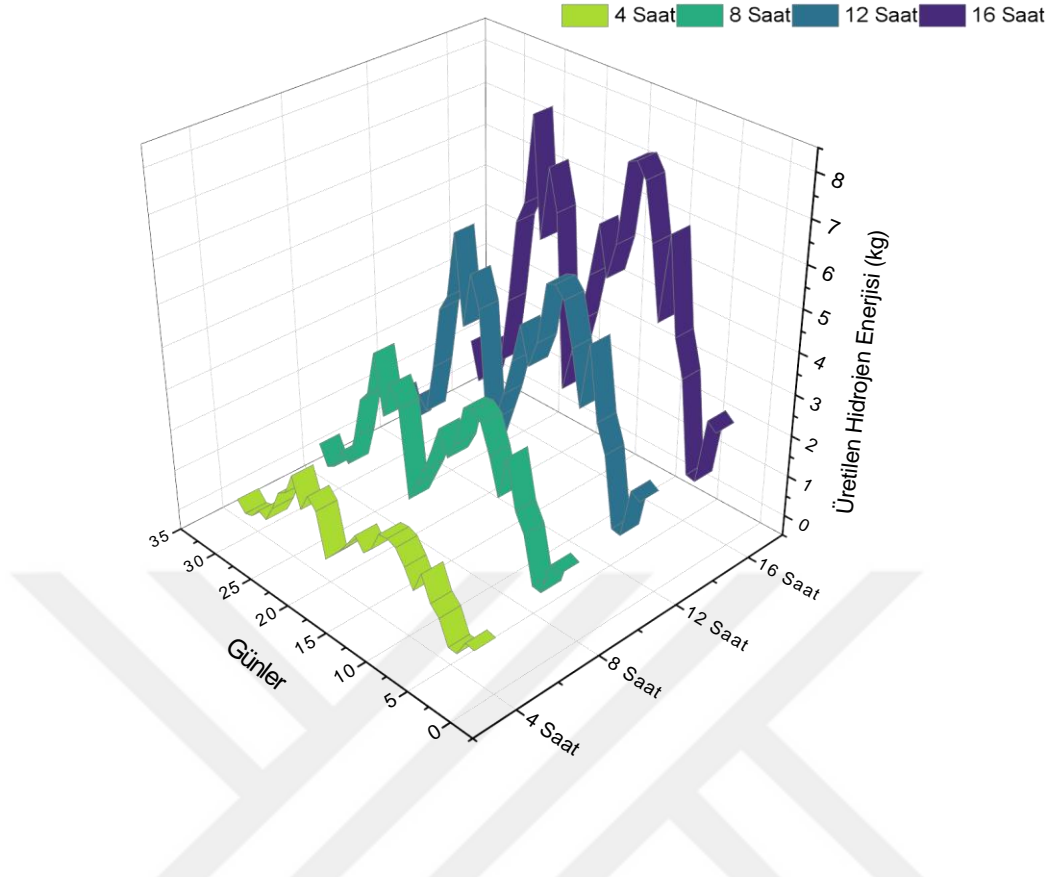
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Temmuz ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ortasında düşen rüzgar hızı ilk günlerde yüksektir. Buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarında yüksektir. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 17 kg'a çıkarmıştır.

Ağustos Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 74. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

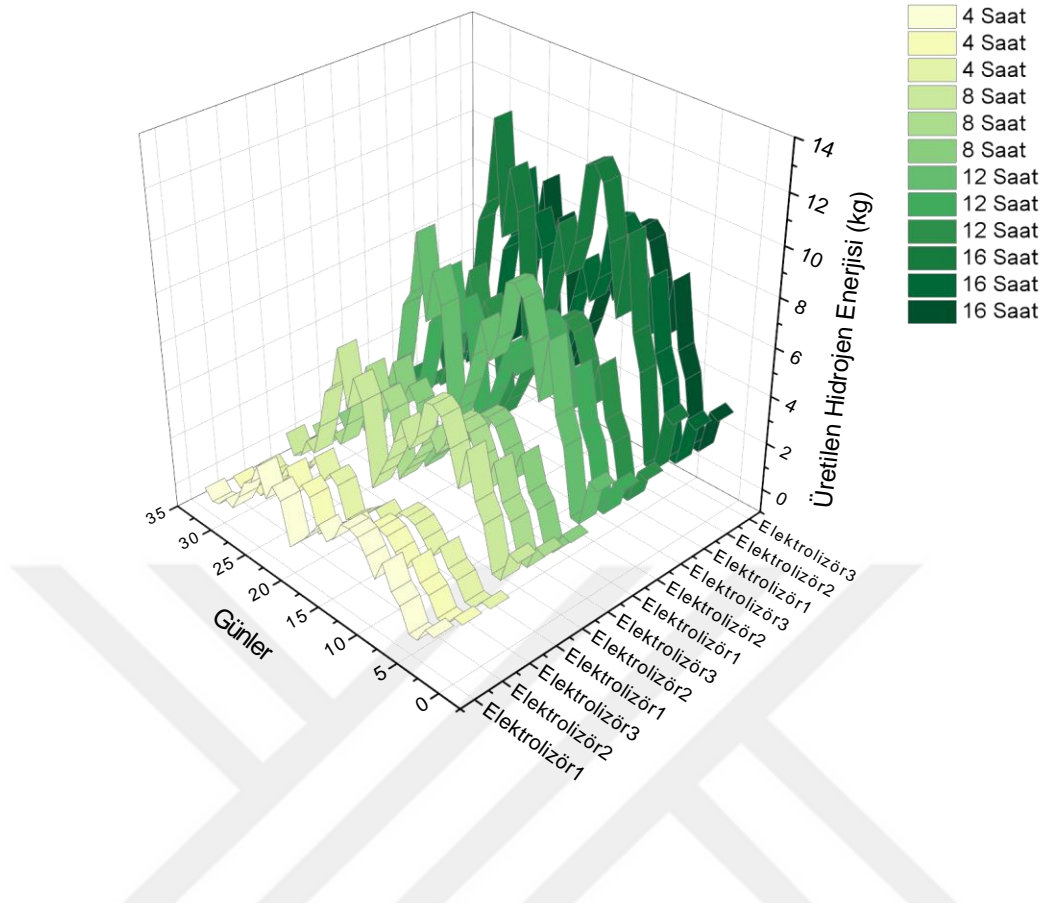
Ağustos ayında rüzgar hızı genel olarak durağan devam etmiş ve grafikte de görüldüğü gibi üretilen hidrojen enerjisi miktarı aynı seviyelerdedir. Ayın 11. ve 23. günlerinde diğer günlere oranla fazla bir artış olmuştur. Bu günlerde türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması ile en yüksek hidrojen enerjisi üretilmiş ve üretilen hidrojen enerjisi 7.5 kg ve 8 kg civarındadır.



Şekil 75. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

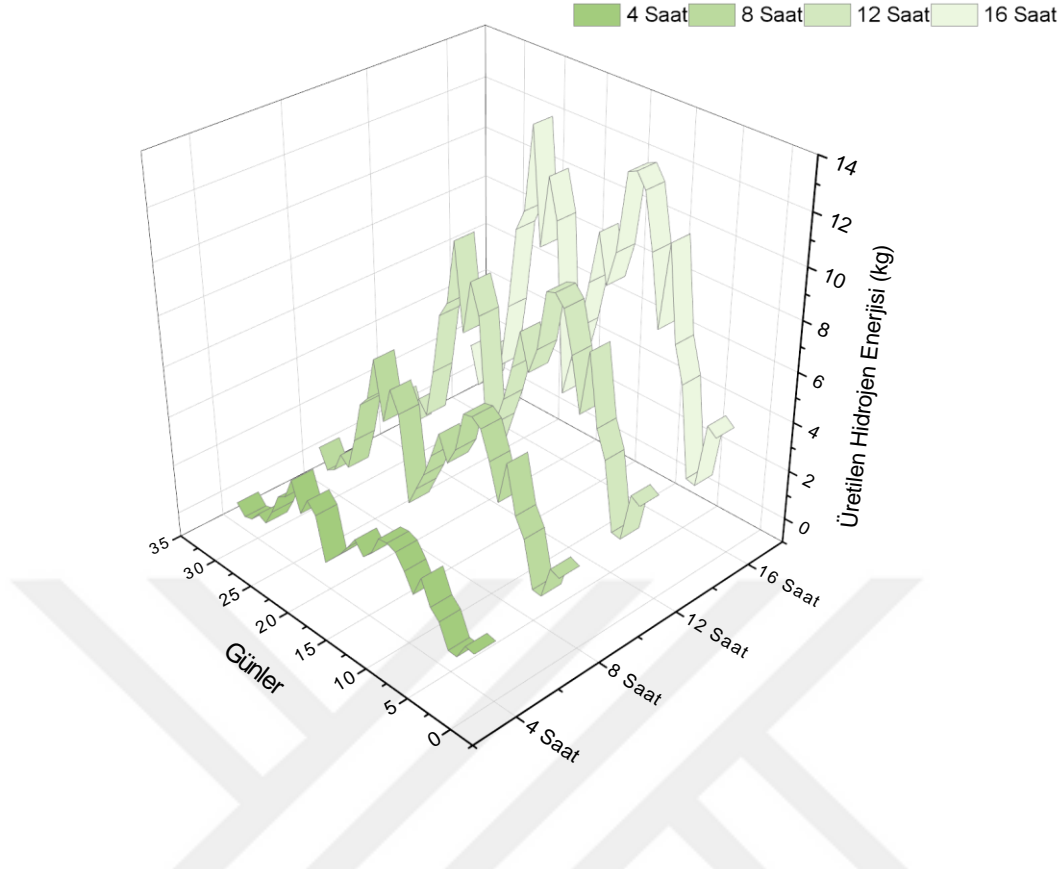
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Temmuz ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk 5 gününden sonra üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 76. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

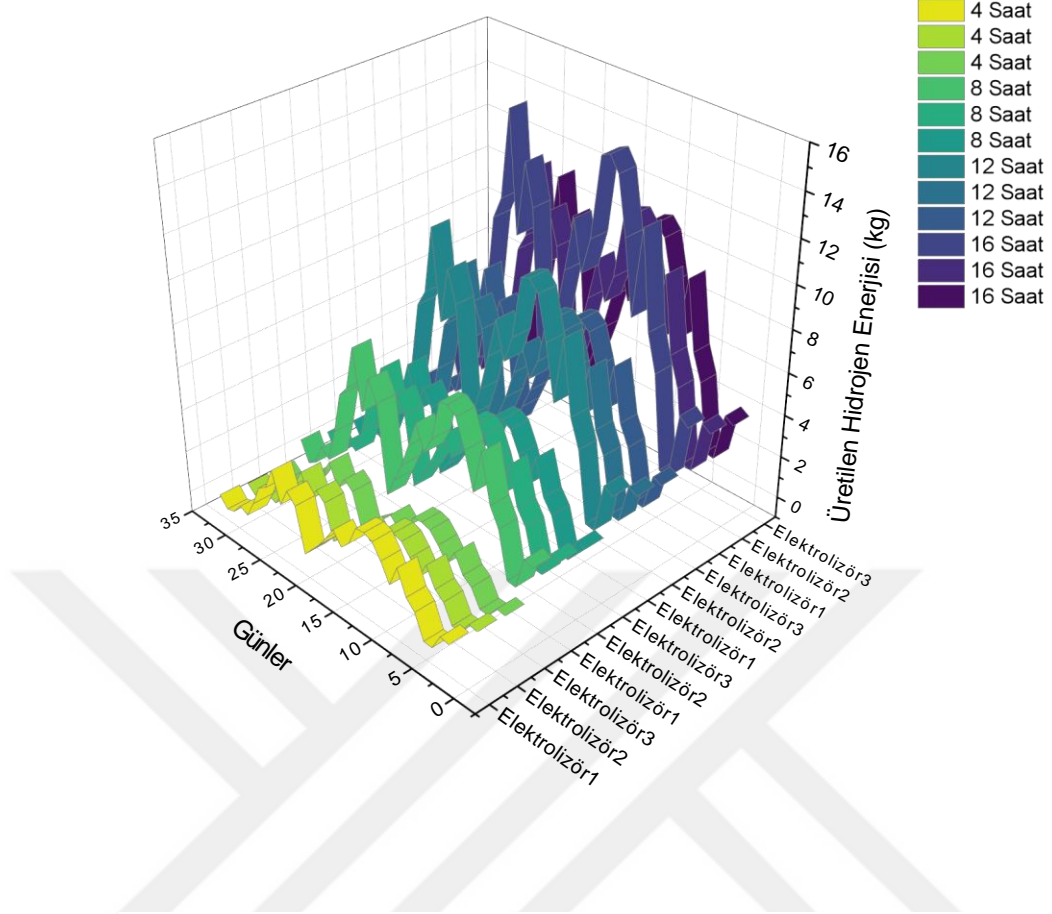
Grafikte görüldüğü üzere üretimin arttığı günlerde türbinin 4 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3'ün kullanılması sonucu ortalama 2 kg, 2.5 kg ve 3 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir. Türbinin 8 ve 12 saat çalışması ve elektrolizör 2 ve 3'ün kullanılması ile üretim artarak en yüksek 4.5 kg'dan 9.5 kg'a çıkmıştır.



Şekil 77. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

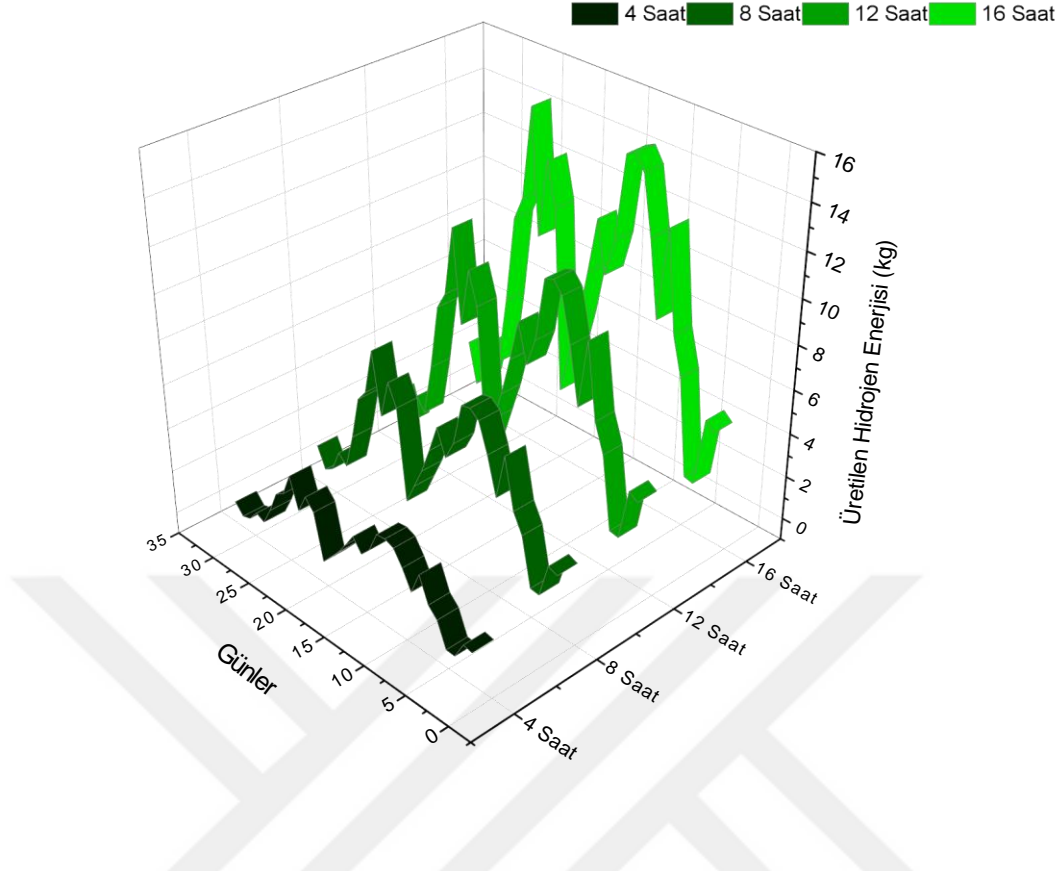
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ağustos ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 5. gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 13 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 78. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Hidrojen enerjisi üretimi ayın sonlarına doğru düşerken hem ayın başında hemde ortasında yüksek seviyededir. Özellikle ayın 5'i ve 17'si arasında tüm çalışma saatleri ve elektrolizörlerin kullanımı ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı yüksek seviyededir. Elektrolizör 1 ve türbinin 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi ayın 23'ünde 15 kg ile en yüksek seviyededir. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen maksimum hidrojen enerjisi 4 saatte 2.5 ile 3kg, 8 saatte 5.5 kg ile 6 kg, 12 saatte ise 8 kg ile 9 kg civarındadır.

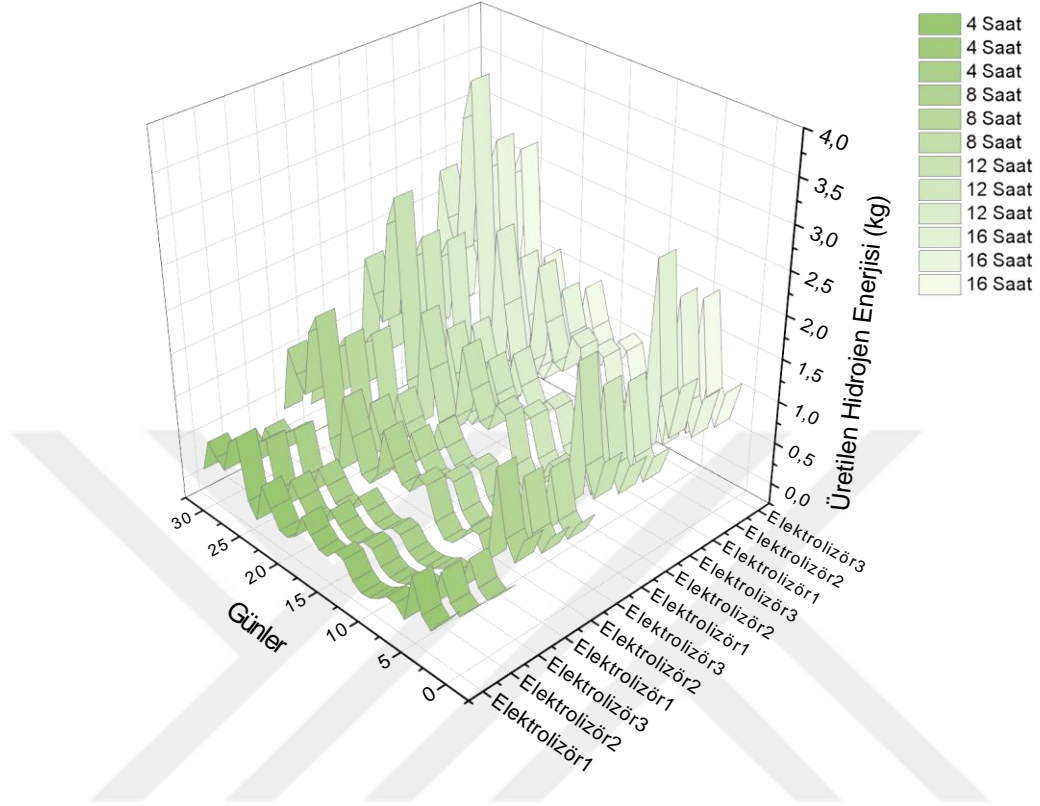


Şekil 79. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ağustos Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ağustos ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk günlerinde düşük olan rüzgar hızı 5. günden sonra yükselmiş ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarında yükselmiştir. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 15 kg'a çıkarmıştır.

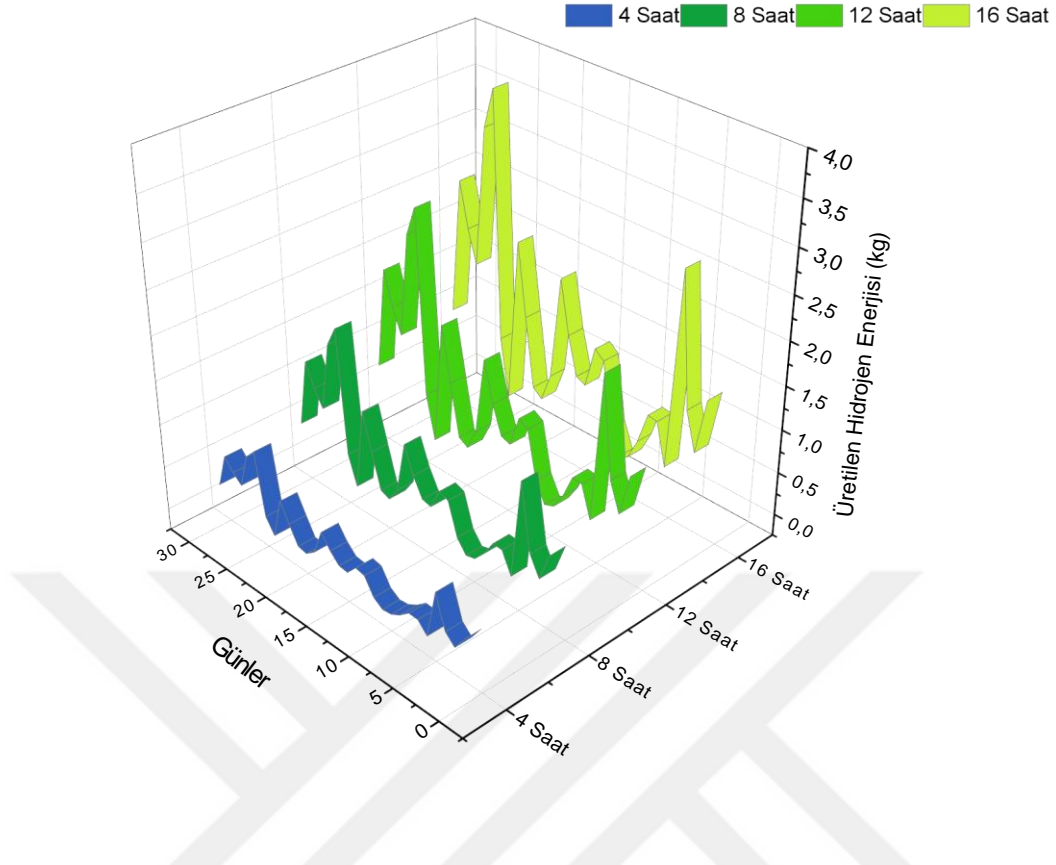
Eylül Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi

3.6 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 80. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

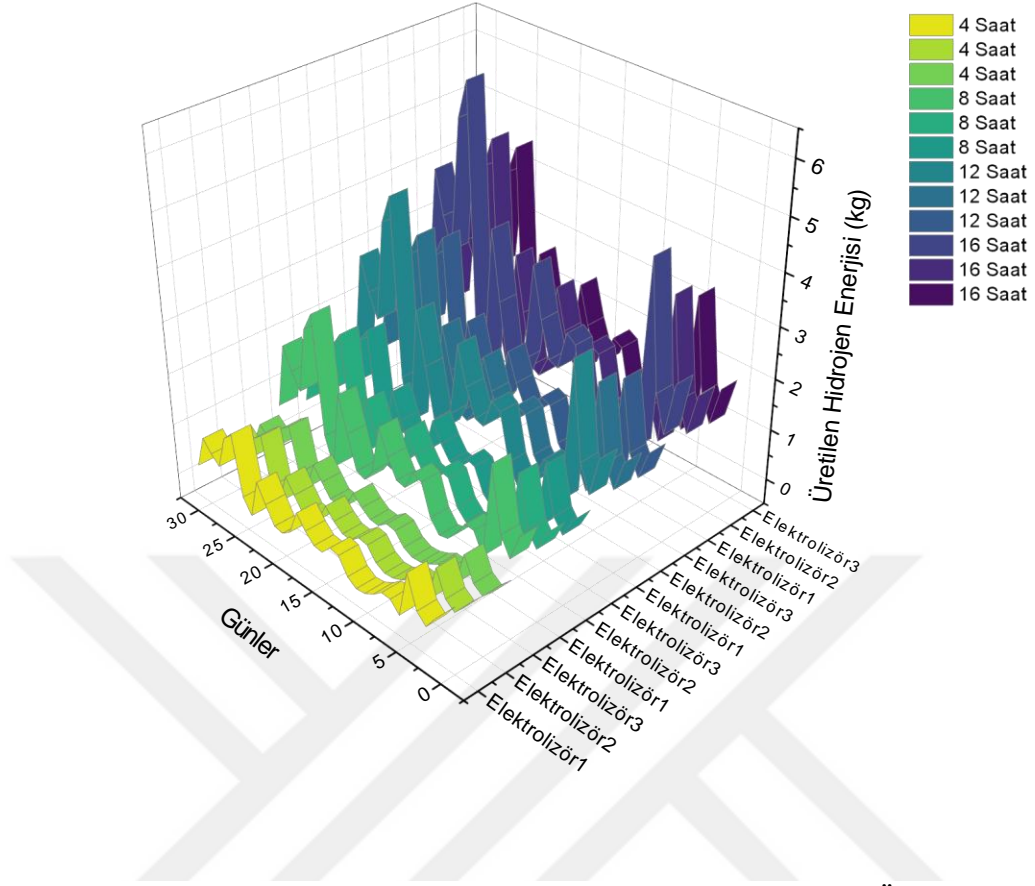
Eylül ayı rüzgar hızının ve buna bağlı olarak hidrojen enerjisi üretiminin en düşük olduğu ikinci aydır. Grafikte görüldüğü gibi ayın genelinde üretim düşük ve durağan şekilde ilerlemiştir. Ayın 4. ve 25. günlerinde üretim artarak en yüksek seviyeye çıkmıştır. Türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması sonucu maksimum 4 kg civarında hidrojen elde edilmiştir. Bu değer çalışma saati 12 iken 3 kg, 8 saat iken 2 kg, 4 saat iken 1 kg'a düşmektedir.



Şekil 81. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

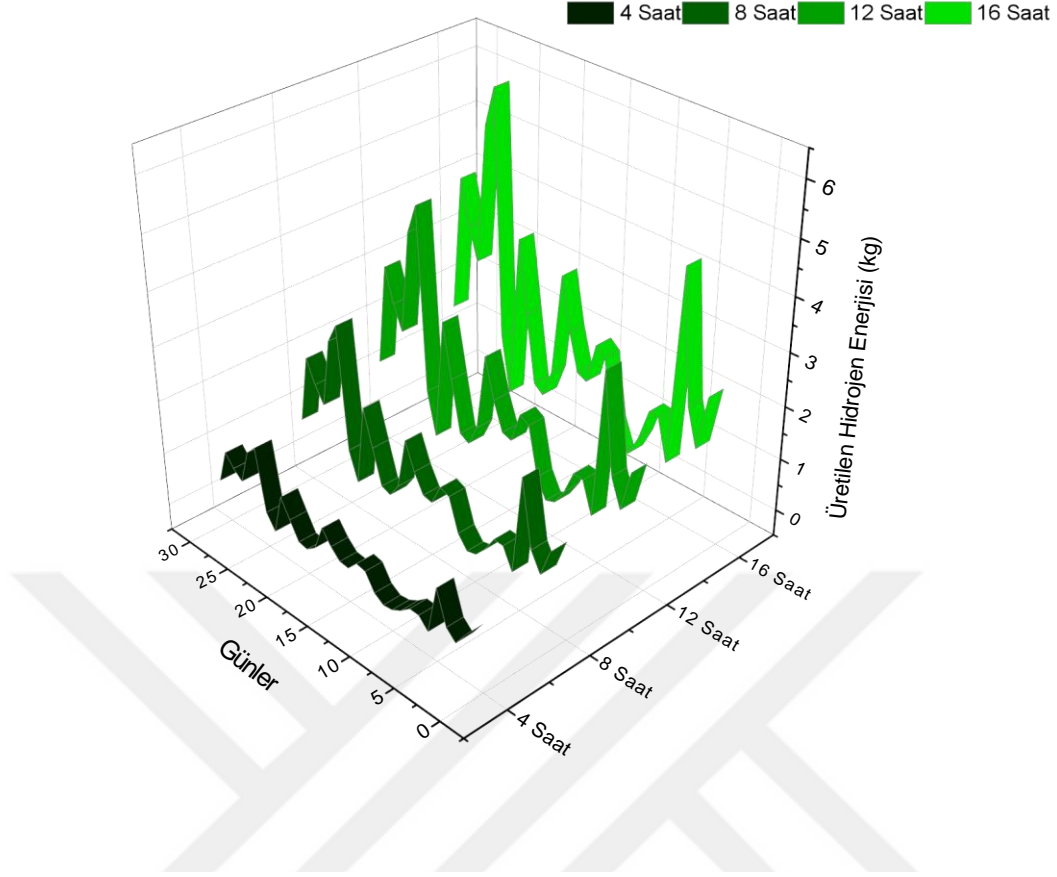
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Eylül ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 25. gününden sonra üretilen hidrojen enerjisi miktarı artmaktadır. Aynı zamanda türbinin çalışma saatinin artmasında üretimi artırmıştır.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 82. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

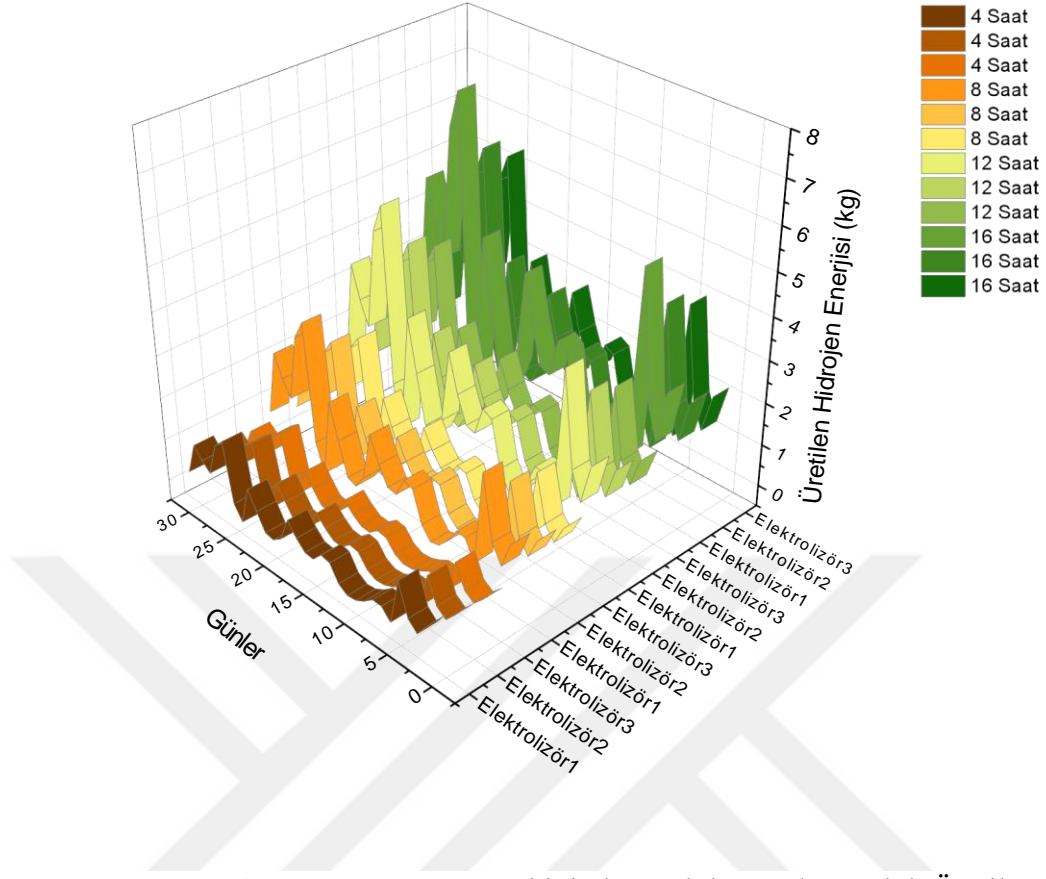
Türbinin 4 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 1 kg ile 1.5 kg arasında, 8 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 2 kg ile 3 kg arasında, 12 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 3.5 kg ile 4.5 kg arasında, 16 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı ise 4.5 kg ile 6 kg arasında değişmektedir.



Şekil 83. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

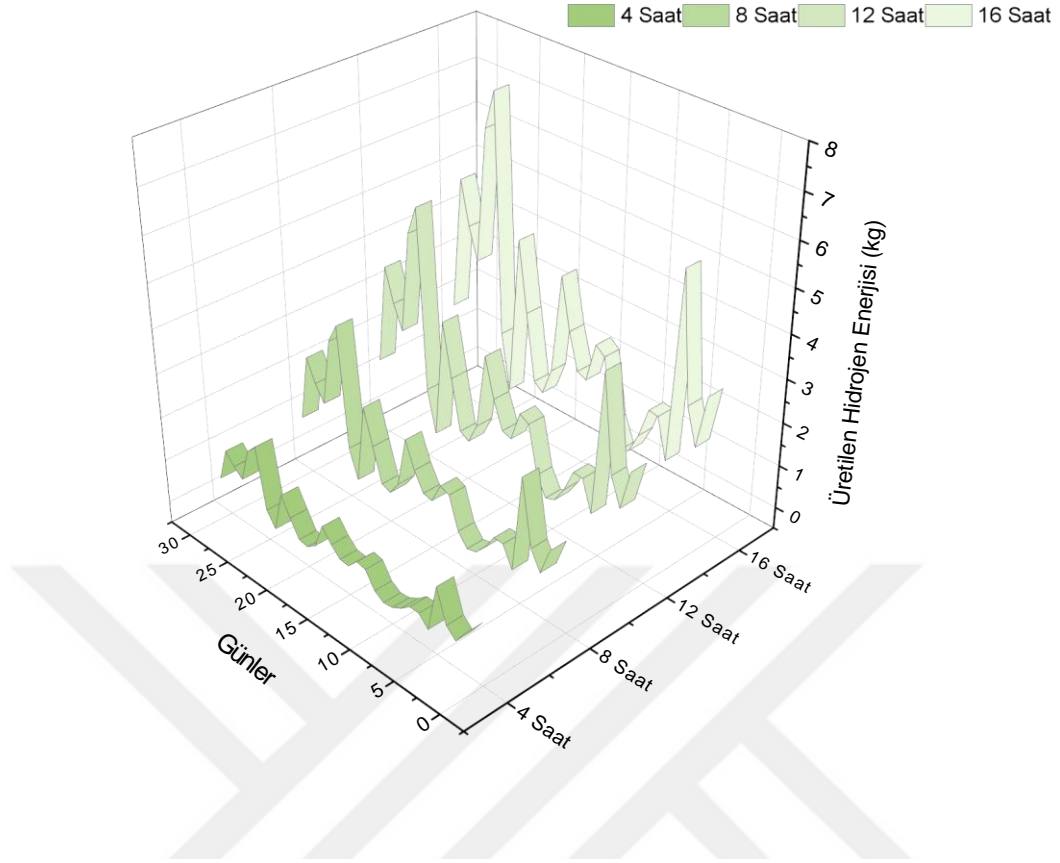
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Eylül ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Özellikle ayın 25. gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde artış görülmüştür ve en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 6 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 84. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

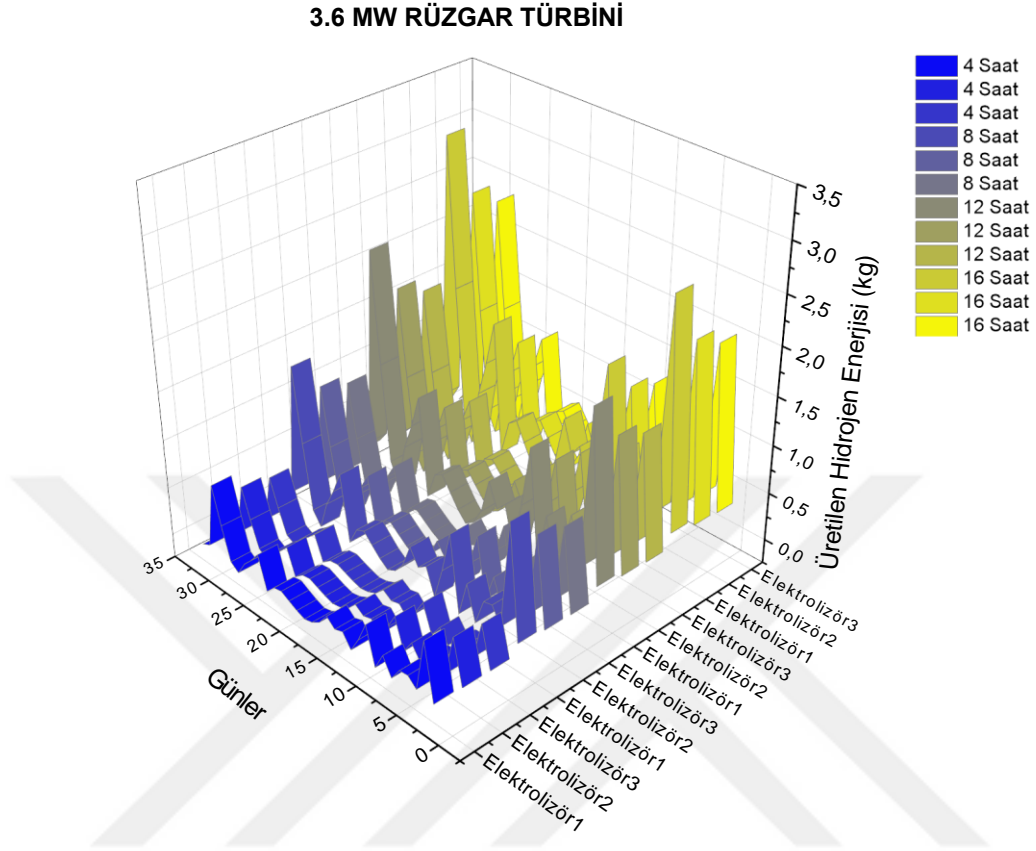
Grafikte görüldüğü gibi Eylül ayında üretim genel olarak düşüktür. Türbin gücü artması ile hidrojen enerjisi üretimi diğer türbinlere göre azda olsa artmıştır. Bu bağlamda rüzgar türbininin 16 saat çalışması sonucu elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı en yüksek seviyede ve 7.5 kg civarındadır. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 4 saatte 1 kg ile 1.5 kg arasında, 8 saatte 2.5 kg ile 3 kg arasında, 12 saatte ise 4 kg ile 4.5 kg arasındadır.



Şekil 85. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Eylül Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

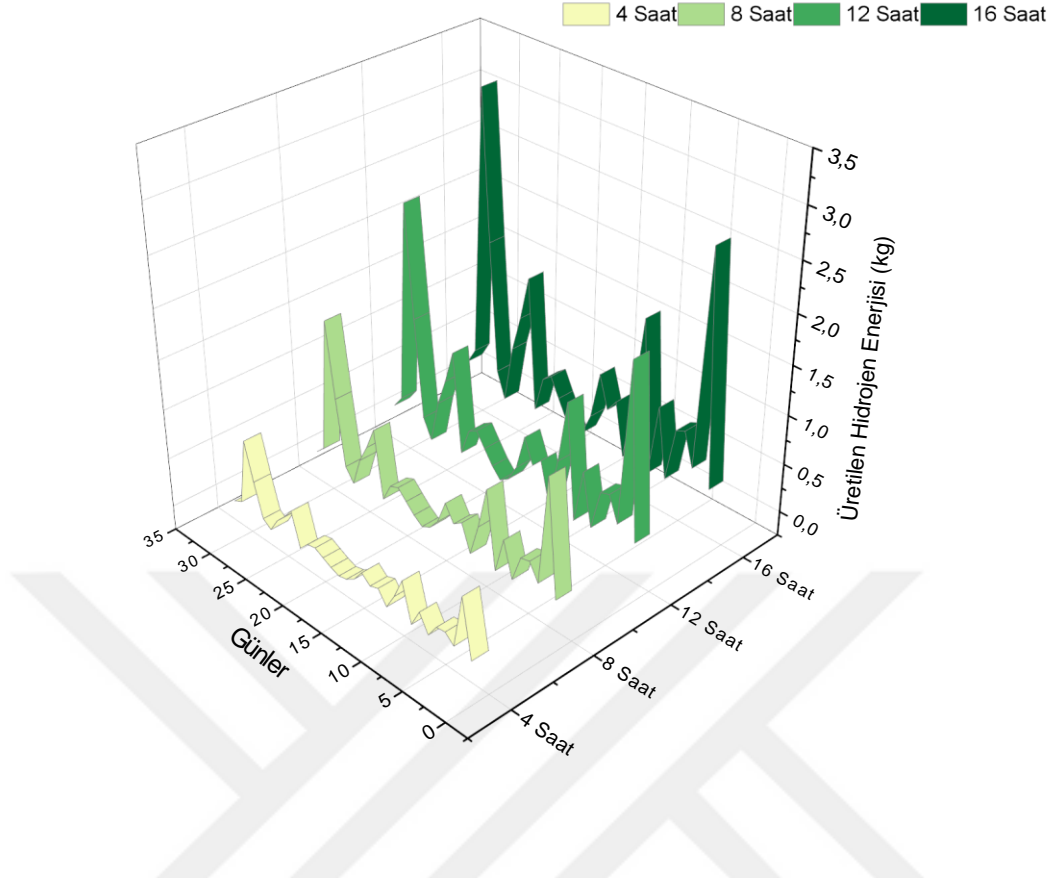
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Eylül ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Genel olarak ayın tüm günlerinde düşük olan rüzgar hızı 25. günden sonra yükselmiş ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarında yükselmiştir. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 7 kg'a çıkarmıştır.

Ekim Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 86. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

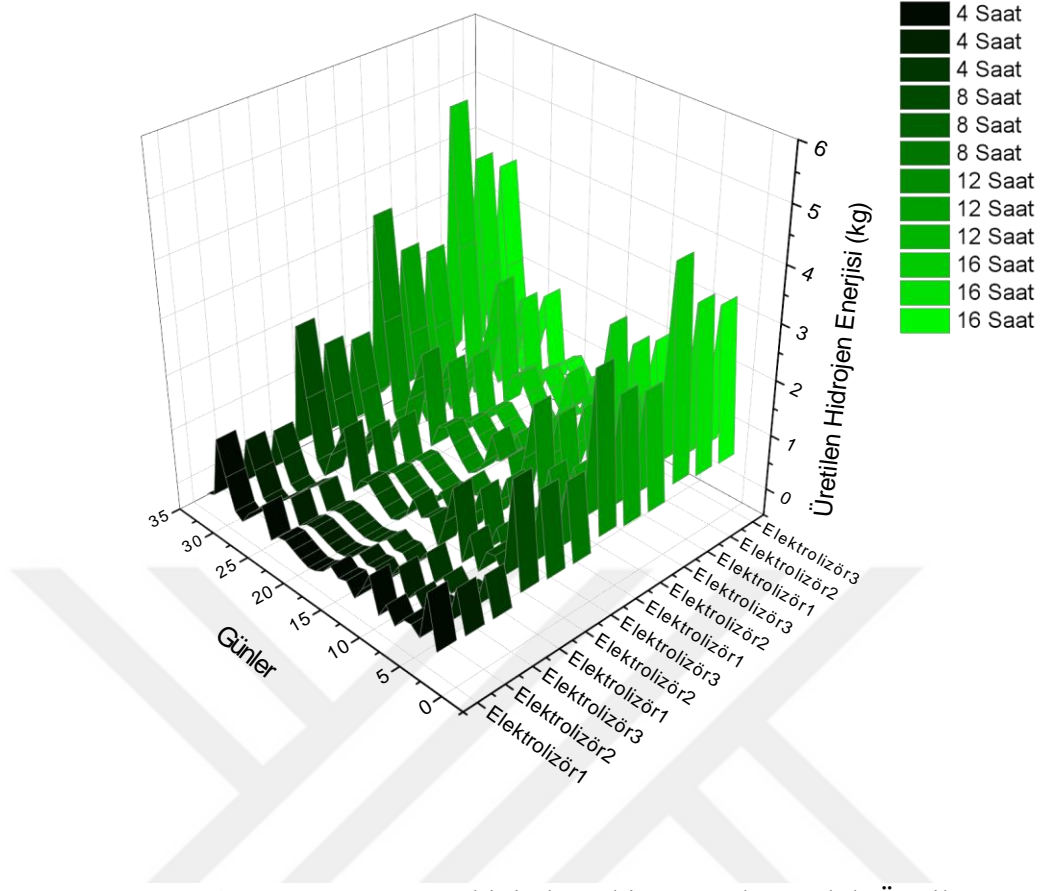
Rüzgar hızının düşük olması sebebi ile üretimin düşük olduğu bir diğer ay Ekim ayıdır. Ayın 2. ve 29. günlerinde rüzgar hızının diğer günlere oranla yüksek olması ile hidrojen enerjisi üretiminde artmıştır. Türbinin 4 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile çalışması sonucu en yüksek hidrojen enerjisi üretimi yaklaşık olarak 1 kg civarındadır. 8 saat çalışma sonucu 1.5 kg, 12 saat çalışma sonucu 2.5 kg, 16 saat çalışma sonucu ise 3.5 kg civarındadır.



Şekil 87. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

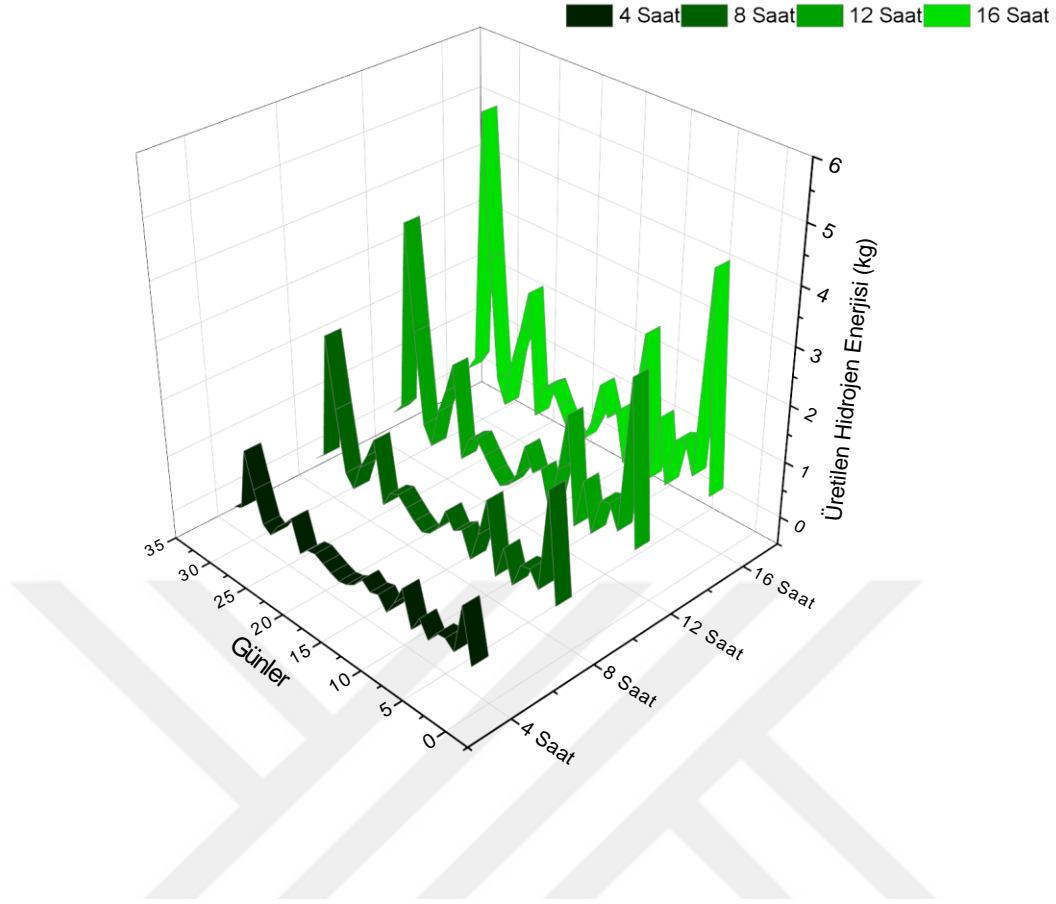
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ekim ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 2. gününden sonra üretilen hidrojen enerjisi miktarı genel olarak düşmektedir. Ayın 29. gününde diğer günlere oranla bir artış görülmektedir.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 88. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

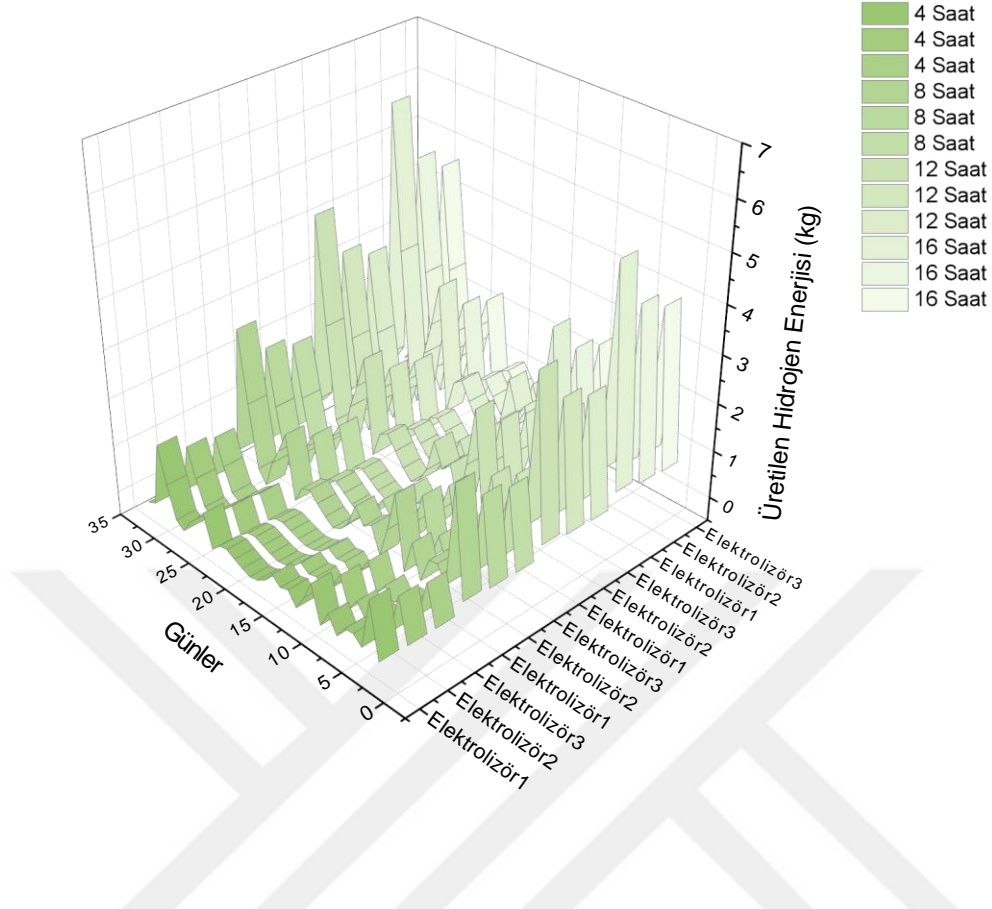
Elektrolizör 1, 2, ve 3 ile 4 saat çalışma sonucu yaklaşık olarak 1 kg ile 1.5 kg arası, 8 saat çalışması sonucu yaklaşık olarak 2 kg ile 2.5 kg arasında, 12 saat çalışması sonucu yaklaşık olarak 3 kg ile 4 kg arasında ve 16 saat çalışma sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı 4 kg ve 5 kg arasında değişmektedir.



Şekil 89. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

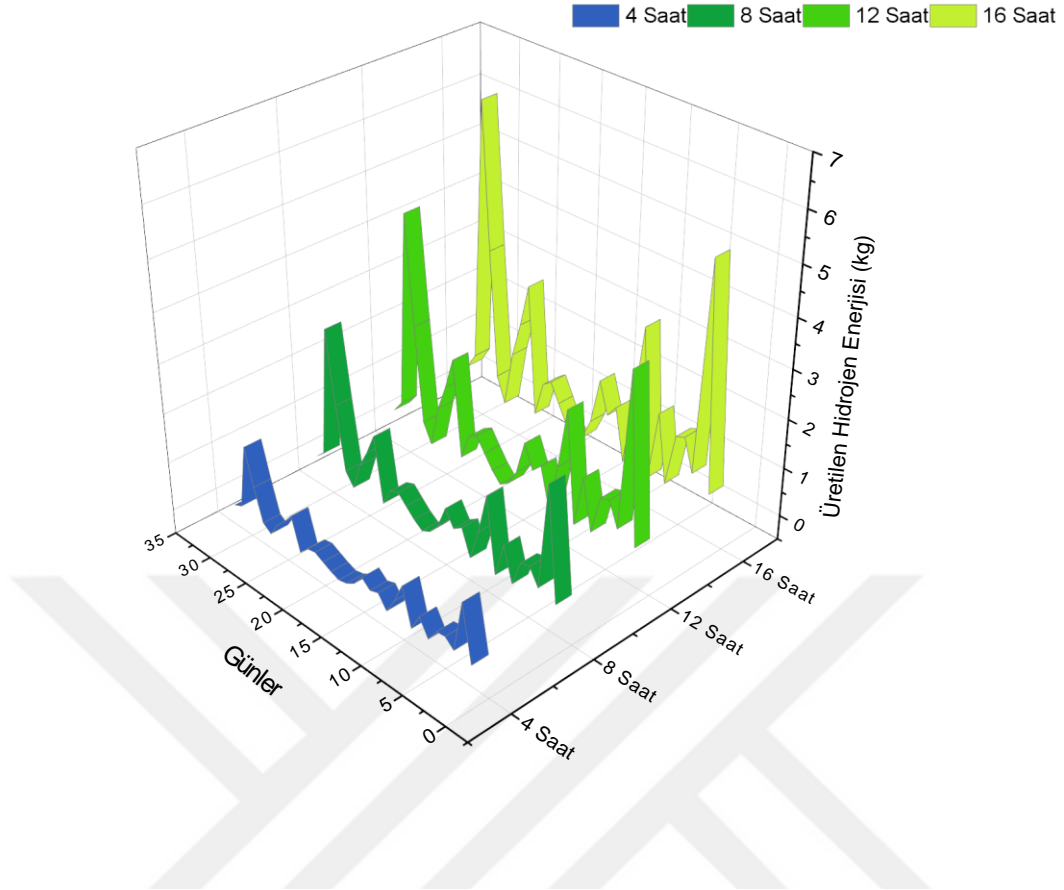
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ekim ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 2. gününden sonra rüzgar hızındaki değişiklikler sonucu üretimde düşüş görülmüştür. en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 5 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 90. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

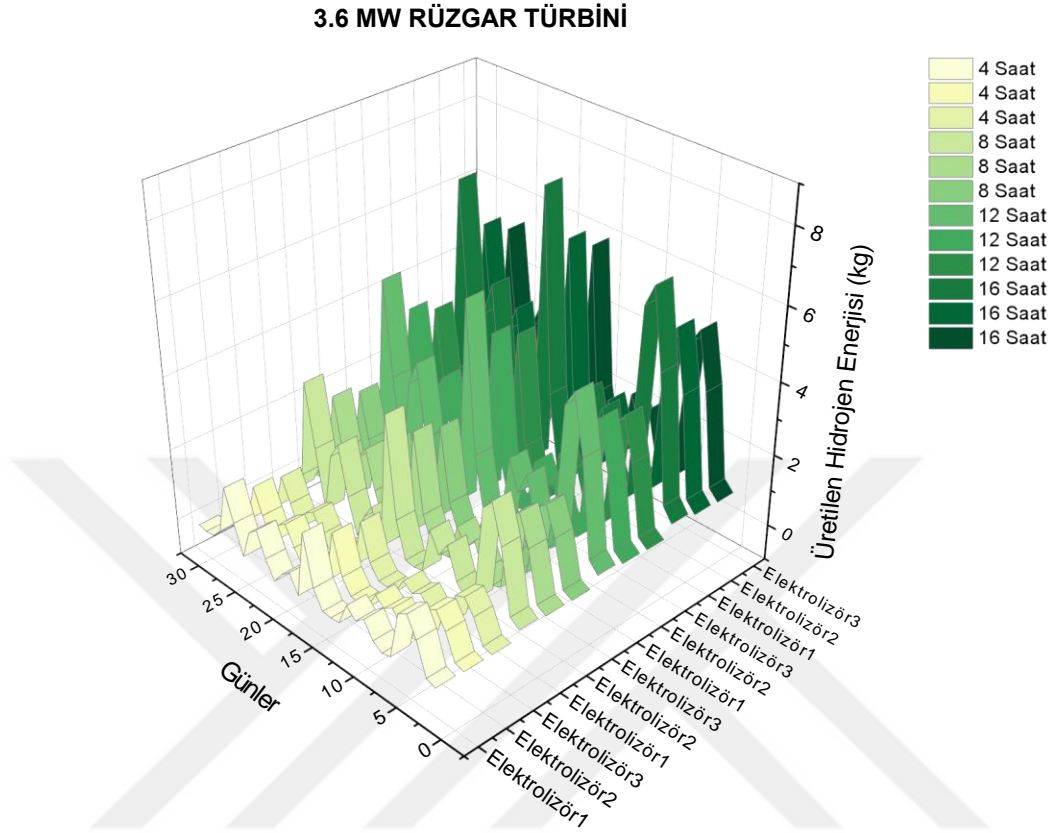
Türbin gücünün artması ile üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarı türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması sonucu yaklaşık olarak 6.5 kg' yükselmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere en yüksek hidrojen enerjisi üretimi ayın 2. ve 29. gününde gerçekleşmiştir. Ayın 2. günü elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı yaklaşık olarak 5.5 kg'dır ve 29. gün üretilen hidrojen enerjisi miktarına oldukça yakın değerdedir.



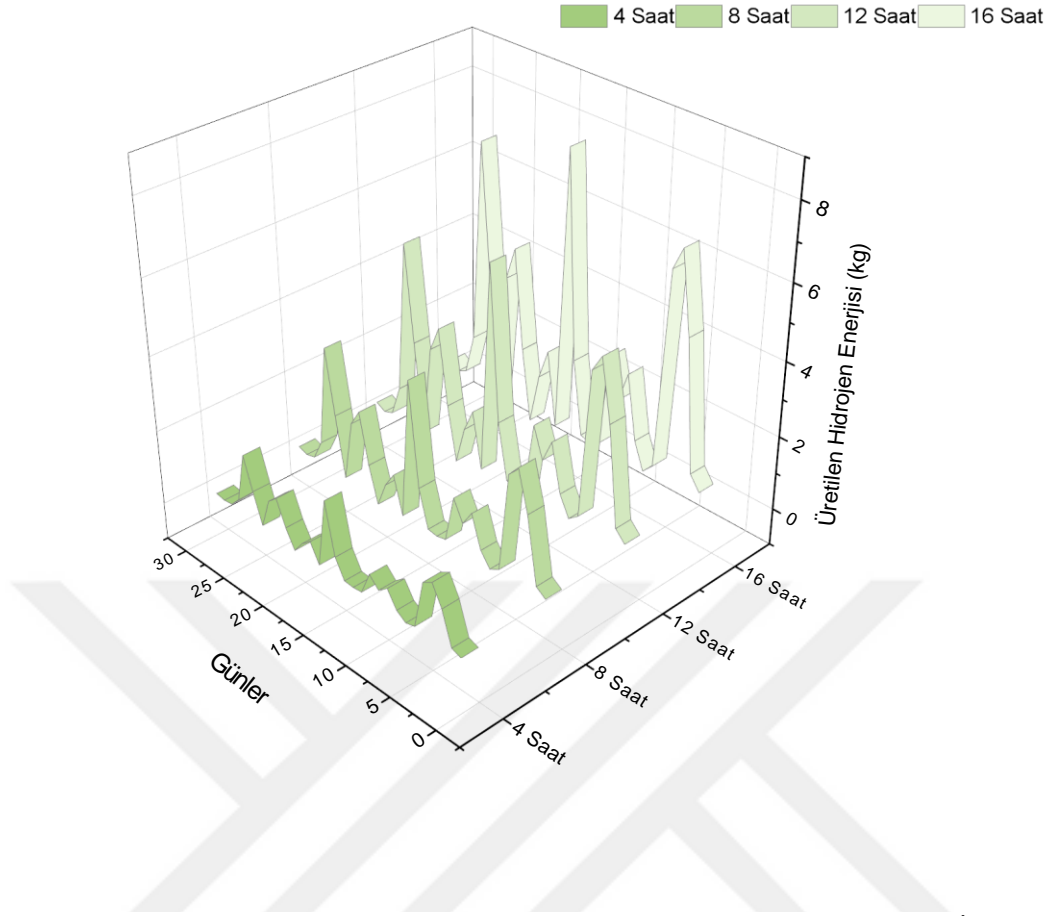
Şekil 91. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Ekim Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Ekim ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Genel olarak ayın tüm günlerinde düşük olan rüzgar hızı 29. günden sonra yükselmiş ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarıda yükselmiştir. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 6 kg'a çıkarmıştır.

Kasım Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



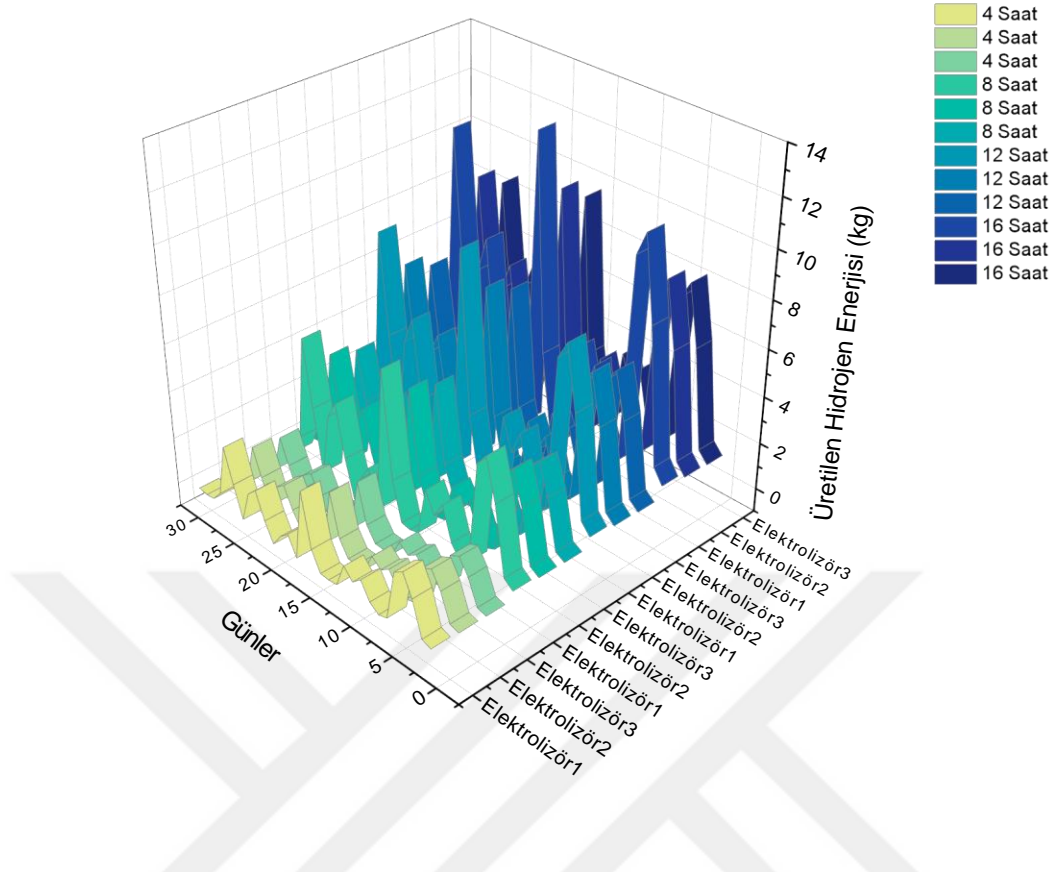
Kasım ayında genel olarak rüzgar hızında dalgalanmalar yaşanması ile üretim bazı günlerde artarken bazı günlerde düşmüştür. Ayın ilk günleri son günlerine oranla daha yüksek hidrojen üretimine sahiptir. En yüksek hidrojen enerjisi üretimi olan günler ayın 4. 16. ve 26. Günleridir. Bu günlerde türbin 16 saat çalışarak ve elektrolizör 1 ile sırasıyla yaklaşık olarak 7 kg, 8 kg ve yine 7 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir.



Şekil 93. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

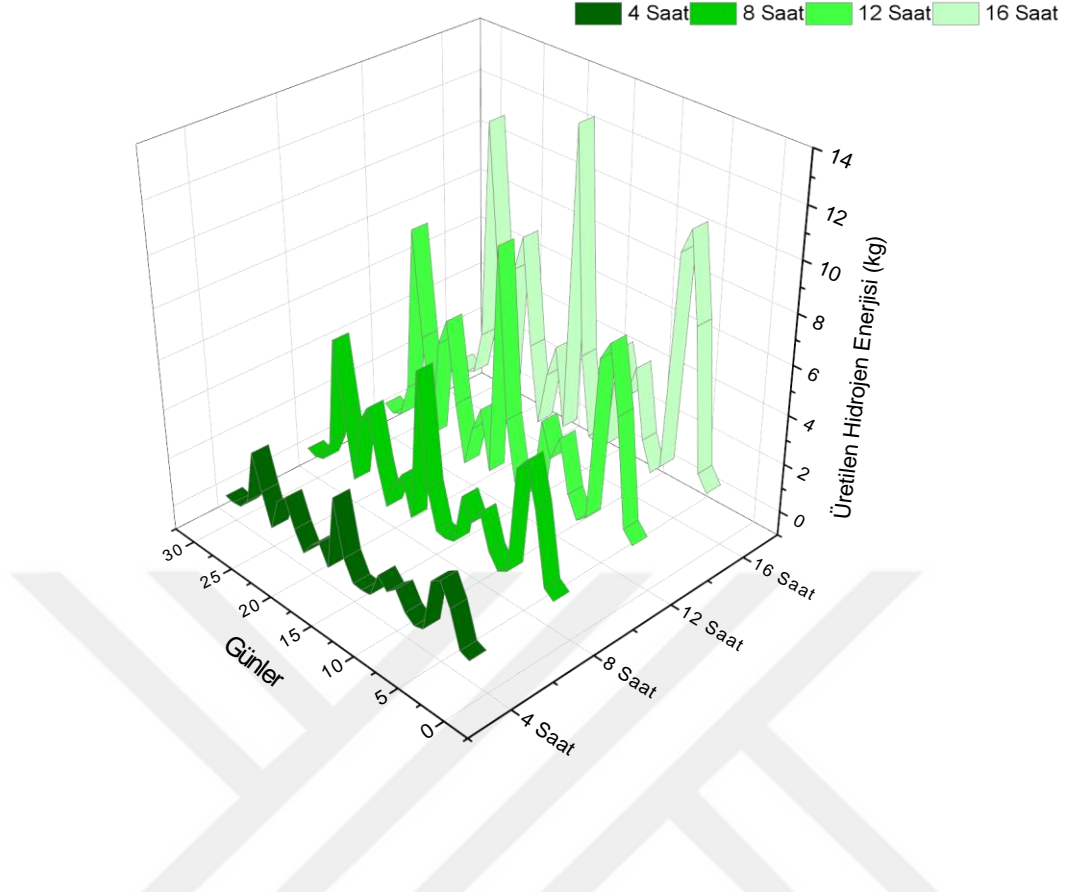
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Kasım ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk günlerinde yüksek olan hidrojen enerjisi miktarı sonraki günlerde hem düşüş hem artış yaşamıştır. Ayın ortasında en yüksek hidrojen enerjisi üretilmiştir.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 94. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

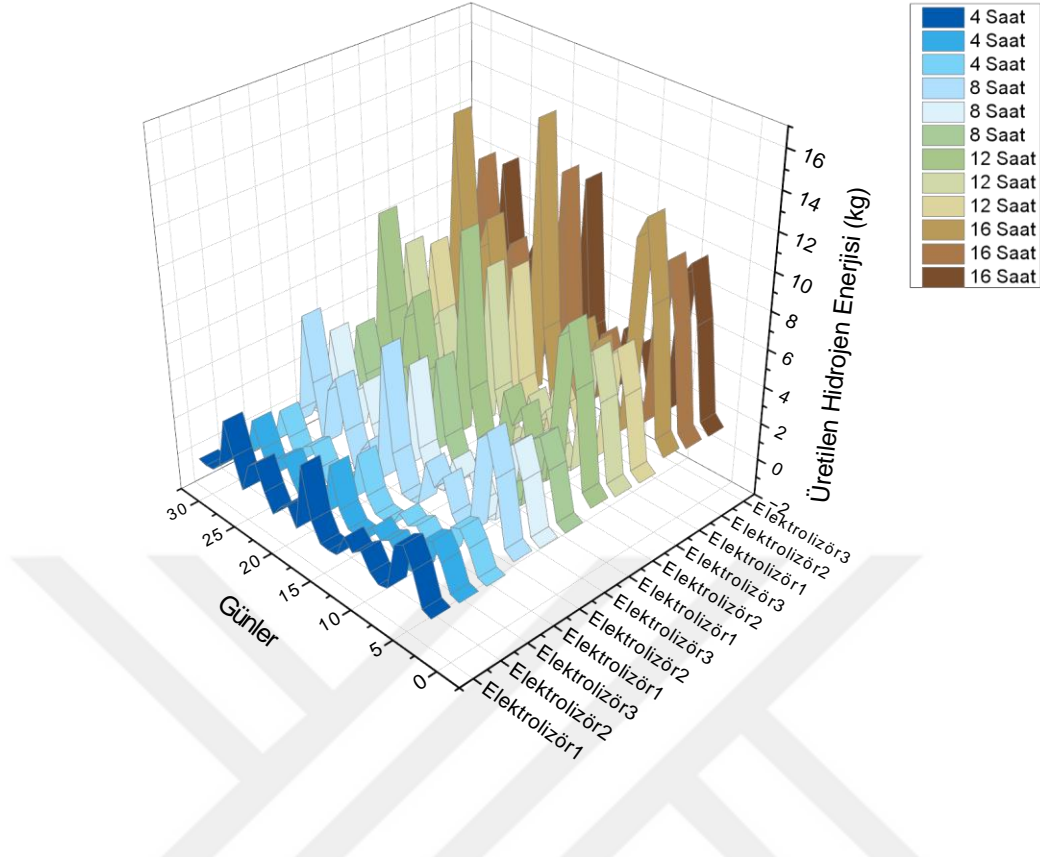
Rüzgar hızının yüksek olduğu günlerde elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 16 saat çalışma sonucu 13 kg, 12 saat çalışma sonucu 10 kg, 8 saat çalışması sonucu 6.5 kg, 4 saat çalışma sonucu ise 3.5 kg civarındadır. Elektrolizör 2 ve 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı ise 4, 8 ve 12 saat çalışma sonucu 2.5 kg, 5 kg, 7.5 kg bandında değişmektedir.



Şekil 95. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

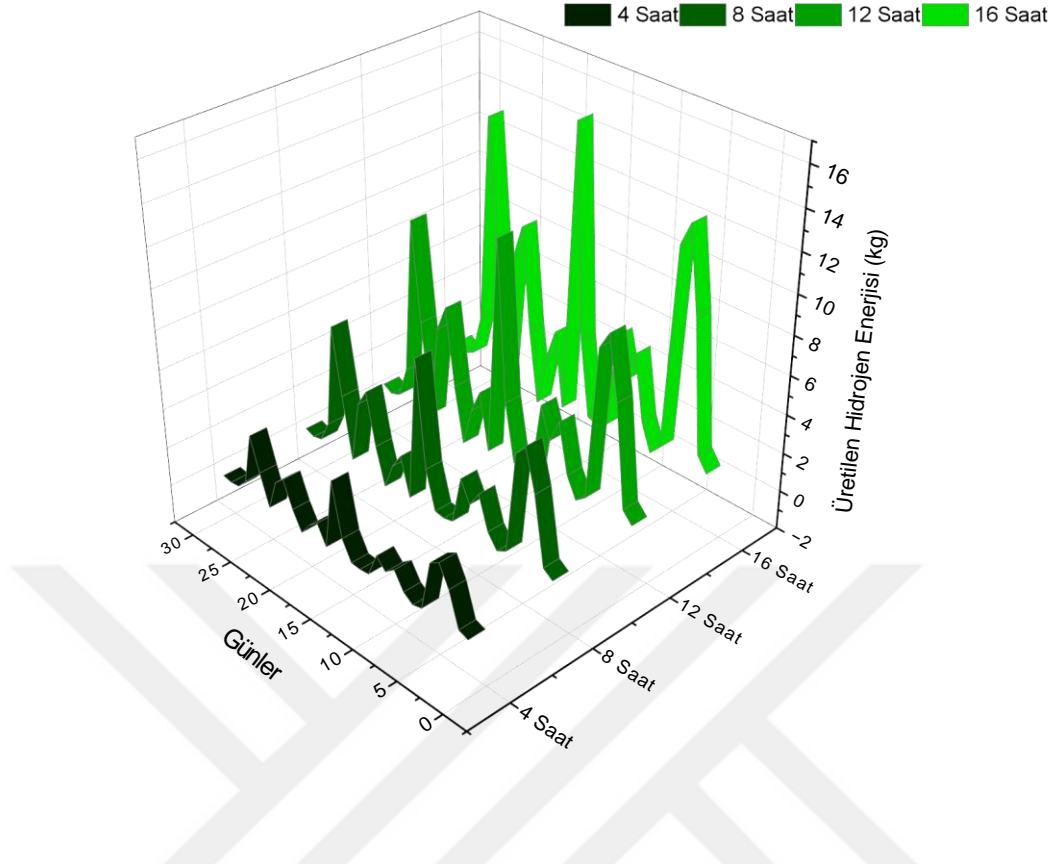
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Kasım ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın 3. gününden sonra rüzgar hızındaki dalgalanmalar ile en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 13 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 96. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

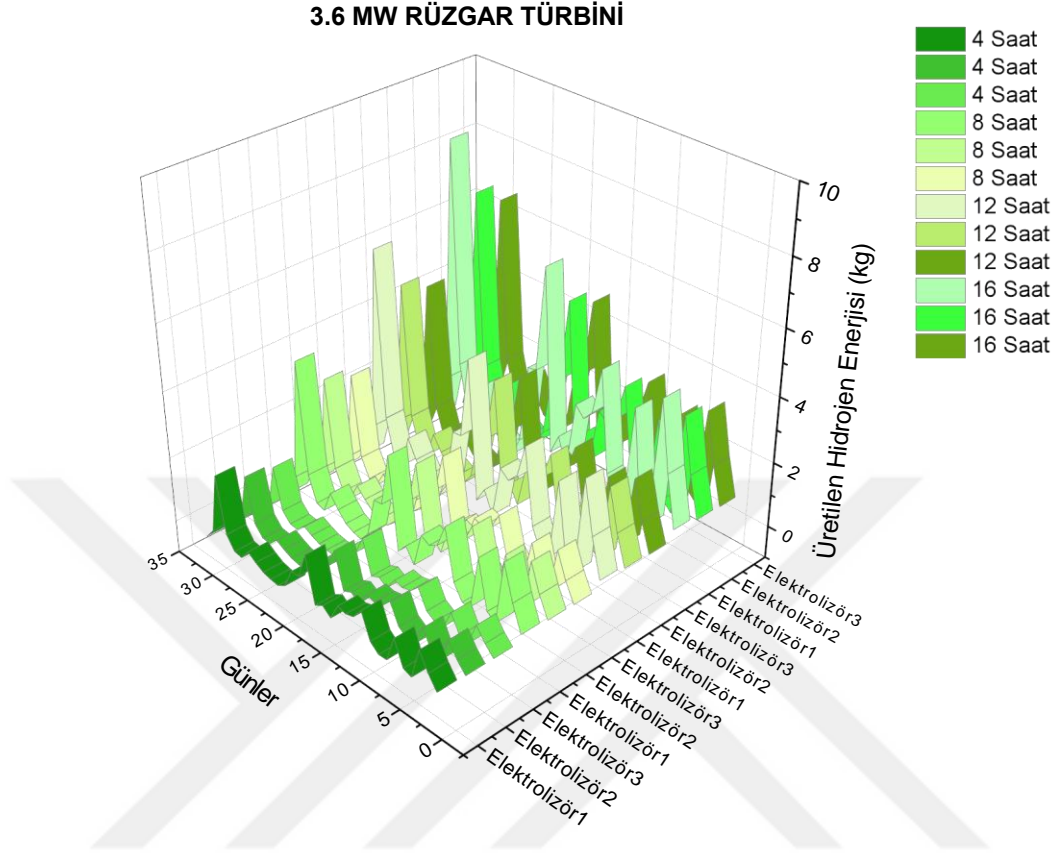
En yüksek rüzgar hızı ile en yüksek hidrojen enerjisi üretimine sahip olan ayın 16. günü türbinin 4 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile yaklaşık olarak 3 kg, 3kg ve 4kg hidrojen enerjisi, 8 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile yaklaşık olarak 5.5 kg, 6 kg, 8 kg hidrojen enerjisi, 12 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile 8.5 kg, 9 kg, 11.5 kg hidrojen enerjisi, 16 saat çalışması sonucu elektrolizör 1, 2, 3 ile 11.5 kg, 12 kg, 15.5 kg hidrojen enerjisi üretilmiştir.



Şekil 97. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Kasım Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

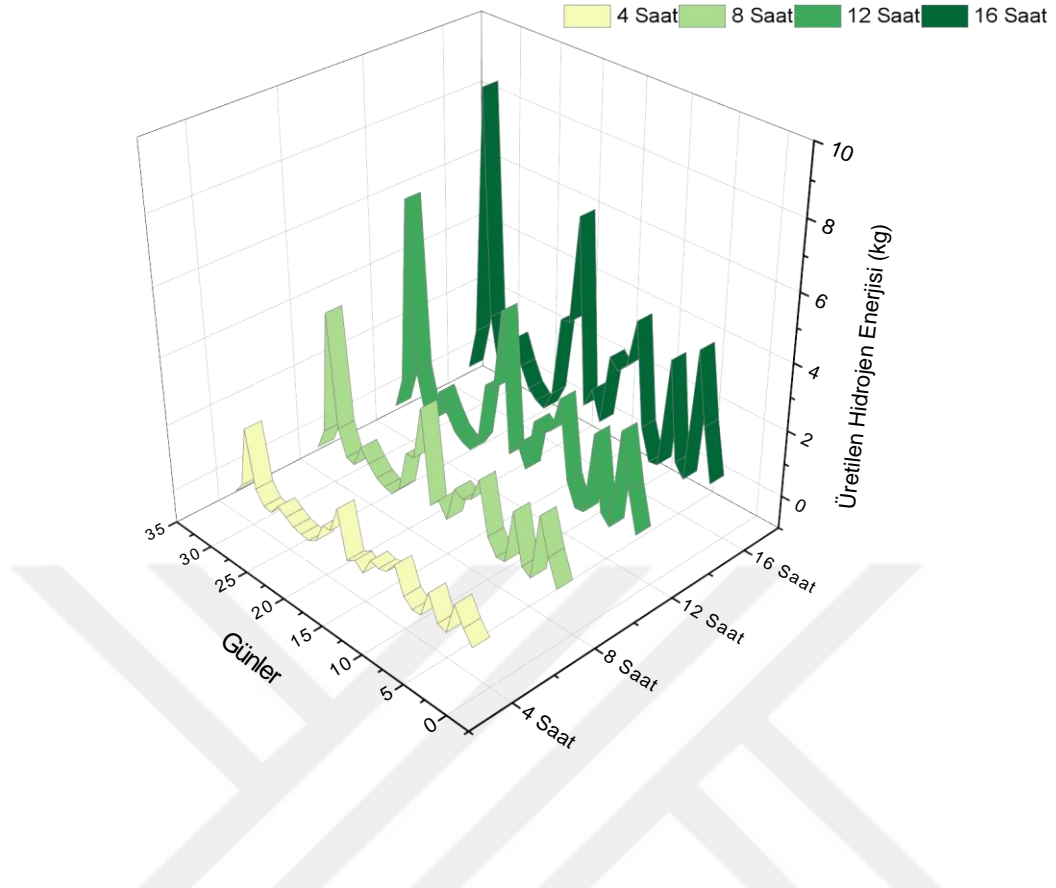
6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Kasım ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ilk günlerinde düşük olan rüzgar hızı 3. günden sonra hem yükselip hem düşmüş ve buna bağlı olarak üretilen hidrojen enerjisi miktarında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 15 kg'a çıkarmıştır.

Aralık Ayı İçin Üretilen Hidrojen Enerjisi



Şekil 98. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

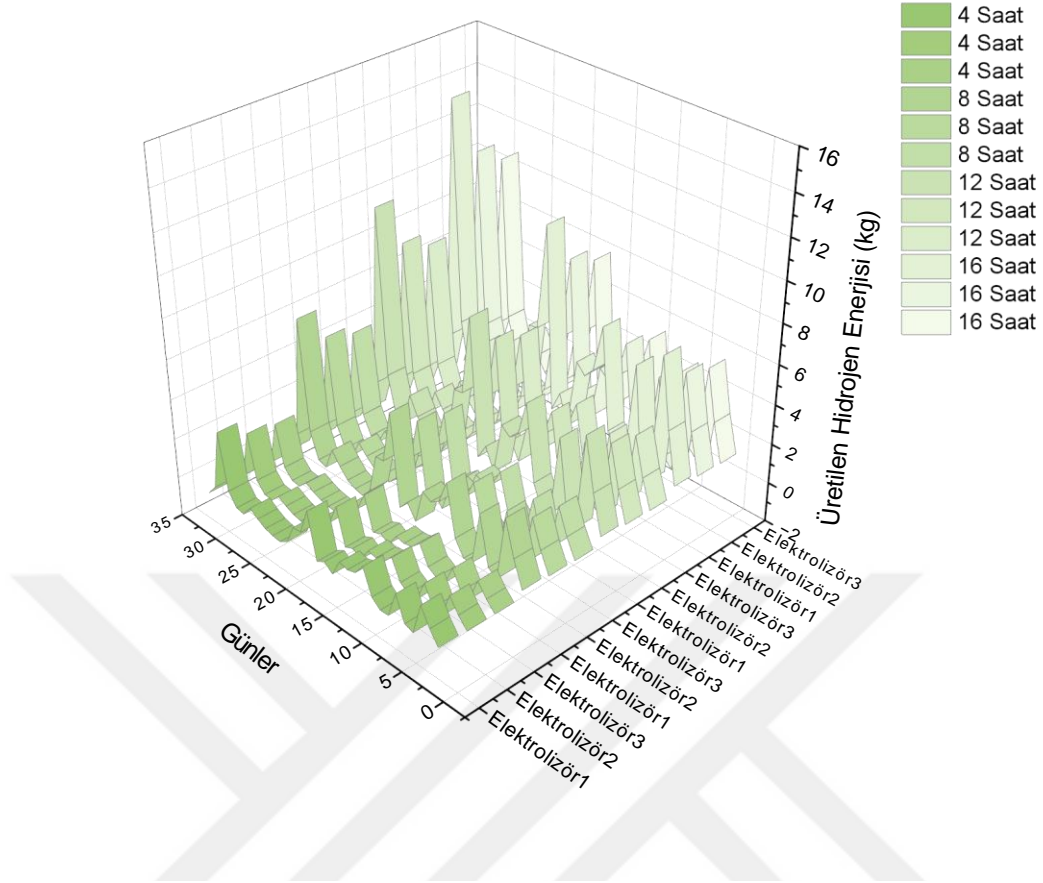
Aralık ayında Kasım ayı gibi rüzgar hızı açısından dalgalanmaların yaşandığı bir ay olarak hidrojen enerjisi üretiminde genel olarak yakın değerler almıştır. Grafikte görüldüğü gibi ayın sonunda en yüksek hidrojen enerjisi üretimi gerçekleşmiştir. Aynı zamanda ayın ortasında da yine hidrojen enerjisi üretiminde bir artış olmuştur. Türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1 kullanılması sonucu 9 kg ile en yüksek üretim gerçekleşmiştir.



Şekil 99. 3.6 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

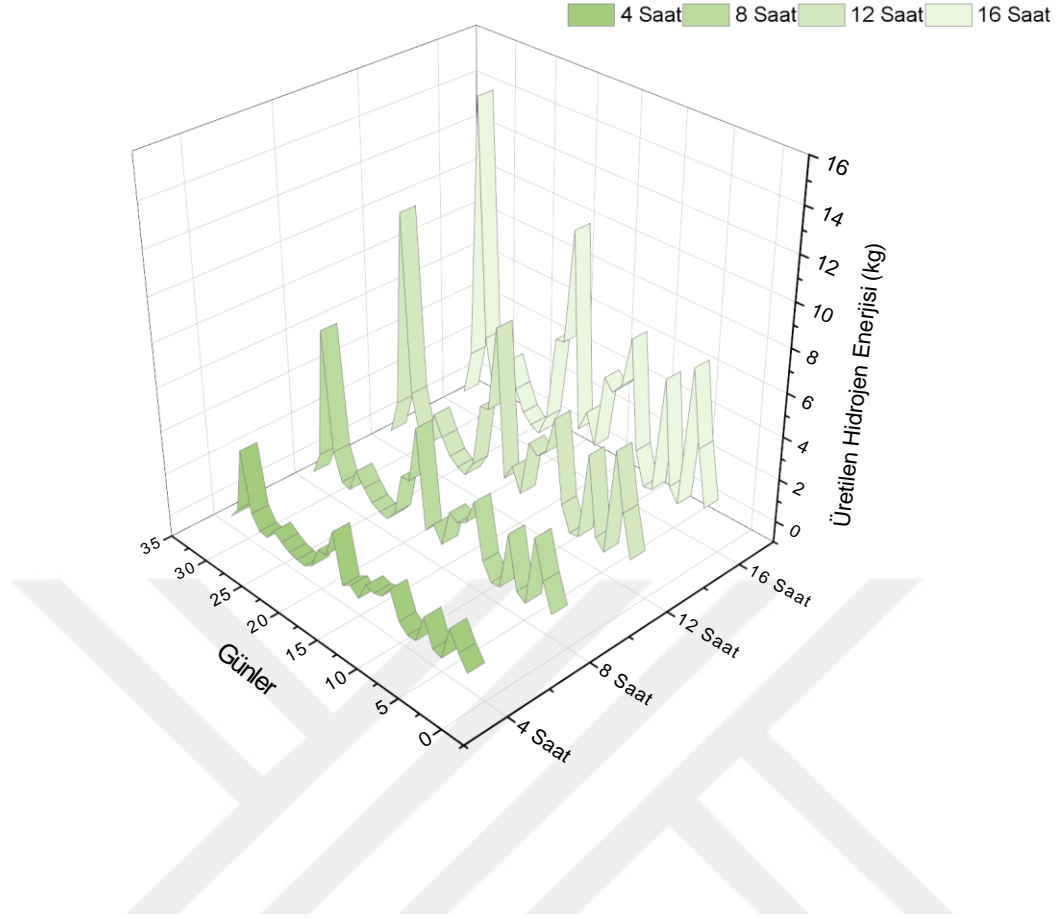
3.6 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Aralık ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ortasında ve son günlerinde yüksek olan hidrojen enerjisi miktarı türbinin 16 saat çalışma sonucu 9 kg ile maksimum seviyededir.

4.0 - 4.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 100. 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

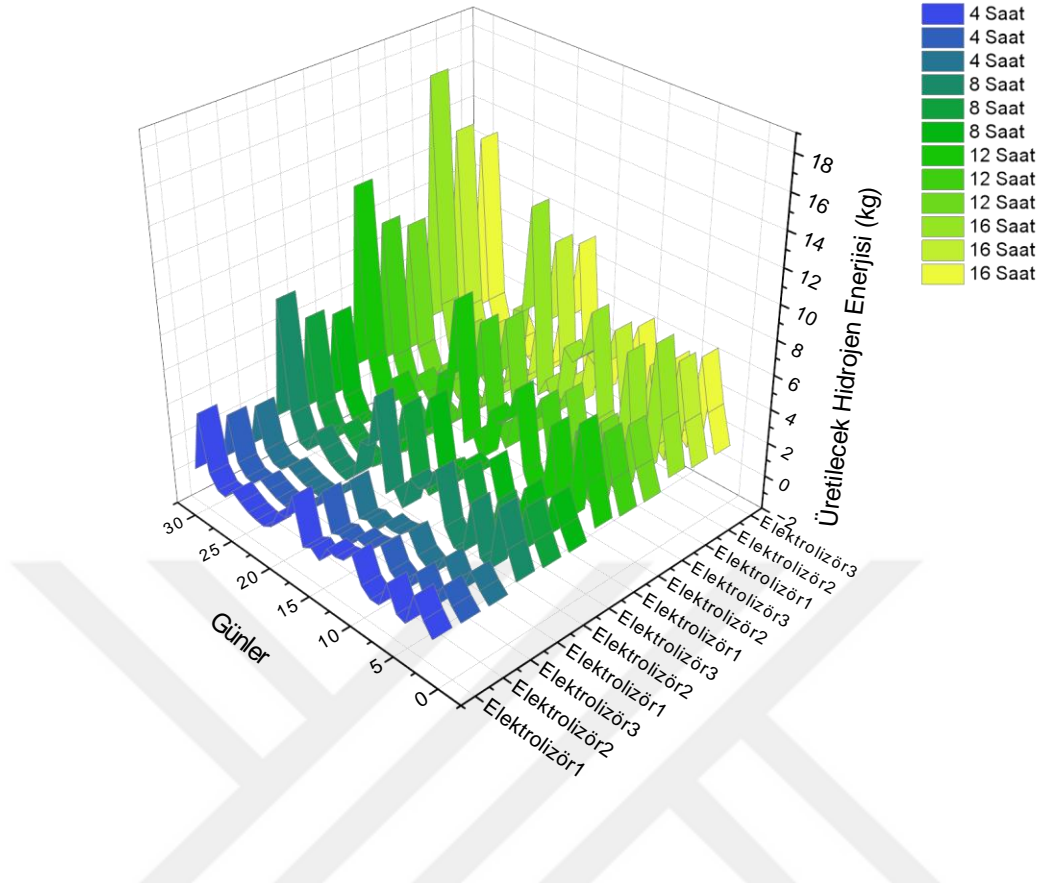
Elektrolizör 2 ve 3 ile elde edilen hidrojen enerjisi miktarları birbirlerine yakın, elektrolizör 1 ile elde edilen hidrojen miktarından daha düşüktür. Elektrolizör 2 ve 3 ile 4 saat sonunda 2.5 kg ve 3 kg, 8 saat sonunda 5.5 kg ve 6 kg, 12 saat sonunda 8 kg ve 8.5 kg, 16 saat sonunda ise 10.5 kg ve 11.5 kg civarında hidrojen enerjisi üretilmiştir. Elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi en düşük 3.5 kg, en yüksek 14.5 kg'dır.



Şekil 101. 4.0 – 4.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

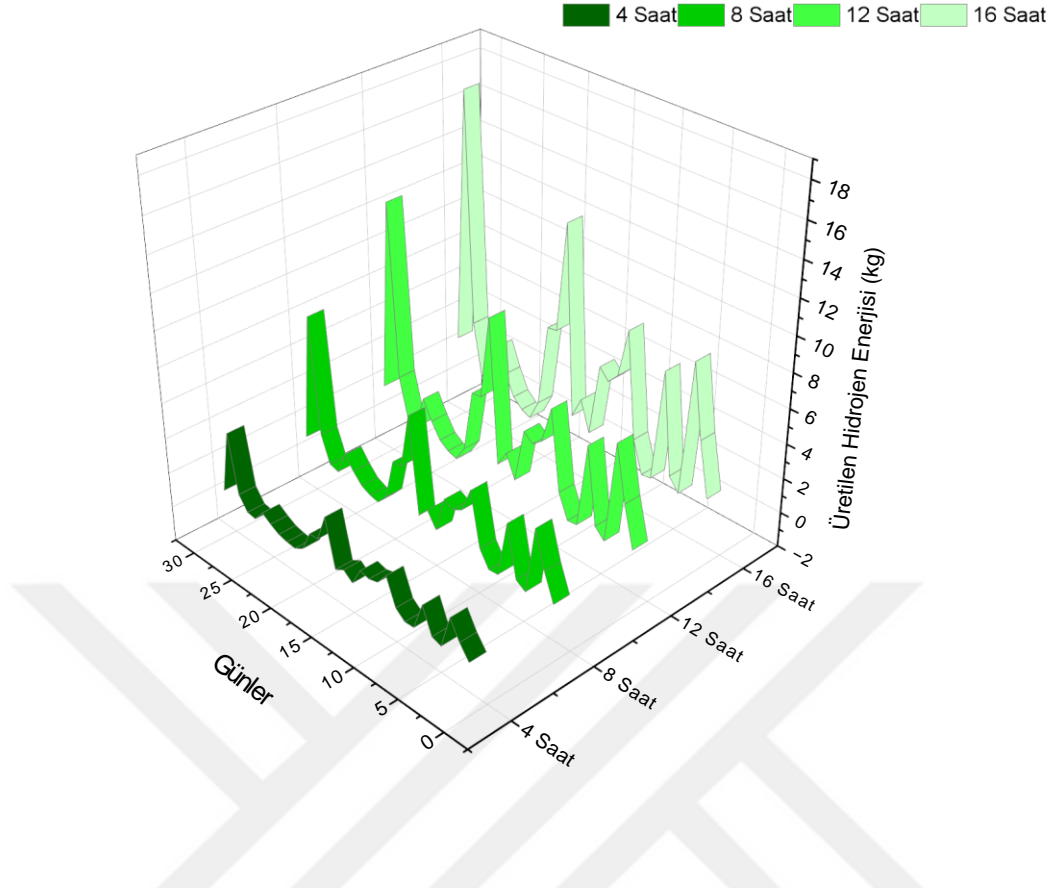
4.0 – 4.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Aralık ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ay boyunca rüzgar hızındaki dalgalanmalar ile en yüksek hidrojen enerjisi üretimi türbinin 16 saat çalışması sonucu yaklaşık 14 kg'a çıkmıştır.

6.0 - 6.5 MW RÜZGAR TÜRBİNİ



Şekil 102. 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Türbin gücünün artması üretilen hidrojen enerjisi miktarını artırarak maksimum hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 17.5 kg'a yükseltmiştir. Türbinin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1, 2, 3 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 17.5 kg, 14 kg, 12.5 kg civarındadır. Türbinin 12 saat çalışması ile düşen hidrojen enerjisi miktarı 9.5 kg, 10 kg, 13 kg civarındadır. 8 saat ve 4 saat çalışan türbinin elektrolizör 2 ve 3 ile ürettiği hidrojen enerjisi miktarı elektrolizör 1'in ürettiği hidrojen enerjisi miktarından daha az ve 3 kg ile 8 kg arasında değişmektedir.

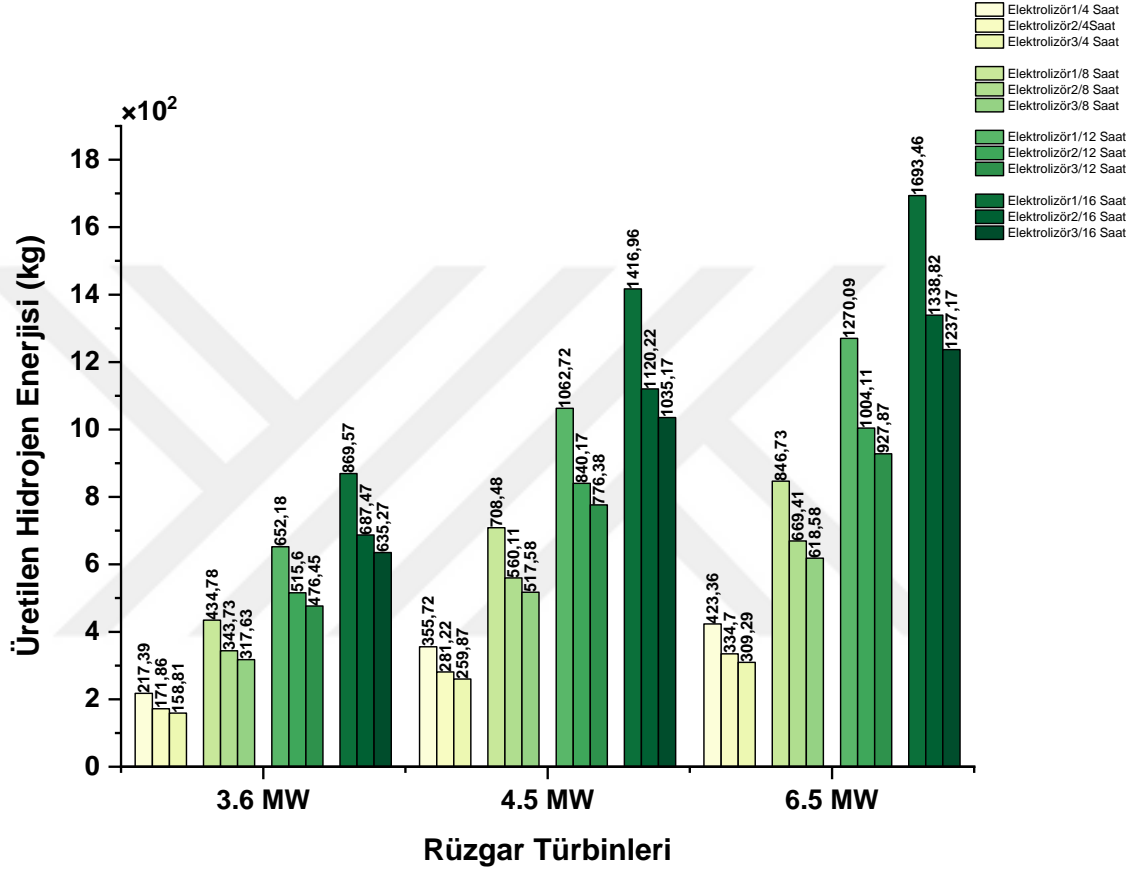


Şekil 103. 6.0 – 6.5 MW Rüzgar Türbininden Aralık Ayında Elektrolizör 1 İle Günlük Üretilen Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbini ile seçilen elektrolizörler arasında en yüksek verime sahip olan elektrolizör 1'in Aralık ayında günlük 4, 8, 12 ve 16 saat çalışması sonucu üretilen hidrojen enerjisi miktarı grafikte görüldüğü gibidir. Ayın ortasında ve sonunda yükselen rüzgar hızı ile rüzgar türbini gücünün ve çalışma saatinde artmış olması üretilen hidrojen enerjisi miktarını yaklaşık olarak 17 kg'a çıkarmıştır.

7. Yıllık Olarak Elektrik Enerjisinden Üretilen Toplam Hidrojen Enerjisi

Yıl boyunca kullanılan 3 farklı rüzgar türbinlerinden 4 farklı çalışma saati sonucu elde edilen elektrik enerjisi ile 3 farklı elektrolizör kullanılarak üretilen toplam hidrojen enerjisi miktarı grafikte gösterildiği gibidir.



Şekil 104. Üretilen Yıllık Toplam Hidrojen Enerjisi Miktarı (kg)

Yıl sonunda 3 farklı türbin ve 4 farklı çalışma saati sonucu elde ettiğimiz elektrik enerjisini 3 farklı verimliliğe sahip elektrolizör kullanarak üretilen hidrojen enerjisi miktarları ile oluşturulan grafik yukarıdaki gibidir. Burada tek bir türbini ele alacak olursak türbin çalışma saatinin ve elektrolizör verimliliğinin artması ile üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır. Tüm rüzgar türbinlerine bakacak olursak, türbin gücü arttıkça yine üretilen hidrojen enerjisi miktarıda artmıştır.

8. SONUÇ

Yaşamın en önemli ihtiyacı olan ve zamanla bu ihtiyacın artması sonucu meydana gelen sürdürülebilirlik yarışı temiz ve yeşil enerji kaynaklarının potansiyelini oldukça arttırmış ve göz önüne çıkarmıştır. Nüfusun artması ile birlikte karbon ayak izinde artması ve buna bağlı olarak temiz çevre olgusunun azalması birincil enerji kaynaklarına olan bakış açısını değiştirmektedir. Fosil yakıtların tükenen yakıtlar olması, kullanımı sonucu çevreye zararlı atıklar bırakması ve bu atıkların yüksek sera gazı emisyonları barındırması hem insan sağlığını hemde ekolojik döngüyü oldukça etkilemektedir. Tüm bunların sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında görülen artış, geliştirilen teknolojiler, yürütülen Ar-Ge çalışmaları, yapılan projeler ve dünya ülkeleri arasında yeşil enerji konusunda girilen yarışlar bu enerji kaynaklarının hızla yaşamımıza entegre edilmesini sağlamakta ve önemini göstermektedir.

Bu çalışmada temiz, yeşil ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi ve bu rüzgar enerjisinin sahip olduğu elektrik enerjisi potansiyelinden yararlanarak hidrojen enerjisi üretiminin aşamaları, kullanılan teknolojiler ve yapılan hesaplamalardan bahsedilerek farklı senaryolar oluşturulmuştur. Osmaniye ilinin 2015 yılı rüzgar verileri kullanılarak belirlenen bölge için teorik olarak önce elektrik enerjisi sonrasında hidrojen enerjisi üretimi yapılmıştır. Çalışmada 3.6 MW, 4.0/4.5 MW, 6.0/6.5 MW gücünde 3 farklı rüzgar türbini, 4, 8, 12 ve 16 saat olmak üzere 4 farklı çalışma saati ve 39.45 kWh/kg (elektrolizör 1), 49.9 kWh/kg (elektrolizör 2), 54 kWh/kg (elektrolizör 3) enerji ihtiyacı olan 3 farklı PEM elektrolizör kullanılmıştır. Osmaniye ilinin 2015 yılı rüzgar verileri kullanılarak teorik olarak üretilen elektrik enerjisi Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında rüzgar hızının yüksek olması nedeni ile diğer aylara oranla çok daha fazladır. Nisan, Eylül ve Ekim ayları ise rüzgârın durağan olması ile elektrik enerjisi üretiminin en az olduğu aylardır. Tüm bu bilgiler sonucunda;

3.6 MW rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi rüzgar hızının en yüksek olduğu ay olan Haziran ayında 1373 kWh, 8 saat çalışması sonucu 2747 kWh, 12 saat çalışması sonucu 4121 kWh, 16 saat çalışması sonucu ise 5495 kWh'tir. Rüzgar hızının en düşük olduğu ay olan Ekim ayında ise türbinin 4 saat

çalışması sonucu 230 kWh, 8 saat çalışması sonucu 461 kWh, 12 saat çalışması sonucu 692 kWh ve 16 saat çalışması sonucu ise 923 kWh'tir.

4.0 – 4.5 MW rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi rüzgar hızının en yüksek olduğu ay olan Haziran ayında 4 saat çalışması sonucu 2238 kWh, 8 saat çalışması sonucu 4477 kWh, 12 saat çalışması sonucu 6715 kWh, 16 saat çalışması sonucu ise 8954 kWh'tir. Rüzgar hızının en düşük olduğu ay olan Ekim ayında ise türbinin 4 saat çalışması sonucu 376 kWh, 8 saat çalışması sonucu 752 kWh, 12 saat çalışması sonucu 1128 kWh ve 16 saat çalışması sonucu ise 1504 kWh'tir.

6.0 – 6.5 MW rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucu üretilen elektrik enerjisi rüzgar hızının en yüksek olduğu ay olan Haziran ayında 4 saat çalışması sonucu 2675 kWh, 8 saat çalışması sonucu 5350 kWh, 12 saat çalışması sonucu 8062 kWh, 16 saat çalışması sonucu ise 10701 kWh'tir. Rüzgar hızının en düşük olduğu ay olan Ekim ayında ise türbinin 4 saat çalışması sonucu 449 kWh, 8 saat çalışması sonucu 899 kWh, 12 saat çalışması sonucu 1348 kWh ve 16 saat çalışması sonucu ise 1798 kWh'tir.

Ekim ayı en düşük elektrik enerjisinin üretildiği, Haziran ayı ise en yüksek elektrik enerjisinin üretildiği aydır. Teorik olarak üretilen elektrik enerjisi PEM elektrolizörler ile hidrojen enerjisi üretiminde kullanıldı. Elde edilen elektrik enerjisi miktarları göz önünde bulundurulacak olursa en yüksek elektrik enerjisi üretiminin olduğu ay olan Haziran ayında üretilen hidrojen enerjisi miktarı en fazla, elektrik üretiminin en düşük olduğu ay olan Ekim ayında ise üretilen hidrojen enerjisi miktarı en düşük seviyededir. Ağustos ikinci en yüksek üretimin olduğu ay olurken, Eylül, Ekim ve Nisan ayları üretimin hem en düşük olduğu hemde birbirlerine yakın değerler olduğu aylardır. Sonuç olarak kullanılan 3 farklı elektrolizörlerden üretilen hidrojen enerjisi miktarı;

Ocak ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 15,83 kg, elektrolizör 2 ile 12,52 kg, elektrolizör 3 ile 11,57 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 31,67 kg, elektrolizör 2 ile 25,04 kg, elektrolizör 3 ile 23,13 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 47,50 kg, elektrolizör 2 ile 37,55 kg, elektrolizör 3 ile 34,70 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 63,33 kg, elektrolizör 2 ile 50,07 kg, elektrolizör 3 ile 46,27 kg hidrojen üretilmiştir.

Şubat ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen

hidrojen enerjisi miktarı 17,16 kg, elektrolizör 2 ile 13,56 kg, elektrolizör 3 ile 12,53 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 34,31 kg, elektrolizör 2 ile 27,13 kg, elektrolizör 3 ile 25,07 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 51,47 kg, elektrolizör 2 ile 40,69 kg, elektrolizör 3 ile 37,60 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 68,62 kg, elektrolizör 2 ile 54,25 kg, elektrolizör 3 ile 50,13 kg hidrojen üretilmiştir.

Mart ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 19,34 kg, elektrolizör 2 ile 15,29 kg, elektrolizör 3 ile 14,13 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 38,68 kg, elektrolizör 2 ile 30,58 kg, elektrolizör 3 ile 28,26 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 58,01 kg, elektrolizör 2 ile 45,87 kg, elektrolizör 3 ile 42,38 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 77,35 kg, elektrolizör 2 ile 61,15 kg, elektrolizör 3 ile 56,51 kg hidrojen üretilmiştir.

Nisan ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 10,89 kg, elektrolizör 2 ile 8,61 kg, elektrolizör 3 ile 7,96 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 21,79 kg, elektrolizör 2 ile 17,23 kg, elektrolizör 3 ile 15,92 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 32,68 kg, elektrolizör 2 ile 25,84 kg, elektrolizör 3 ile 23,88 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 43,58 kg, elektrolizör 2 ile 34,45 kg, elektrolizör 3 ile 31,84 kg hidrojen üretilmiştir.

Mayıs ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 12,82 kg, elektrolizör 2 ile 10,14 kg, elektrolizör 3 ile 9,37 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 25,67 kg, elektrolizör 2 ile 20,28 kg, elektrolizör 3 ile 18,74 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 38,47 kg, elektrolizör 2 ile 30,42 kg, elektrolizör 3 ile 28,11 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 51,30 kg, elektrolizör 2 ile 40,56 kg, elektrolizör 3 ile 37,48 kg hidrojen üretilmiştir.

Haziran ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 34,82 kg, elektrolizör 2 ile 27,53 kg, elektrolizör 3 ile 25,44 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 69,65 kg, elektrolizör 2 ile 55,06 kg, elektrolizör 3 ile 50,88 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör

1 ile 104,47 kg, elektrolizör 2 ile 82,59 kg, elektrolizör 3 ile 76,32 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 139,29 kg, elektrolizör 2 ile 110,12 kg, elektrolizör 3 ile 101,76 kg hidrojen üretilmiştir.

Temmuz ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 27,01 kg, elektrolizör 2 ile 21,35 kg, elektrolizör 3 ile 19,73 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 54,02 kg, elektrolizör 2 ile 42,71 kg, elektrolizör 3 ile 39,46 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 81,03 kg, elektrolizör 2 ile 64,06 kg, elektrolizör 3 ile 59,20 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 108,04 kg, elektrolizör 2 ile 85,41 kg, elektrolizör 3 ile 78,93 kg hidrojen üretilmiştir.

Ağustos ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 30,95 kg, elektrolizör 2 ile 24,47 kg, elektrolizör 3 ile 22,61 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 61,90 kg, elektrolizör 2 ile 48,94 kg, elektrolizör 3 ile 45,22 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 92,86 kg, elektrolizör 2 ile 73,41 kg, elektrolizör 3 ile 67,84 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 123,81 kg, elektrolizör 2 ile 97,88 kg, elektrolizör 3 ile 90,45 kg hidrojen üretilmiştir.

Eylül ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 9,57 kg, elektrolizör 2 ile 7,57 kg, elektrolizör 3 ile 6,99 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 19,14 kg, elektrolizör 2 ile 15,13 kg, elektrolizör 3 ile 13,98 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 28,71 kg, elektrolizör 2 ile 22,70 kg, elektrolizör 3 ile 20,98 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 38,28 kg, elektrolizör 2 ile 30,27 kg, elektrolizör 3 ile 27,97 kg hidrojen üretilmiştir.

Ekim ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 5,85 kg, elektrolizör 2 ile 4,63 kg, elektrolizör 3 ile 4,27 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 11,70 kg, elektrolizör 2 ile 9,25 kg, elektrolizör 3 ile 8,55 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 17,55 kg, elektrolizör 2 ile 13,88 kg, elektrolizör 3 ile 12,82 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 23,40 kg, elektrolizör 2 ile 18,50 kg, elektrolizör 3 ile 17,10 kg hidrojen üretilmiştir.

Kasım ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 17,67 kg, elektrolizör 2 ile 13,97 kg, elektrolizör 3 ile 12,91 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 35,33 kg, elektrolizör 2 ile 27,93 kg, elektrolizör 3 ile 25,81 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 53 kg, elektrolizör 2 ile 41,90 kg, elektrolizör 3 ile 38,72 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 70,67 kg, elektrolizör 2 ile 55,87 kg, elektrolizör 3 ile 51,63 kg hidrojen üretilmiştir.

Aralık ayında rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile üretilen hidrojen enerjisi miktarı 15,47 kg, elektrolizör 2 ile 12,23 kg, elektrolizör 3 ile 11,30 kg hidrojen, 8 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 30,95 kg, elektrolizör 2 ile 24,47 kg, elektrolizör 3 ile 22,61 kg hidrojen, 12 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 46,42 kg, elektrolizör 2 ile 36,70 kg, elektrolizör 3 ile 33,91 kg hidrojen, 16 saat çalışması sonucunda elektrolizör 1 ile 61,89 kg, elektrolizör 2 ile 48,93 kg, elektrolizör 3 ile 45,22 kg hidrojen üretilmiştir.

Sonuç olarak çalışmada oluşturulan senaryolara göre hem rüzgar türbininin gücünün artması hemde çalışma saatinin artması üretilen elektrik ve hidrojen enerjisinde artışa neden olmaktadır. Rüzgar türbinlerinin her biri en fazla çalışma saatinde çalıştığında ve en az enerji harcayan elektrolizör kullanıldığında en yüksek miktarda elektrik ve hidrojen enerjisi üretilmiştir. En yüksek elektrik enerjisi üretimi 6.0 – 6.5 MW rüzgar türbininin 16 saat çalışması sonucu Haziran ayında 10701 kWh, en düşük elektrik enerjisi üretimi 3.6 MW rüzgar türbininin Ekim ayında 4 saat çalışması sonucu 230 kWh ve bu elektrik enerjisinden üretilen en yüksek hidrojen enerjisi miktarı ise 6.0 – 6.5 MW rüzgar türbininin 16 saat çalışması ve elektrolizör 1'in kullanılması sonucu Haziran ayında 271 kg, en düşük hidrojen enerjisi miktarı 3.6 MW rüzgar türbininin 4 saat çalışması sonucu ve elektrolizör 3'ün kullanılması sonucu 4 kg'dır.

KAYNAKLAR

- [1] T. B. Akademisi, “TÜBA-Enerji Depolama Teknolojileri Raporu | Türkiye Bilimler Akademisi”. Erişim: 28 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/raporlar/tuba-enerji-depolama-teknolojileri-raporu>
- [2] “Türkiye için Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası – Hidrojen Teknolojileri Derneği”. Erişim: 28 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.hidrojenteknolojileri.org/blog/turkiye-icin-hidrojen-teknolojileri-yol-haritasi/>
- [3] B. Kükreci, “Hidrojen Enerjisinin Gelişme Potansiyeli ve Türkiye Ekonomisi Açısından Değerlendirilmesi”, Master’s, Ann Arbor, United States, 2015. Erişim: 06 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/docview/2631832893/abstract/FF966E17E5EB432A/PQ/78>
- [4] “Hidrojen Enerjisi Bilgilendirme Notu 120721 - Kimya mühendisliği - Studocu”. Erişim: 28 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.studocu.com/row/document/istanbul-universitesi/chemical-engineering/hidrojen-enerjisi-bilgilendirme-notu-120721/25251499>
- [5] B. Yanıktepe, C. Ozalp, M. Savrun, T. Koroglu, ve C. Cebeci, *Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Uygulama Örneği*. 2011.
- [6] B. Yanıktepe, T. Koroglu, ve M. Savrun, “Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Osmaniye, Turkey”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 21, ss. 703-711, May. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.005.
- [7] F. Tutar ve M. Eren, “GELECEĞİN ENERJİSİ: HİDROJEN EKONOMİSİ VE TÜRKİYE”, *Uluslar. İktisadi Ve İdari İncelemeler Derg.*, sy 6, Art. sy 6, May. 2015, doi: 10.18092/ijeas.38647.
- [8] H. Mutlubas ve Z. Ozdemir, “ENERJİ TAŞIYICISI OLARAK HİDROJEN VE HİDROJEN ÜRETİM YÖNTEMLERİ”, c. 2, ss. 16-34, Tem. 2019.
- [9] H. A. Halil, “Hydrogen Production using a Hybrid System Built with Renewable Energy Resources in Yenice”. Erişim: 22 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/1216068/hydrogen-production-using-a-hybrid-system-built-with-renewable-energy-resources-in-yenice>

- [10] “Cezayir’in Güneyinde Rüzgar Gücünden Hidrojen Üretimini Tahmini | Lilia Aiche-hamane - Academia.edu”. Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://www.academia.edu/101824784/Estimation_of_Hydrogen_Production_from_Wind_Power_in_the_South_of_Algeria
- [11] “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa”. Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=tGOs_zNfGEwJaSQTxz-IDA&no=SfHuR8Obfm3SdMdjWmaiGQ
- [12] E. Akyüz, “Hibrid yenilenebilir enerji sistemleri ile elektrik ve hidrojen üretiminin araştırılması”, doctoralThesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010. Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12462/2354>
- [13] H. Dagdougui, A. Ouammi, ve R. Sacile, “A regional decision support system for onsite renewable hydrogen production from solar and wind energy sources”, *Fuel Energy Abstr.*, c. 36, ss. 14324-14334, Kas. 2011, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.08.050.
- [14] “Hidrojen Üretimi ve Yakıt Olarak Kullanımı - ProQuest”. Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://www.proquest.com/openview/2b3e6993bccda5229562cca5e839786d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [15] O. Alavi, A. Mostafaeipour, ve M. Qolipour, “Analysis of hydrogen production from wind energy in the southeast of Iran”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 41, Haz. 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.092.
- [16] J. M. Zolezzi, A. Garay, ve M. Reveco, “Large scale hydrogen production from wind energy in the Magallanes area for consumption in the central zone of Chile”, *J. Power Sources*, c. 195, sy 24, ss. 8236-8243, Ara. 2010, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.12.060.
- [17] L. Aiche-hamane, “Study of Hydrogen Production from Wind Power in Algeria”, Oca. 2010, Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://www.academia.edu/101824781/Study_of_Hydrogen_Production_from_Wind_Power_in_Algeria

- [18] M. Çelik, “A review on wind energy and wind–hydrogen production in Turkey: A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion system in Central Anatolian Turkey”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Oca. 2012, Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/92132080/A_review_on_wind_energy_and_wind_hydrogen_production_in_Turkey_A_case_study_of_hydrogen_production_via_electrolysis_system_supplied_by_wind_energy_conversion_system_in_Central_Anatolian_Turkey
- [19] “EMO - II. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ”. Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/etkinlikler/yeksem/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=127&bilkod=3521
- [20] G. Kepoğlu, “HİDROJEN & YAKIT PİLLERİ PROJELERİNE BİR BAKIS”, Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/6077000/HIDROJEN_and_YAKIT_PİLLERİ_PROJELERİNE_BİR_BAKIS
- [21] M. Ege, M. Turpçu, A. Çeber, N. Akkuş, G. Genç, ve E. Toptaş, “Hidrojen Enerjisiyle Çalışan Aracın Tasarımı ve İmalatı”, Erişim: 16 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://avesis.marmara.edu.tr/yayin/9cc49b8e-8b27-4002-997c-b69db76160b8/hidrojen-enerjisiyle-calisan-aracin-tasarimi-ve-imalati>
- [22] Ö. Yörük, D. U. Zıraman, Ö. M. Doğan, ve B. Z. Uysal, “Çan Linyitinden Elektroliz Yöntemi ile Hidrojen Üretiminde Çeşitli Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Univ. J. Sci. Part C Des. Technol.*, c. 7, sy 4, Art. sy 4, Ara. 2019, doi: 10.29109/gujsc.601223.
- [23] Ö. Genç ve M. A. Kallıoğlu, “PROTON ELEKTROLİT MEMBRANLI (PEM) ELEKTROLİZÖRÜN SAYISAL İNCELENMESİ VE DENEYSEL DOĞRULANMASI”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, ss. 370-380, Oca. 2018, doi: 10.28948/ngumuh.387154.
- [24] İ. H. Dağhan, “Bir yakıt pili-güneş pili sisteminin modellenmesi ve simülasyonu / Modelling and simulation of a fuel cell-solar cell system”, 2010, Erişim: 17 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://openaccess.firat.edu.tr/xmlui/handle/11508/16934>

- [25] “Şebekeden bağımsız, güneş Ve rüzgar kaynaklı, Batarya Ve Hidrojen depolamalı Hibrit Enerji Sistemlerinin Dinamik Modellemesi, Enerji, Ekserji Ve seviyelendirilmiş Maliyet Analizi - ProQuest”. Erişim: 17 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/00e3df669f40fccb307ab10fd880286/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [26] E. Y. Ulu, “Güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminin deneysel ve teorik enerji, ekserji ve elektromanyetik analizi”, Doctoral Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010. Erişim: 17 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://grcris.pau.edu.tr/handle/11499/1454>
- [27] S. R. Ashraf, “Wind-to-Hydrogen Production Potential for Selected Sites in Pakistan”, *IEEE Access*, Oca. 2021, Erişim: 17 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/92912391/Wind_to_Hydrogen_Production_Potential_for_Selected_Sites_in_Pakistan
- [28] R. Sarrias-Mena, L. Fernández-Ramírez, C. García-Vázquez, ve F. Jurado, “Electrolyzer models for hydrogen production from wind energy systems”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 40, ss. 2927-2938, Şub. 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.12.125.
- [29] B. C. Durmaz ve İ. Üçgül, “Türkiye Kıyı Bölgelerinde Yenilenebilir Enerji Santrali Uygulamaları İçin: Hibrit Yüzer Modüler Tasarım Önerileri”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendis. Bilim. Derg.*, c. 24, sy 4, Art. sy 4, Ağu. 2024, doi: 10.35414/akufemubid.1404846.
- [30] A. Mostafaepour, “Using wind turbines for hydrogen production : A case study”, Oca. 2016, Erişim: 18 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/69081276/Using_wind_turbines_for_hydrogen_production_A_case_study
- [31] U. Muhammad, “Utilization of Excess Wind Energy for Electrolytic Hydrogen Production”, Oca. 2013, Erişim: 18 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/86441274/Utilization_of_Excess_Wind_Energy_for_Electrolytic_Hydrogen_Production

- [32] A. Joshi, I. Dincer, ve B. Reddy, “Exergetic assessment of solar hydrogen production methods”, *Int. J. Hydrog. Energy - INT J Hydrog. ENERG*, c. 35, ss. 4901-4908, May. 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.09.067.
- [33] Q. Hassan, S. Algburi, A. Zuhair, H. Salman, ve A. Khudhair, “A review of green hydrogen production by renewable resources”, *Energy Harvest. Syst.*, c. 11, Kas. 2023, doi: 10.1515/ehs-2022-0127.
- [34] B. Doğru Mert, fırat Ekinici, ve T. Demirdelen, “Effect of partial shading conditions on off-grid solar PV/Hydrogen production in high solar energy index regions”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 44, Eyl. 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.09.011.
- [35] M. Nasser, T. Megahed, S. Ookawara, ve H. Hassan, “A review of water electrolysis–based systems for hydrogen production using hybrid/solar/wind energy systems”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, c. 29, Eki. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-23323-y.
- [36] M. Benghanem *vd.*, “Hydrogen Production Methods Based on Solar and Wind Energy: A Review”, *Energies*, c. 16, s. 757, Oca. 2023, doi: 10.3390/en16020757.
- [37] M. Awad *vd.*, “A review of water electrolysis for green hydrogen generation considering PV/wind/hybrid/hydropower/geothermal/tidal and wave/biogas energy systems, economic analysis, and its application”, *Alex. Eng. J.*, c. 87, Oca. 2024, doi: 10.1016/j.aej.2023.12.032.
- [38] Erişim: 21 Eylöl 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [39] Erişim: 21 Eylöl 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [40] M. Nasser ve H. Hassan, “Egyptian green hydrogen Atlas based on available wind/solar energies: Power, hydrogen production, cost, and CO2 mitigation maps”, *Int. J. Hydrog. Energy*, Eyl. 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.09.127.
- [41] D. Sevilmis ve M. Yildiz, “Investigation of hydrogen production methods in accordance with green chemistry principles”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 42, Nis. 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.104.

- [42] H. Balta ve Z. Yumurtaci, “Investigation and Optimization of Integrated Electricity Generation from Wind, Wave, and Solar Energy Sources”, *Energies*, c. 17, s. 603, Oca. 2024, doi: 10.3390/en17030603.
- [43] J. Rezazadeh Mehrenjani, A. Gharehghani, A. Mahmoodi Nasrabadi, ve M. Moghimi, “Design, modeling and optimization of a renewable-based system for power generation and hydrogen production”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 47, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.148.
- [44] A. B. Guher, B. Yaniktepe, ve S. Tasdemir, “Determination of Wind Potential of a Specific Region using Artificial Neural Networks”, *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, c. 3, Eyl. 2017, doi: 10.18201/ijisae.2017531433.
- [45] “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa”. Erişim: 22 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [46] A. A. Koçer, “TEMİZ ÇEVRE VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA İÇİN HİDROJEN ÜRETİM, DEPOLAMA VE DAĞITIM TEKNOLOJİLERİNİN İNÇELENMESİ”, Erişim: 22 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/116706446/TEMİZ_ÇEVRE_VE_SÜRDÜRÜLEBİLİR_KALKINMA_İÇİN_HİDROJEN_ÜRETİM_DEPOLAMA_VE_DAĞITIM_TEKNOLOJİLERİNİN_İNÇELENMESİ
- [47] A. Ates, S. Z. Shekardasht, ve E. Canlı, “SOLAR ENERGY SUPPORTED HYDROGEN PRODUCTION: A THEORETICAL CASE STUDY”, *Selçuk Üniversitesi Mühendis. Bilim Ve Teknol. Derg.*, c. 5, sy 4, Art. sy 4, Ara. 2017, doi: 10.15317/Scitech.2017.110.
- [48] “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa”. Erişim: 22 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [49] T. Polat, A. H. Yalçın, ve H. M. Şahin, “Hidrojenin Nükleer Enerji ile Üretim Yollarının İncelenmesi”, *Politek. Derg.*, c. 15, sy 2, Art. sy 2, Haz. 2012.
- [50] E. Fırat, “A Novel Generation PV Panel Assisted Hybrid Rotary Energy System with Improved Performance and Design Qualities”. Erişim: 22 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/1205308/a-novel-generation-pv->

panel-assisted-hybrid-rotary-energy-system-with-improved-performance-and-design-qualities

- [51] G. Badea, G. S. Naghiu, I. Giurca, I. Aşchilean, ve E. Megyesi, “Hydrogen Production Using Solar Energy - Technical Analysis”, *Energy Procedia*, c. 112, ss. 418-425, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1097.
- [52] R. Sandro, Arnudin, A. Tussadiah, R. M. Utamy, N. Pridina, ve L. N. Afifah, “Study of Wind, Tidal Wave and Current Potential in Sunda Strait as an Alternative Energy”, *Energy Procedia*, c. 47, ss. 242-249, Oca. 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.220.
- [53] A. Abdurakhmanov vd., “Hydrogen production using solar energy”, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, c. 937, s. 042042, Ara. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/937/4/042042.
- [54] A. dendouga, A. Dendouga, A. Saadi, W. Dehina, ve B. Abdesselam, *Hydrogen production by PEM electrolysis based on renewable energy*. 2020.
- [55] M. I. El-Shafie, S. Kambara, ve Y. Hayakawa, “Hydrogen Production Technologies Overview”, *J. Power Energy Eng.*, c. 7, ss. 107-154, Oca. 2019, doi: 10.4236/jpee.2019.71007.
- [56] M. S. Mert, F. Yüksel, ve M. E. Burulday, “Biyokütle Kaynaklı Sentez Gazından Hidrojen Üretimine Entegre Bir Güç Sisteminin Modellenmesi”, *Erzincan Univ. J. Sci. Technol.*, c. 12, sy 2, Art. sy 2, Ağu. 2019, doi: 10.18185/erzifbed.455514.
- [57] D. Sampangi ve H. Lim, “An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production”, *Energy Rep.*, c. 8, ss. 13793-13813, Kas. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.127.
- [58] D. D. de Fátima Palhares, L. G. M. Vieira, ve J. J. R. Damasceno, “Hydrogen production by a low-cost electrolyzer developed through the combination of alkaline water electrolysis and solar energy use”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 43, sy 9, ss. 4265-4275, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.01.051.
- [59] B. Yaniktepe, M. M. Savrun, ve T. Koroglu, “Current status of wind energy and wind energy policy in Turkey”, *Energy Convers. Manag.*, c. 72, ss. 103-110, Ağu. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2012.08.028.
- [60] A. Onur, “GEOTHERMAL ENERGY BASED HYDROGEN ENERGY STORAGE AND CHARGING STATION SYSTEM”. Erişim: 23 Eylül 2024.

[Çevrimiçi]. Erişim adresi:

<https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/1243482/geothermal-energy-based-hydrogen-energy-storage-and-charging-station-system>

- [61] M. Bakırcı, “NREL S 809 KESİTLİ YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİN GÜÇ PERFORMANS HESABI”, *Uluslar. Batı Karadeniz Mühendis. Ve Fen Bilim. Derg.*, c. 2, sy 2, Art. sy 2, Ara. 2020.
- [62] E. Akyüz, “Hibrid yenilenebilir enerji sistemleri ile elektrik ve hidrojen üretiminin araştırılması”, doctoralThesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010. Erişim: 23 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12462/2354>
- [63] K. Gök ve A. Sözen, “Yenilenebilir Enerji Kaynağı ile Hidrojen Sülfürden Hidrojen Üretim Kombine Sistem Tasarımı ve Analizi”, *Gazi Mühendis. Bilim. Derg.*, c. 8, sy 2, Art. sy 2, Eyl. 2022.
- [64] M. A. ALİ, “Şebeke Bağlantılı Çok Kaynaklı Yenilenebilir Hibrit Enerji Sisteminin Tasarımı Optimizasyonu Ve Uygulaması”. Erişim: 23 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/1221926/sebeke-baglantili-cok-kaynakli-yenilenebilir-hibrit-enerji-sisteminin-tasarimi-optimizasyonu-ve-uygulamasi>
- [65] K. Saka, “An Evaluation on Solar Powered Hydrogen Production”, Oca. 2019, Erişim: 23 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/90280735/An_Evaluation_on_Solar_Powered_Hydrogen_Production
- [66] “Ders: ZTM 103 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ”. Erişim: 11 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=926>
- [67] “(PDF) Hidrojen ekonomisine doğru”. Erişim: 10 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/23533224_Hidrojen_ekonomisine_dogr_u
- [68] “2021 Küresel Hidrojen Raporu Özeti”, Dünya Enerji Konseyi | Türk Milli Komitesi. Erişim: 10 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-hidrojen-raporu-ozeti/>

- [69] “Uluslararası Hidrojen Stratejileri Raporu”, Dünya Enerji Konseyi | Türk Milli Komitesi. Erişim: 11 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.dunyaenerji.org.tr/uluslararasi-hidrojen-stratejileri-raporu/>
- [70] “Hidrojen Ekonomisine Doğru Raporu Özeti – Dünya Enerji Konseyi | Türk Milli Komitesi”. Erişim: 28 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://dunyaenerji.org.tr/hidrojen-ekonomisine-dogru-raporu-ozeti/>
- [71] “Hidrojen Ekonomisinin Otomotiv sektöründe önemi : Türkiye örneği - ProQuest”. Erişim: 28 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/38024442a3a30ce420c08ee0e28dc9aa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=44156>
- [72] “Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: ‘Hidrojen enerji ve teknoloji ürünleri’ pazarı | Cihat Polat - Academia.edu”. Erişim: 28 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/81789032/D%C3%BCnya_da_ve_T%C3%BCrkiye_de_yeni_bir_pazar%C4%B1n_do%C4%9Fu%C5%9Fu_geli%C5%9Fimi_ve_payla%C5%9F%C4%B1m%C4%B1_Hidrojen_enerjisi_ve_hidrojen_teknolojisi_%C3%BCr%C3%BCnleri_pazar%C4%B1
- [73] “Türkiye Hidrojen Çiftlikleri ile Yeni Bir Süreç Başlatmalı! – Hidrojen Teknolojileri Derneği”. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.hidrojenteknolojileri.org/blog/turkiye-icin-hidrojen-ciftligi-konsepti-raporu/>
- [74] “AR-GE Dergisi”, FİGES AŞ. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://figes.com.tr/arge-dergisi>
- [75] İ. Kaysı, “Sürdürülebilir enerji politikaları ve ekonomiye etkileri: Türkiye örneği”, masterThesis, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2019. Erişim: 11 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dspace.trakya.edu.tr/xmlui/handle/trakya/4635>
- [76] “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı - Enerji Verimliliği - Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı”. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-uevpep>

- [77] “UHTEK 2015 – Hidrojen Teknolojileri Derneği”. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.hidrojenteknolojileri.org/blog/uhtek-2015/>
- [78] İ. Kavaz, *Nuclear Energy in The World and Turkey*. 2021, s. 294. doi: 10.36880/C13.02557.
- [79] “Türkiye’nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası : 2050’DE NET SIFIR”, SolarbabaTürkiye. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://solarbaba.com.tr/2022-01-turkiyenin-karbonsuzlasma-yol-haritasi-2050de-net-sifir/>
- [80] I. Sagsen, “Yeşil hidrojen enerjisi ve Türkiye’nin potansiyeli <https://www.aa.com.tr/tr/analiz/yesil-hidrojen-enerjisi-ve-turkiye-nin-potansiyeli/2433441#!>”, *Anadolu Ajansı Anal.*, Oca. 2021, Erişim: 17 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/67564545/Ye%C5%9Fil_hidrojen_enerjisi_ve_T%C3%BCrkiyenin_potansiyeli_https_www_aa_com_tr_tr_analiz_yesil_hidrojen_enerjisi_ve_turkiye_nin_potansiyeli_2433441_
- [81] B. Şenaktaş, “Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları”, Master Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005. Erişim: 30 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/1181>
- [82] S. NACAR, “ELEKTROLİZ İLE HİDROJEN ÜRETİMİNDE KULLANILAN TAM KÖPRÜ SERİ REZONANS DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN FARKLI KONTROL TEKNİKLERİ İÇİN PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI”, PhD Thesis, 2019. Erişim: 01 Temmuz 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/594/10312856.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [83] “Elektroliz yöntemi ile elde edilen hidrojenin dizel motor dolgusuna ilavesinin performans ve emisyonlara etkisi - ProQuest”. Erişim: 01 Temmuz 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/84d173a2dc28445c9476d634d28e70fe/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [84] M. Bayraktar, “Hayvan ve işlenmiş süt atıklarından biyogaz ve hidrojen üretiminin termodinamik açıdan araştırılması”, masterThesis, Balıkesir

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011. Erişim: 07 Eylül 2024. [Çevrimiçi].
Erişim adresi: <https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12462/2403>
- [85] S. Tokcan, “Türkiye’de bor madeninin alternatif bir enerji kaynağı olarak incelenmesi”, masterThesis, Sakarya Üniversitesi, 2021. Erişim: 07 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/96727>
- [86] R. Z. Yarbay, “Muhtelif yakıtlardan hidrojen üretimi amacıyla katalitik yakıt işlemci için katalizör geliştirilmesi”, 2010, Erişim: 07 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/5157>
- [87] “(PDF) ENERJİ TAŞIYICISI OLARAK HİDROJEN VE HİDROJEN ÜRETİM YÖNTEMLERİ”. Erişim: 07 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://www.researchgate.net/publication/334724585_ENERJI_TASIYICISI_OLARAK_HIDROJEN_VE_HIDROJEN_URETIM_YONTEMLERI
- [88] “Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Hidrojen (hydrogen)”, Prof. Dr. Bilsen Beşergil. Erişim: 02 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/6_36.html
- [89] B. Şenaktaş, “Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları”, Master Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005. Erişim: 07 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/1181>
- [90] M. Öztürk, N. Özek, ve Y. E. Yüksel, “DOĞALGAZDAN HİDROJEN ÜRETİLMESİ VE SALINAN KARBONDİOKSİTİN TUTULMASI”, *Uluslar. Teknol. Bilim. Derg.*, c. 2, sy 2, Art. sy 2, Haz. 2010.
- [91] E. Taş, “Buhar reformasyonu ile doğal gaz, LPG ve nafta’dan hidrojen üretimi”, May. 2020, Erişim: 10 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<http://hdl.handle.net/11527/19827>
- [92] C. Kalamaras ve A. Efstathiou, “Hydrogen Production Technologies: Current State and Future Developments”, *Conf. Pap. Energy*, c. 2013, ss. 1-9, Haz. 2013, doi: 10.1155/2013/690627.
- [93] “Ders Notları – M Kayfeci”. Erişim: 10 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://muhammetkayfeci.com/lecture-notes/>
- [94] M. I. El-Shafie, S. Kambara, ve Y. Hayakawa, “Hydrogen Production Technologies Overview”, *J. Power Energy Eng.*, c. 7, ss. 107-154, Oca. 2019, doi: 10.4236/jpee.2019.71007.

- [95] T. B. Akademisi, “TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu | Türkiye Bilimler Akademisi”. Erişim: 11 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/raporlar/tuba-biyokutle-enerjisi-raporu>
- [96] K. Al ve E. B. Ateş, “SÜRDÜRÜLEBİLİR HİDROJEN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ: BİYOKÜTLE TEMELLİ YAKLAŞIMLAR”, *Bartın Univ. Int. J. Nat. Appl. Sci.*, c. 5, sy 1, Art. sy 1, Tem. 2022, doi: 10.55930/jonas.1101384.
- [97] “Biyokütleden Hızlı Püroliz Yöntemi İle Biyoyakıt Eldesi - ProQuest”. Erişim: 11 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/419c91371060e14f576f8fdb1ea8daa5/1?p-q-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [98] “Rüzgar - Enerji İşleri Genel Müdürlüğü - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı”. Erişim: 29 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>
- [99] “Türkiye Rüzgar Atlası - Meteoroloji Genel Müdürlüğü”. Erişim: 30 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlasi.aspx>
- [100] “İstatistikler”. Erişim: 30 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf;jsessionid=CAFDB349974C2793B884B61F928ED40B
- [101] “Elektrik - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı”. Erişim: 30 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- [102] “Coğrafi Yapı”. Erişim: 26 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://osmaniye.gov.tr/cograf-yapi>
- [103] “Hasanbeyli”. Erişim: 26 Eylül 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.osmaniye.gov.tr/hasanbeyli>
- [104] K. Mohammadi ve A. Mostafaeipour, “Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran”, *Energy Convers. Manag.*, c. 65, ss. 463-470, Oca. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2012.09.004.

- [105] E. Akpınar ve S. Akpınar, “An Assessment of Wind Turbine Characteristics and Wind Energy Characteristics for Electricity Production”, *Energy Sources*, c. Part A, ss. 941-953, Tem. 2006, doi: 10.1080/00908310600718817.
- [106] “Evsel Uygulamaları için Birleşik Rüzgar-Güneş-Hidrojen Sisteminin Termodinamik Analizi | Murat Öztürk - Academia.edu”. Erişim: 18 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://www.academia.edu/83356950/Evsel_Uygulamalar_i%C3%A7in_Birle%C5%9Fik_R%C3%BCzgar_G%C3%BCne%C5%9F_Hidrojen_Sisteminin_Termodinamik_Analizi
- [107] Ö. Ergür, “Rüzgar Türbİnlerİ İle Enerjİ Üretİmİ”, Master’s, Ann Arbor, United States, 2006. Erişim: 06 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://www.proquest.com/docview/2700373613/abstract/FF966E17E5EB432APQ/19>
- [108] “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa”. Erişim: 22 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [109] H. Uçar, “Rüzgar enerjisi destekli hidrojen üretim sistemlerinin teknolojik ekonomik analizi”, masterThesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018. Erişim: 22 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
<https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/670296>
- [110] M. Mahmoud, T. Salameh, A. A. Makky, M. A. Abdelkareem, ve A. G. Olabi, “Chapter 3.5 - Case studies and analysis of wind energy systems”, içinde *Renewable Energy - Volume 1 : Solar, Wind, and Hydropower*, A. G. Olabi, Ed., Academic Press, 2023, ss. 363-387. doi: 10.1016/B978-0-323-99568-9.00019-4.
- [111] “N117/3600”, Nordex SE. Erişim: 23 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.nordex-online.com/en/product/n117-3600/>
- [112] “N163/6.X”, Nordex SE. Erişim: 27 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.nordex-online.com/en/product/n163-6-x/>
- [113] “N149/4.X”, Nordex SE. Erişim: 23 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.nordex-online.com/en/product/n149-4-0-4-5/>
- [114] “Product Main page”, Nordex SE. Erişim: 23 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.nordex-online.com/en/product/product-main-page/>

- [115] “Green hydrogen cost reduction”. Erişim: 23 Kasım 2024. [Çevrimiçi].
Erişim adresi: <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>
- [116] “(PDF) Renewable Hydrogen: Modular Concepts from Production over Storage to the Consumer”, *ResearchGate*, Eki. 2024, doi: 10.1002/cite.202000197.
- [117] S. Shiva Kumar ve V. Himabindu, “Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review”, *Mater. Sci. Energy Technol.*, c. 2, sy 3, ss. 442-454, Ara. 2019, doi: 10.1016/j.mset.2019.03.002.
- [118] S. Shiva Kumar ve H. Lim, “An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production”, *Energy Rep.*, c. 8, ss. 13793-13813, Kas. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.127.
- [119] D. Borge-Diez, E. Rosales-Asensio, D. Icaza, ve E. Açikkalp, “The green hydrogen-water-food nexus: Analysis for Spain”, *Int. J. Hydrog. Energy*, c. 77, ss. 1026-1042, Ağu. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.06.237.
- [120] S. Shiva Kumar ve H. Lim, “An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production”, *Energy Rep.*, c. 8, ss. 13793-13813, Kas. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.127.
- [121] “Green hydrogen production”. Erişim: 24 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/hydrogen-solutions.html>
- [122] “Plug EX-4250D Electrolyzer (English)”. Erişim: 24 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://resources.plugpower.com/electrolyzer-hydrogen-production/ex-4250d-f041122>
- [123] “PEM elektrolizör hidrojen teknolojisi | Accelera”. Erişim: 24 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.accelerazero.com/electrolyzers/pem>
- [124] Erişim: 24 Kasım 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Rabia ADAKLI

2.Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2021
Yüksek Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2024



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Rabia ADAKLI
Öğrenci Numarası	2212701102
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE
Tez Başlığı (Türkçe)	BELİRLENEN BİR BÖLGE İÇİN RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANILARAK HİDROJEN ELDESİ ANALİZİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 158 sayfalık kısmına ilişkin, 19 /02 /2025 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %14'tür.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza

Öğrenci

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Unvanı, Adı Soyadı
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

1. Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
2. Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).