T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR İLİNDEKİ TARİHİ SU DEĞİRMENLERİNİN KONUMLARININ VE HİDROLİK ENERJİ POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Zeynep AYKAÇ

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
OCAK 2021

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, değerli zamanını ayırmaktan çekinmeyen, katkılarını esirgemeyen, tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve düzenlenmesinde, ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirleri ve yapıcı eleştirileri ile teze yaptıkları katkılardan dolayı Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN'e, Prof. Dr. Fevzi ÖNEN'e, Doç. Dr. Veli SÜME'ye ve Doç. Dr. Nizamettin HAMİDİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Değerli dostluklarıyla doktora eğitimim boyunca ve bu tezin hazırlanması sürecinde desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, beraber çalıştığım, kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Derya KARAKAYA ve ailesine, çalışmalarını büyük bir hoşgörü ile paylaşan, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Zemzem KINIK'a, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Arş. Gör. Sertaç ATABEY'e ve tez yazım aşamasında bilgilerini benimle paylaşan kardeşim Elektrik-Elektronik Mühendisi Şahin AYKAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım boyunca her anımda olan, maddi-manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli annem Zekiye AYKAÇ, babam Sıracettin AYKAÇ ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu çalışmayı MÜHENDİSLİK.18.009 numaralı proje ile destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ocak 2021

Zeynep AYKAÇ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... İ

İÇİNDEKİLER ..... İİ

ÖZET V

ABSTRACT ..... Vİİ

ÇİZELGE LİSTESİ ..... Vİİİ

ŞEKİL LİSTESİ ..... İX

KISALTMA VE SİMGELER ..... Xİİİ

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 9

2.1. Enerji Kaynakları İle İlgili Çalışmalar 9

2.1.2 Enerji ve Yenilenebilir Enerji 9

2.1.2. Hidroelektrik Enerji 19

2.1.3. Mini ve Mikro Hidroelektrik Enerji 25

2.2. Tarihi Su Yapıları ve Su Gücü İle İlgili Çalışmalar 28

2.3. Su Değirmenleri İle İlgili Çalışmalar 36

2.3.1. Tarihi Su Yapısı Olarak Su Değirmenleri 37

2.3.2. Enerji Kaynağı Olarak Su Değirmenleri 41

2.4. Diğer Çalışmalar 45

3. MATERYAL VE METOT 49

3.1. Su Değirmenlerinin Genel Özellikleri 49

3.1.1. Tanım ve Tarihçe 49

3.1.2. Çalışma Prensipleri 51

3.1.2.1 Su Çarkları 53

3.1.2.2. Değirmen Taşları 60

3.1.2.3. Dövme Çekiçleri (Dink) 62

3.1.2.4. Su Alma Yapıları 63

3.1.3. Tarihi Su Değirmenlerinin Enerji Potansiyelleri 64
3.2. Çalışma Alanı 66
3.2.1. Genel Özellikleri ve Tarihi 66
3.2.2. İklim ve Su Kaynakları 68
3.2.3. Su Yapıları 70
3.2.4. Enerji Durumu 73
3.3. Debi Hesap Yöntemleri 75
3.3.1. Hız Alan Yöntemi 75
3.3.2. Anahtar Eğrisi Yöntemi 76
3.3.3. Manning Eşitliği 77
3.3.4. Su Yüzü Hızı 78
3.3.5. Entropi Yöntemi 78
3.4. Hidroelektrik Enerji Hesaplama Yöntemleri 79
3.4.1. Tek Nokta (Single Point, SP) Yöntemi 79
3.4.2. Çift Nokta (Double Point, DP) Yöntemi 79
3.4.3. Alt Drenaj (Sub Drainage, SD) Yöntemi 80
3.4.4. Enerji Ağacı (Energy Tree, ET) Yöntemi 80
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 83
4.1. Arazi Çalışmaları 83
4.1.1. Tespit Edilen Su Değirmenleri ve Özellikleri 85
4.1.1.1. Envanter Kaydı Bulunan Su Değirmenleri ve Özellikleri 86
4.1.1.2. Hevsel Bahçeleri'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri 87
4.1.1.3. Değirmenli Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri 93
4.1.1.4. Satı Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri 97
4.1.1.5. Bismil-Üçtepe Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri 101
4.2. Hidrolik ve Teknik Potansiyel Hesaplamaları 106
4.2.1. Debi-Hız Ölçümü Yapılabilen Değirmenler İçin Hesaplamalar 107

4.2.1.1 Hidrolik Hesaplamalar 107
4.2.1.2. Teknik Potansiyel Hesaplamaları 113
4.2.2. Debi-Hız Ölçümü Yapılamayan Değirmenler İçin Hesaplamalar 115
4.2.2.1. Hidrolik Hesaplamalar 115
4.2.2.2. Teknik Potansiyel Hesaplamaları 121
4.3. Finansal Hesaplamalar 122
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 127
6. KAYNAKLAR 133
ÖZGEÇMİŞ 147

ÖZET

DİYARBAKIR İLİNDEKİ TARİHİ SU DEĞİRMENLERİNİN KONUMLARININ VE HİDROLİK ENERJİ POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Zeynep AYKAÇ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2021

Son yıllarda artan çevre bilinci ile iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi konuların dikkat çekmesi ve bu konularda yapılan çalışmaların artması, enerji üretim tesislerinin bitki örtüsüne zarar vermeyen, çevre şartlarına daha uygun tesisler olarak yapılabilmesinin önemini arttırmıştır. Bundan dolayı yenilenebilir enerjiye olan ilgi artmış ve son yıllarda kullanıma sunulan enerji üretim tesislerinin çoğunluğu hidro, güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal gibi yenilenebilir enerji tesisleri olmuştur. Günümüzde, temiz enerji ihtiyacı ve sürdürülebilir elektrik üretimi nedeniyle hidroelektrik, enerji talebinin karşılanmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Özellikle küçük mikro hidroelektrik santrallerinin temiz, güvenilebilir ve çevreci bir enerji olmasının yanı sıra kırsal alanların gelişmesi için de fırsat oluşturması son yıllarda önemini ve uygulanabilirliğini dünya çapında arttırmıştır. Bu tez çalışmasının temel amaçlarından biri, tarihsel bilgi ve yeni teknik gelişmelere dayalı olarak suyu bir enerji kaynağı olarak kullanma olanaklarını göstermektir.

Özellikle kültürel mirasın korunması bağlamında tarihi su yapılarının restore edilip günümüze kazandırılması ve enerji üretiminde kullanımı son yıllarda artan bir öneme sahip olmuştur. Bu bağlamda ülkemizde de tarihi su yapılarının önemini vurgulamak, korunmasını sağlamak ve enerji üretiminde kullanabilirliğini araştırabilmek için tarihi su yapılarının genel bir envanterinin çıkarılması gerekmektedir.

Ekosistemin, canlıların ve kültürel mirasın korunması, değerlerinin sürdürülmesini sağlamak enerji kuramının temel ilkelerinden biri olarak benimsenmiş ve uygulama kararlarında belirleyici rol oynamıştır. Bu tez çalışmasında; Diyarbakır ilinde yer alan tarihi su değirmenleri araştırılmış, konumları tespit edilerek kanal boyutları, depolama hazneleri, su düşü yüksekliği ve su akım hızı ölçümleri alınmış, isimlendirmeleri yapılarak envanterleri oluşturulmuş ve hidroelektrik enerji üretme potansiyelleri belirlenmiştir.

Çalışmalar kapsamında Diyarbakır ilinde 24 adet su değirmenin varlığı tespit edilmiş ve 6 su değirmeninden de hidrolik ve hidrolojik veriler elde edilmiştir. Belirlenen bu 6 su değirmeninin Satı Köyü'nde yer alan iki tanesi için su kaynağında da ölçümler yapılarak, Hız-Alan Yöntemi ile debiler hesaplanmış ve Tek Nokta (Single-Point, SP) yöntemi ile de teknik enerji potansiyeli belirlenmiştir. Hevsel Bahçesi'nde yer alan diğer dört değirmen için ise arazide debi ölçümü yapılmadan, su değirmenlerine ait ölçümler ile matematiksel analizler kullanılarak hidrolik veriler elde edilmiştir. Hız ve debi belirlendikten sonra aynı yöntem olan Tek Nokta (Single-Point, SP) yöntemi ile de teknik enerji potansiyeli belirlenmiştir. Enerji miktarları Satı Köyü (2 adet) ve Hevsel Bahçesi'nde (4 adet) yer alan değirmenler için sırası ile 3.2 kW, 2.9 kW ve 3.1 kW, 2.8 kW, 2.2 kW, 2.8 kW olarak

hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak belirlenen bu enerji değerleri için finansal analizler yapılmış ve bir şebekeye göre sağladığı fiyat karşılaştırmaları ile lisanssız enerji üretiminde elde edilebilecek gelir belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır, Tarihi Su Değirmenleri, Hidroelektrik Enerji, Diyarbakır Su Değirmenleri, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE LOCATION AND HYDRAULIC ENERGY POTENTIALS OF HISTORIC WATER MILLS IN DİYARBAKIR PROVINCE

DOCTORAL THESIS

Zeynep AYKAÇ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2021

In recent years, increasing awareness of the environment and issues such as climate change and global warming and the increase in studies on these issues have increased the importance of building energy production facilities as facilities that do not harm vegetation and are more suitable for environmental conditions. Therefore, interest in renewable energy has increased and most of the energy generation facilities that have been put into use in recent years have been renewable energy facilities such as hydro, solar, wind, biomass, geothermal. Today, due to the need for clean energy and sustainable electricity generation, hydropower plays a central role in meeting energy demand. Especially, small micro hydroelectric power plants, as well as being a clean, reliable and environmentally friendly energy, provide opportunities for the development of rural areas, has increased its importance and applicability worldwide in recent years. One of the main objectives of this thesis is to show the possibilities of using water as an energy source based on historical knowledge and new technical developments.

Especially in the context of preserving cultural heritage, the restoration of historical water structures and their use in energy production have gained increasing importance in recent years. In this context, a general inventory of historical water structures should be made in order to emphasize the importance of historical water structures in our country, to ensure their protection and to investigate their use in energy production..

The protection of the ecosystem, living things and cultural heritage and ensuring the maintenance of its values have been adopted as one of the basic principles of energy theory and played a decisive role in implementation decisions. In this thesis; The historical water mills in Diyarbakır were researched, their locations were determined, canal dimensions, storage reservoirs, water head and water flow velocity measurements were taken, their inventories were made by naming them and their hydroelectric energy generation potential was determined.

Within the scope of the studies, the existence of 24 water mills in Diyarbakır was determined and hydraulic and hydrological data were obtained from 6 water mills. For two of these 6 water mills located in Satı Village, measurements were made at the water source, flow rates were calculated with the Speed-Area Method and the technical energy potential was determined with the Single-Point (SP) method. Hydraulic data were obtained for the other four mills in Hevsel Garden by using mathematical analysis without making flow measurements in the field. After determining the speed and flow rate, the technical energy potential was determined with the same method, Single-Point (SP) method. Energy amounts; it is calculated as 3.2 kW, 2.9 kW and 3.1 kW, 2.8 kW, 2.2 kW, 2.8 kW for the mills located in Satı Village (2 units) and Hevsel Garden (4 units), respectively. In addition to these, financial analyzes have been made for these determined energy values and the income that can be obtained in unlicensed energy production has been determined by price comparisons provided by a network.

Keywords: Diyarbakır, Historical Water Mills, Hydroelectric Energy, Diyarbakır Water Mills, Renewable Energy

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2. 1.	Elektrik enerji üretim kaynaklarının dünya, Avrupa ve TürkiyeDurumu	15
Çizelge 2. 2.	Birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç miktarları	15
Çizelge 2. 3.	Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi (2000-2017)	16
Çizelge 3. 1.	Diyarbakır ilinin akarsuları	70
Çizelge 3. 2.	Diyarbakır HES'leri	75
Çizelge 4. 1.	Diyarbakır ilinde tespit edilen su değirmenleri	105
Çizelge 4. 2.	En kesit dilimlerine ait derinlik ölçümleri	111
Çizelge 4. 3.	En kesit dilimlerine ait hesaplamalar	113
Çizelge 4. 4.	Satı Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait teknik güç potansiyelleri	114
Çizelge 4. 5.	Hevsel Bahçeleri'nde yer alan su değirmenlerinin ölçülen ve hesaplanan özellikleri	121
Çizelge 4. 6.	Hevsel Bahçeleri'nde yer alan su değirmenlerine ait teknik potansiyeller	122
Çizelge 4. 7.	Kırsal bölgelere yönelik yenilenebilir enerji sektöründeki enerji üretim maliyeti hesabı	123
Çizelge 4. 8.	Mesken aboneleri için elektrik birim fiyatları	124
Çizelge 4. 9.	Su değirmenlerinin mesken tarifesine göre gelirleri	125

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2. 1.	Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (1970-2020)	10
Şekil 2. 2.	Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre değişimi (1970–2020)	11
Şekil 2. 3.	Enerji kaynakları sınıflandırması	13
Şekil 2. 4.	Dünyada elektrik üretimi oranları	14
Şekil 2. 6.	10 ülkenin ve dünyanın geri kalanının hidroelektrik küresel kapasite payları	21
Şekil 2. 7.	Türkiye'nin hidroelektrik üretiminde bir önceki yıla göre yıllık değişim (1966-2019)	25
Şekil 2. 8.	Şamran Kanalı	30
Şekil 2. 9.	Haburman Köprüsü	30
Şekil 2. 10.	a) Hayvan gücü ile çalışan pistonlu pompa düzeneği b) su kaldırma düzeneği	33
Şekil 2. 11.	6 silindirli su pompası (Takîyüddîn)	34
Şekil 2. 12.	Jean Victor Poncelet'in su türbini tasarımı	35
Şekil 2. 13.	Benoit de Fourneyron'un su türbini tasarımı	36
Şekil 3. 1.	Su gücü ile çalışan un değirmenleri restitüsyonu (Barbegal) 51	
Şekil 3. 2.	Öğütme işleminde insan (a) ve hayvan gücü (b) kullanımı	52
Şekil 3. 3.	Hayvan gücü ile çalışan değirmen tasarımı	52
Şekil 3. 4.	Yatay milli düşey su çarkı ve güç aktarım dişlileri	54
Şekil 3. 5.	Geliştirilmiş yatay milli su çarkları a) alttan çevirmeli, b) üstten çevirmeli ve c) göğüslemeli	55
Şekil 3. 6.	Yatay milli alttan çevirmeli düşey çarkın çalışma prensibi	56
Şekil 3. 7.	Vs, Vç ve P (suyun hızı, çark hızı ve güç) arasındaki ilişki	56
Şekil 3. 8.	Yatay milli üstten çevirmeli düşey su çarkı çalışma prensibi	57
Şekil 3. 9.	Yatay milli göğüslemeli düşey su çarkı örnekleri- Güney Fransa	57
Şekil 3. 10.	Düşey milli yatay su çarkı örneği	58
Şekil 3. 11.	Yatay çarklı değirmende değirmen taşı-çark sanal rekonstrüksiyonu	59
Şekil 3. 12.	Döngüsel hareketli değirmen taşları (Hazen 1996)	61
Şekil 3. 13.	Güney Fransa'da yer alan eksenel hareketli değirmen taşı örnekleri	62
Şekil 3. 14.	Dink örneği	62
Şekil 3. 15.	Çalışma alanın yer bulduru haritası	67
Şekil 3. 16.	Yukarı Dicle Havzası ve çevresinin sayısal arazi modeli	69
Şekil 3. 17.	Diyarbakır ilinde yer alan bazı tarihi su yapıları	72
Şekil 3. 19.	Anahtar eğrisi	77

Şekil 4. 1. Salname-i Diyarbekir adlı eserde yeralan Dahil-i Vilayette Kain Emlak-ı Mütenevvi'ayı Mübeyyin Cetveline ait bir görüntü 84
Şekil 4. 2. Türkiye Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğü'nde envanter kaydı bulunan su değirmenleri 86
Şekil 4. 3. DSR0101 su değirmeni; a) su kanalı-ark, b) kanalı taşıyan ayaklar 88
Şekil 4. 4. DSR0101 su değirmeni; a) depolama haznesi-kuyu (yandan görünüm), b) değirmen binası 88
Şekil 4. 5. DSR0102 su değirmeni; a) su kanalı-ark (üstten görünüm), b) depolama 89
Şekil 4. 6. DSR0102 su değirmeni; a) değirmen binası, b) su kanalı- ark (yandan görünüm) 90
Şekil 4. 7. DSR0103 su değirmeni; a) depolama haznesi, b) değirmen binası 90
Şekil 4. 8. DSR0104 su değirmeni; a) depolama haznesi (yandan görününüm), b) depolama haznesi (üstten görününüm) 91
Şekil 4. 9. DSR0106 su değirmeni; a) değirmen taşı- çark, b) depolama haznesi-cebri borular 92
Şekil 4. 10. DSR0106 su değirmeni; a) su arkı ve depolama haznesi (üstten görünüm), b) kanal ve kanalı taşıyan ayaklar (yandan görünüm) 92
Şekil 4. 11. DSR0107 su değirmenine ait kalıntılar 93
Şekil 4. 12. Değirmenli Köyü google earth görüntüsü 94
Şekil 4. 13. DDC0101 su değirmeni haznesi 95
Şekil 4. 14. Değirmenli Köyü'nde yer alan birden fazla su değirmenine ait su kaynağı 95
Şekil 4. 15. Değirmenli Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait kuyu ve kanal yapıları 96
Şekil 4. 16. Değirmenli Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait çark ve değirmen taşı 96
Şekil 4. 17. Su değirmenleri DSR0108 ve DSR0109'dan bir görüntü 97
Şekil 4. 18. DSR0108 su değirmeni; a) su kanalı, b) depolama haznesi, c) değirmen binası 98
Şekil 4. 19. DSR0108 su değirmeni; a) depolama haznesi iç görünümü, b) su kanalı ve depolama haznesi üst görünüm 98
Şekil 4. 20. DSR0109 su değirmeni a) Su kanalı, b) depolama haznesi, c) değirmen binası (yandan görünüm) 99
Şekil 4. 21. DSR0109 su değirmeni; a) depolama haznesi iç görünümü, b) su kanalı ve depolama haznesi 100
Şekil 4. 22. DSR0109 su değirmeninin değirmen binası 100
Şekil 4. 23. DSR0110 su değirmenine ait çark ve depolama haznesi 101
Şekil 4. 24. DBS0101 su değirmeni kanal ve depolama haznesi (sağdan görünüm) 102
Şekil 4. 25. DBS0101 su değirmenine ait kanal ve depolama haznesi (soldan görünüm) 102
Şekil 4. 26. DBS0101 su değirmenine ait kanal ve depolama haznesi (üstten görünüm) 103
Şekil 4. 27. DBS0101 su değirmenine ait yan savak 103
Şekil 4. 28. DBS0101 su değirmenine ait değirmen binası 104
Şekil 4. 29. DSR0108 ve DSR0109 su değirmenlerine ait su kaynağı 107
Şekil 4. 30. Debi ölçümünde kullanılacak uzunluğun belirlenmesi 107

Şekil 4. 31. Hız ölçümü yapılma anına ait fotoğraf 109
Şekil 4. 32. En kesitlerde dilim derinlikleri ölçümüne ait fotoğraf 110
Şekil 4. 33. Ölçümlere ait enkesitin dilimlere bölünme şekli 112
Şekil 4. 34. Suyun hazneye ulaştığı nokta ile su jeti oluşan noktayı gösteren 116

KISALTMA VE SİMGELER

A : En kesit alan (m^2)
B.G. : Beygir Gücü
^oC : Santigrad derece
D : Çap (m)
H : Düşü yüksekliği (m)
GWh : Gigawatt saat
KWh : Kilowatt saat
m : Metre
mm : Milimetre
M.Ö. : Milattan önce
M.S. : Milattan sonra
MW : Megawatt
N : Devir sayısı (d/d, devir/dakika)
N.P. : Türbin gücü (kW)
Q : Debi (m^3/s)
R_H : Hidrolik yarıçap (m)
s : Saniye
TWh : Terawatt saat
U : Çevresel hız
V : Hız (m/s)
η : Hidrolik verim
AB : Avrupa Birliği
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ark. : Arkadaşları
diğ. : Diğerleri
ÇED : Çevresel Etki Değerlendirmesi
DP : Çift Nokta (Double-Point)
DSİ : Devlet Su işleri
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdairesi
EPDK : Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu
ET : Enerji Ağacı (Energy Tree)
ETKB : Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ : Elektrik Üretim A.Ş.
GAP : Güneydoğu Anadolu Projesi
HES : Hidroelektrik Santral

IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IHA	: Uluslararası Hidroenerji Birliği
KÖHES	: Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santral
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MNRE	: Yeni ve Yenilenebilir Enerji Başkanlığı
PİGM	: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
RH	: Restor Hydro
SD	: Alt Dreanaj (Sub-Drainage)
SP	: Tek Nokta (Single-Point)
TDK	: Türk Dil Kurumu
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim AŞ
TEK	: Türk Elektrik Kurumu
TÜBA	: Türkiye Bilimler Akademisi
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Sanayi ve Kalkınma Organizasyonu
YE	: Yenilenebilir Enerji
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YİD	: Yap işlet devret

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki tatlı su miktarı sabit iken nüfusun gittikçe artması ve son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelere ve refah düzeyinin yükselmesine bağlı olarak, su ve enerji ihtiyacı çeşitlenerek artmaktadır. Bundan dolayı ülkemiz, en küçüğünden en büyüğüne kadar bütün su kaynaklarını gerçekçi bir şekilde belirlemek ve doğaya zarar vermeden etkili bir şekilde kullanmak zorundadır. Dünyada nüfus artışına paralel olarak enerji gereksinimi de artmaktadır. Bu da enerjinin karşılanmama kaygısını oluşturmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması, özellikle kullanılan enerji kaynaklarının fosil kökenli ve nükleer olması ve bunun ekosisteme zarar verme potansiyelinin olması ve dünyadaki politik durum bu kaygıları daha da artırmaktadır. Son zamanlardaki ekonomik düzende, artan üretim ihtiyacını karşılamak amacı ile doğal kaynakların bilinçsizce tüketimi ekosistem dengesini bozarak canlı yaşamın sürekliliğini tehdit etmektedir. Ayrıca günümüzde küresel iklim değişikliğinin söz konusu olmasından dolayı küresel çapta politikacılar mevcut enerji kaynaklarına sahiplenme yollarına giderken, bilim ve teknoloji çevreleri ise yeni enerji kaynaklarını araştırmaya yönelmektedir.

Ülkemizde enerji ve yenilenebilir enerji ile ilgili mevzuatların ve yönetmeliklerin AB müktesebatına bağlı olarak değişmesi çok küçük su kaynaklarının da araştırılmasına ve değerlendirilmesine fırsat tanımaktadır (Alashan ve ark. 2016). Toprak (2011), enerji kaynaklarında yaşanan bu arayışın özellikle maliyeti az, yenilenebilir ve ekosisteme zarar vermeyen (temiz) kaynakların bulunması yönünde olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Toprak (2014), "temiz ve çevre ile uyumlu, yenilenebilir ve ham madde tüketmeyen enerji kaynaklarının başında hidrolik enerji gelmektedir" cümlesi ile hidrolik enerjinin, teknik açıdan yararlanılabilir, yenilenebilir, temiz, çevresel etkileri (ekosisteme etkisi) diğer enerji kaynaklarına göre az, maliyeti düşük ve tamamıyla yerli bir enerji kaynağı olması bakımından çok önemli olduğunu vurgulamıştır.

Günümüzde yenilenebilir enerjiye olan ilginin artması ile birlikte mikro taşınabilir hidroelektrik santraller (HES) ön plana çıkmıştır. Mini ve mikro hidroelektrik tesislerinin genel anlamda olumlu yanları; büyük yatırımlara gerek duyulmaması, artan nüfus ve enerji istemi nedeniyle hidroelektrik potansiyelin neredeyse tamamından

yararlanmayı sağlamaları, malzeme, işgücü, finansal kaynak gibi yerel olanaklar ile işletmeye alınabilmeleri ve daha temiz, daha yeşil, yenilenebilir enerji kavramının gerektirdiği ölçütleri sağlamaları olarak sayılabilir. Bütün bu olumlu yanları ile mini ve mikro hidroelektrik enerjinin kullanım alanları genişlemekte ve ekonomik kalkınmaya önemli etkisi olmaktadır. Ayrıca, ekosistemin, canlıların ve kültürel mirasın korunması, değerlerinin sürdürülmesini sağlamak enerji kuramının temel ilkelerinden biri olarak benimsenmiş ve uygulama kararlarında belirleyici olmuştur. Bu bağlamda tarihi su yapılarının restore edilip enerji üretiminde kullanımı son yıllarda artan bir öneme sahip olmuştur.

Halifeoğlu ve ark. (2011) ile Kavak ve ark. (2016), "tarihi yapılar, sadece bulundukları bölgelerde daha önce yaşamış insanların kültürlerini, alışkanlıklarını, medeniyet düzeylerini, dini veya dünya görüşlerini, dillerini, kısaca yaşamını yansıtmakla kalmaz aynı zamanda özellikle tarihi su yapıları yapıldıkları dönemlerde bulundukları bölgelerin hidrolojik, meteorolojik ve jeolojik özellikleri gibi doğal yapısı hakkında da bilgiler vermektedir" demektedir. Tarihi su yapıları; tarih, arkeoloji, turizm, çevre ve mühendislik gibi alanların tamamında yer alan bir konu olduğu için tam anlamı ile tarihi su yapıları, suyun değeri, korunması, tasarruflu kullanımı, enerji üretimi gibi konuların tamamını bir arada kapsayan çalışmalara pek rastlanmamaktadır. Bu bağlamda suyun önemini ve tarihi su yapılarının korunmasını vurgulamak için tarihi su yapılarının genel bir envanterinin çıkarılması gerekmektedir. Karakaya ve ark. (2017a), Karakaya ve ark. (2017b), Aykaç ve ark. (2017) ile Aykaç ve ark. (2018), Diyarbakır'ın çeşmeleri, köprüleri ve değirmenleri gibi tarihi su yapılarının kısmen bir envanterini vermektedir. Su değirmenleri ile ilgili olarak dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde; tahıl öğütme ve ezme gibi işlemlerde kullanılan su değirmenlerinin bazılarının faaliyetlerini halen sürdürebildiği, ancak çoğunluğunun gelişen yeni ekonomik düzende işlevsiz kalarak terk edildiği görülmüştür. Bundan dolayı çoğu fiziksel olarak büyük hasar görmüş veya yıkılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan literatür çalışması sonucunda tarihi su yapılarından biri olan su değirmenlerinin yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı korunması gerektiği ve hem kültürel, hem eski işlevleri (öğütme) ile hem de elektrik enerjisi üretiminde yeniden kullanım amacı ile enerji kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Enerji, insanlık tarihininin başlangıcından günümüze kadar yaşamın sürdürülebilmesi adına; gelişerek, çeşitlenerek ve önemini arttırarak hayatımızdaki yerini korumuştur. Nüfus artışına paralel olarak enerji gereksinimi arttığı için enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Bu da enerjinin üreticiden tüketiciye kesintisiz, düşük maliyetli ve kaliteli bir şekilde iletilmesi gerekliliğini ön plana çıkarmıştır. Bunun için de güç sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Enerji üretim tesislerinin yerleşim yerlerine uzaklığı veya genişleyen yaşamsal alan nedeni ile enerji uzun iletim hatları ile taşınarak maliyeti çok yüksek enterkonnekte sistemlerinin kullanılmasına sebep olmuştur. Fakat, enterkonnekte sistemlerde yaşanan herhangi bir gerilim çökmesi milyonlarca kişiyi etkilemektedir. 2003 yılında İsveç'te yaşanan çökme 4 milyon insanı, aynı yıl Amerika ve İtalya'da yaşanan çökmeler 100 milyonun üzerinde kişiyi etkilemiştir (URL-1). Son olarak da Ülkemizde 2015 yılında yaşanan sistem çökmesi sonucunda bazı bölgeler etkilenmiş ve birçok insan saatlerce elektrik alamamıştır (Türkiye Proje Grubu, 2015). Dünyada son zamanlarda yaşanan bu gerilim çökmeleri aslında küçük enterkonnekte sistemlerinin büyük sistemlere göre daha kararlı bir yapıda olduğunu göstermektedir. Ayrıca böyle büyük enterkonnekte sistemlerde yaşanan bu gibi problemlerin tamirleri de küçük enterkonnekte sistemlerine göre çok uzun zaman almaktadır. Örneğin; Amerika'da yaşanan çökmenin giderilmesi bir günden fazla, İtalya'dakinde ise 16 saatten fazla sürmüştür.

Diğer taraftan, enterkonnekte şebeke nedeniyle uzayan iletim hatlarında ciddi enerji kayıpları meydana gelmektedir. Enerji, hızlandırılmış bir ekonomik gelişme için temel girdilerden biridir. Gelişimin gerçek göstergesinin, kullanılan enerjinin büyüklüğü değil, sağlanan enerji hizmetlerinin seviyesidir. Bundan dolayı, su değirmenlerinin hidrolik enerji üretiminde kullanılması, temiz enerjinin yanı sıra enterkonnekte şebeke bağımlılığından da kurtararak, iletim tesisleri masrafları ile hatlardaki enerji kayıplarının önlenmesinde büyük katkısı olacağı düşünülmektedir.

Su değirmenlerinin çalışma prensibi potansiyel enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülerek hidrolik bir güç elde edilmesine dayanır. Potansiyel enerji ilk olarak kinetik enerjiye daha sonra mekanik enerjiye dönüştürülerek güç elde edilir. Su kaynağına yakın bir bölgede inşa edilen ve su gücü ile çalışan su değirmenleri, ilk yıllarda öğütme işlemi ile un ya da hayvan yemi elde etmek için kullanılmıştır. Fakat

teknoloji ve sanayinin gelişmesine paralel olarak su değirmenleri günümüzde belirtilen amaç için kullanılmamaktadır.

Diyarbakır, Dicle Nehri başta olmak üzere su kaynakları açısından önemli bir bölgedir ve birçok su yapısına ev sahipliği yapmaktadır. Özellikle çok sayıda su değirmeni bulunması nedeni ile çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmanın amacı, Diyarbakır ilinde yer alan çalışır veya çalışmaz durumda olan ulaşılabilir tüm değirmenlerin konumlarını, su kaynaklarını, aktif kaynağa sahip değirmenlerin debilerini tespit etmek ve hidrolik enerji üretiminde kullanılıp kullanılamayacağını araştırmaktır. Böylece bölgedeki su değirmenleri tespit edilmiş ve yenilenebilir enerjiye olan katkısı araştırılmış olacaktır. Tespit edilen tüm değirmenler koordinat ve fotoğrafları ile pilot bölgede seçilen değirmenlerin ise ek olarak arazi çalışmaları ile literatüre kazandırılarak kayıt altına alınmış ve envanter oluşturulmuş olacaktır. Bunun yanı sıra pilot bölgede seçilen değirmenlerin hidrolik enerji potansiyelleri de belirlenmiş olacaktır. Böylece bu değirmenler restorasyona ve restorasyondan sonra ise gerek enerji üretimi gerekse orijinal fonksiyonu için kullanıma hazır hale gelecektir. Yenilenebilir Enerji (YE) kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılması, özellikle kırsal bölgelerin kalkınmasına ve sosyoekonomik gelişime katkıda bulunması nedeni ile önemli bir yeri vardır. Bundan dolayı; su değirmenleri, enerji üretiminde kullanılması ile ekonomiye katma değer sağlarken, orijinal fonksiyonu ile kullanımı da turizme kazandırılmış olacaktır.

Tez çalışması kapsamında öncelikle mevcut ve güncel literatür incelenmiş ve konuya ilişkin olanlar değerlendirilip sınıflandırılmıştır. Konu ile ilgili yapılan literatür araştırmalarının sonucunda, ilk olarak "Türkiye'nin Enerji Durumu" başlığı altında "Yenilenebilir Enerji" ve "Hidrolik Enerji" ile ilgili, daha sonra da "Tarihi Su Yapıları" ve "Su Gücünün Gelişimi" ve son olarak da "Su Değirmenlerinin Gelişimi" olarak üç ana başlık altında incelenmesinin tezin planlı bir şekilde ilerlemesi açısından uygun olduğu görülmüştür.

Yenilenebilir enerjinin dünyada ve ülkemizde önemi ayrıntılı olarak araştırılmış ve buna ek olarak yenilenebilir enerjiye yönelim için atılan adımlar ve bu adımların yenilenebilir enerji ve hidrolik enerjiye katkısı araştırılmıştır. Su gücü ile çalışan

değirmen sistemleri, sistem elemanları ve kullanım alanları açıklanmıştır. Ayrıca Su değirmenlerinin tarihçesi, geçmişteki ve günümüzdeki kullanım amaçları, çalışma prensipleri ve hidrolik enerji üretme potansiyelleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Daha sonra, çalışma alanın havza özellikleri, hidrolojik özellikleri araştırılarak, Diyarbakır'da yer alan Su değirmenlerinin konumlarının tespiti olarak ikinci aşamaya geçilmiştir. Çalışma alanında yer alan su değirmenlerinin konumları tespit edilip ölçüm alınabilecek durumda olanlardan ölçümler alınıp bu değirmenler fotoğraflanmıştır. Ayrıca konumları belirlenen Su değirmenleri arasından pilot bölge seçilerek iki farklı alanda arazi çalışmaları ile hidrolojik ölçümler yapılarak, suyun kaynağı ve debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Debi ölçümü için kullanılabilecek yöntemler belirlenmiş en uygun olanına karar verilip uygulanmıştır.

Ölçüm kolaylığı, su kaynağının varlığı, kaynağın derivasyon şartları, değirmenlerin sahipliği, restorasyon imkanları ve benzeri kriterler göz önünde bulundurularak Diyarbakır-Merkeze (Sur) bağlı Satı Köyü'nde bulunan iki pilot değirmen ve Diyarbakır-Merkeze (Sur) bağlı Hevsel Bahçelerinde yer alan yedi değirmenden dördü seçilmiştir. Hem bu değirmenlerde hem de su kaynağında gerekli ölçüm çalışması yapılmıştır. Satı Köyü ve Hevsel Bahçeleri için farklı uygulamalar yapılarak su değirmeninin enerji potansiyeli hesaplanarak katkısı belirlenmiştir. Satı Köyü için hidrolik ölçümler yapılıp hız alan yöntemi ile en kesitlere bölünerek debi belirlenmiş ve enerji üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Hevsel Bahçeleri için ise sadece değirmene ait teknik ölçmlerden faydalanarak hidrolik ve matematiksel analizler kullanılmış ve debi belirlenerek üretilebilecek teknik enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Pilot değirmenlerde yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler dahilinde uzman görüşü alınarak üretilebilecek enerjinin kullanılabileceği alanlar belirlenmiştir.

Tez genel olarak beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuya dair genel bir giriş yapılmış, konunun seçilme nedeni, çalışmanın önemi, amacı, kapsamı, ve yönteminden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, yapılan literatür araştırmaları dikkate alınarak önceki döneme ait yapılan çalışmaların özetleri verilmiştir. Bu bölüm de kendi içerisinde enerji

kaynakları, tarihi su yapıları ve su gücü, su değirmenleri ve debi ölçme yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmaların yer aldığı diğer çalışmlar olmak üzere dörde ayrılmıştır. Enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji, hidrolik enerji ve mini ve mikro enerji olmak üzere üçe ayrılırken; su değirmenleri ile ilgili çalışmalar ise konunun önemini belirtmek amacı ile tarihi su yapıları ve enerji kaynağı olarak su değirmenleri olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Dünyadaki enerji miktarına, Türkiye'nin enerji piyasasında dünyadaki yerine, Türkiye'deki enerji çeşitlerine ve bunların üretim-tüketim miktarlarına, yenilenebilir enerjinin önemine, çeşitlerine ve ülkemizdeki kullanım oranlarına ve son olarak da bu oranlar içinde hidroelektrik enerjinin önemine yer verilmiştir. Ayrıca mikro hidroelektrik enerjinin tanımına ve üretimini ön plana çıkaran sebeplere de bu bölümde yer verilmiştir. Diğer bölümünde ise bazı tarihi su yapılarının ilk örneklerine, tarihi gelişimine ve tarihi su yapıları ile ilgile diğer genel bilgilere verilmiştir. Buna ek olarak bu bölümde tarihi su yapılarının gelişimine paralel olarak gelişen su gücünün tarihçesi verilmiştir. Su gücü kullanımı için yapılan icatlara, kullanılan yöntemlere ve teknolojik gelişmelere değinilmiştir.

Üçüncü bölüm ise kendi içerisinde “Su Değirmenlerinin Genel Özellikleri”, “Çalışma Alanının Genel Özellikleri”, "Debi Hesap Yöntemleri" ve " Hidroelektrik Enerji Hesaplama Yöntemleri" olmak üzere dörde ayrılmıştır. Tez çalışmasının kapsamını oluşturan su değirmenlerinin tanımına, tarihçesine, çalışma prensiplerinde su çarklarının sınıflandırılmasının, değirmen taşlarının, su alma yapılarının önemine bu bölümün ilk başlığında yer verilmiştir. Ayrıca bu bölümde su değirmenlerinin enerji üretme potansiyeli dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalarla örneklendirilmiştir. Üçüncü bölümün ikinci kısmında ise, çalışma alanının genel, hidrolojik ve havza özellikleri ile çalışma alanında yer alan su yapılarının kısa geçmişi incelenmiştir. Bu bölümün üçüncü ve dördüncü kısmında ise sırası ile debi ve hidroelektrik enerji hesaplama yöntemlerine değinilmiş ve bu yöntemler açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünü oluşturan “Bulgular ve Tartışma” bölümde ise çalışma alanında yapılan araştırmalar neticesinde tespit edilip koordinatları belirlenen ve fotoğraflanan su değirmenlerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Bunlara ek olarak, yapılan arazi çalışmalarına ve arazide uygulanan yöntemlere değinilmiştir. Ayrıca debi ölçümü yapılarak hesaplanabilen ve debi ölçümü yapılmadan hidrolik ve matematiksel

analizler kullanılarak hesaplanılan teknik enerji potansiyeline bu bölümde ayrıntılı bir şekilde yer verilmiştir.

Son olarak beşinci bölümde, yapılan tüm çalışmalar değerlendirilmiştir. Su değirmenlerinin yapılarının kültürel miras olarak değer ve ölçütleri vurgulanmış, enerji üretme potansiyellerinin varlığı belirtilip, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde enerji, yenilenebilir ve hidroelektrik enerji kaynaklarının dünyadaki ve ülkemizdeki durumu, tarihi su yapılarının ve su gücünün tarihçesi ve kullanım alanları ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ve raporlar araştırılıp değerlendirilmiş ve bu çalışmalar ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

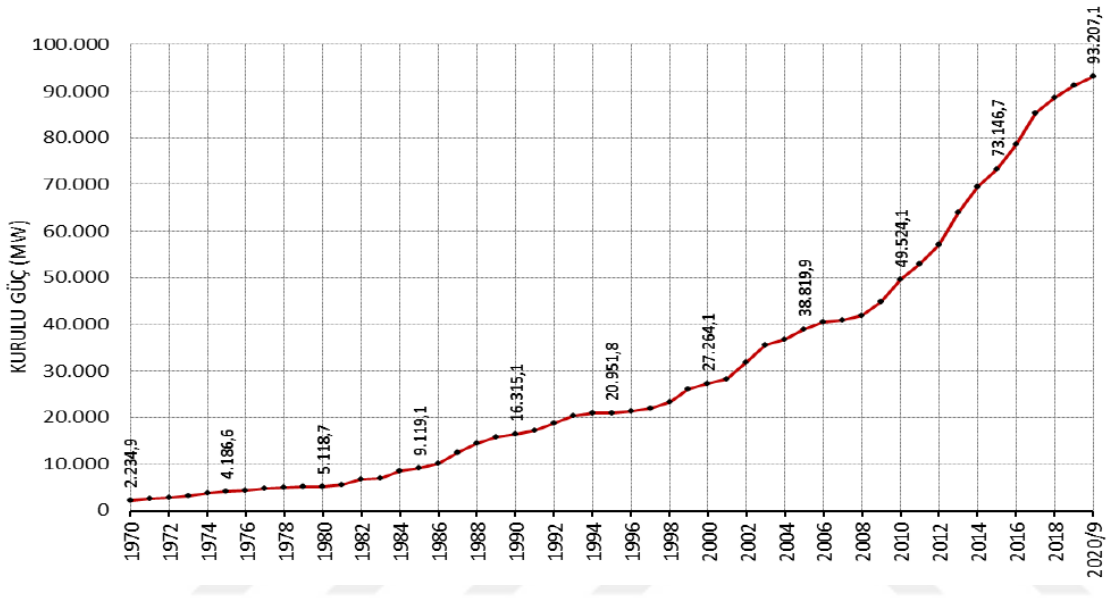
2.1. Enerji Kaynakları İle İlgili Çalışmalar

2.1.2 Enerji ve Yenilenebilir Enerji

Enerji, yaşamın sürdürülebilmesi adına insanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar en temel konu olmuş ve önemini arttırarak hayatımızdaki yerini korumuştur. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi ve sürdürülebilir kalkınmalarının en önemli yapı taşı enerji olarak görüldüğünden, birçok ülke ihtiyacı olan enerjinin belirli yasalar çerçevesinde nasıl temin edileceği üzerine projeler geliştirmektedir. İnsanlık tarihi boyunca enerji ve enerji kaynaklarından çeşitli şekillerde yararlanılmıştır. İlk olarak kas gücü kullanılarak elde edilen enerji hayatımıza girmiştir. Daha sonra gelişen teknoloji ile insanlık doğa ile bütünleştirdikleri bir enerji kullanımına geçiş yapmıştır.

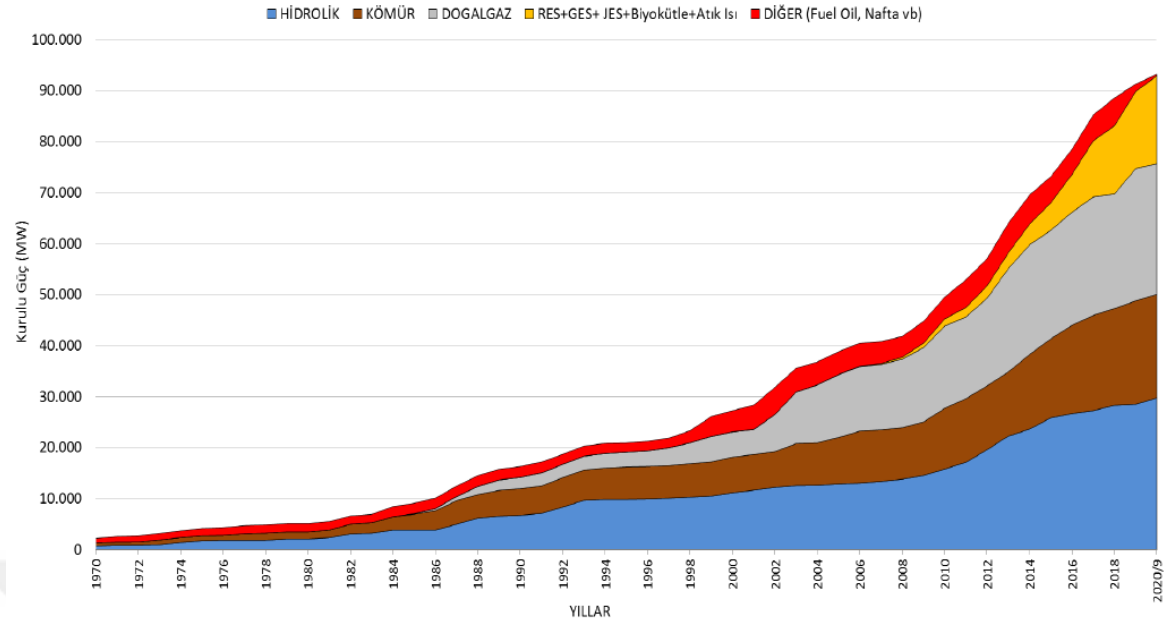
Dünyada ve ülkemizde enerji ihtiyacı nüfustaki artışa ve sanayideki gelişmeye bağlı olarak sürekli artmaktadır. Türkiye'nin ekonomik gelişmesine paralel olarak gelecek yıllarda elektrik enerjisine olan talebin artacağı düşünülmektedir. Bu konuda Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) yapmış olduğu çalışmalar; 2002 yılında Türkiye elektrik tüketimi talebi 129000 GWh/yıl iken bu rakam 2010 yılında 211000 GWh/yıl, 2015 yılında 260000 GWh/yıl şeklinde bu artışı göstermiştir. 2020 yılına kadar yıllık elektrik talep artış oranının en düşük % 6.7, en yüksek ise % 7.5 olarak gerçekleşeceği belirtilmiştir. Buna göre, Türkiye'nin 2020 yılında düşük elektrik enerjisi talebine göre 398160 GWh, yüksek elektrik enerjisi talebine göre 433900 GWh/yıl elektrik enerjisi gereksinimi ortaya çıkacağı düşünülmektedir. 2023 yılı için ise bu değerin büyük bir artış göstererek 450000 GWh/yıl'a çıkacağı öngörülmektedir (Yılmaz 2012; DSİ 2018). Bundan dolayı dünyadaki birçok ülke gibi ülkemiz de bu talebi karşılayabilmek için kurulu güç miktarını arttırmayı hedeflemiştir.

Ülkemiz için yıllara göre kurulu enerji gelişiminin verildiği grafik incelendiğinde 1970 yılında 2234.9 MW olan kurulu gücün, 2012 yılında 50000 MW'ın üzerine çıkarak, 2020 yılı Nisan ayında 91564.5 MW'a ve son olarak Eylül ayında 93207.1 MW'a ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (1970-2020) (TEİAŞ 2020)

1950'li yıllarda, yılda sadece 800 GWh enerji üretimi kapasitesine sahip ve 2012 yılına kadar mevcut enerji yapısı % 72 oranında dışa bağımlı olan Türkiye (Yılmaz 2012), bu oranı azaltabilmek için bir yandan sınırları içinde fosil enerji kaynakları hammaddesi arama çalışmaları yürütürken, diğer yandan da temiz enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımı konusunda çalışmalar yapmaktadır. Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücünü çeşitlendirerek sürekli arttırmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji olan hidrolik enerjide artışın diğer enerji kaynaklarına oranla yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.2). Ayrıca son yıllarda denizlerde (Akdeniz ve Karadeniz'de) petrol ve doğalgaz arama çalışmalarına da başlanılmıştır.



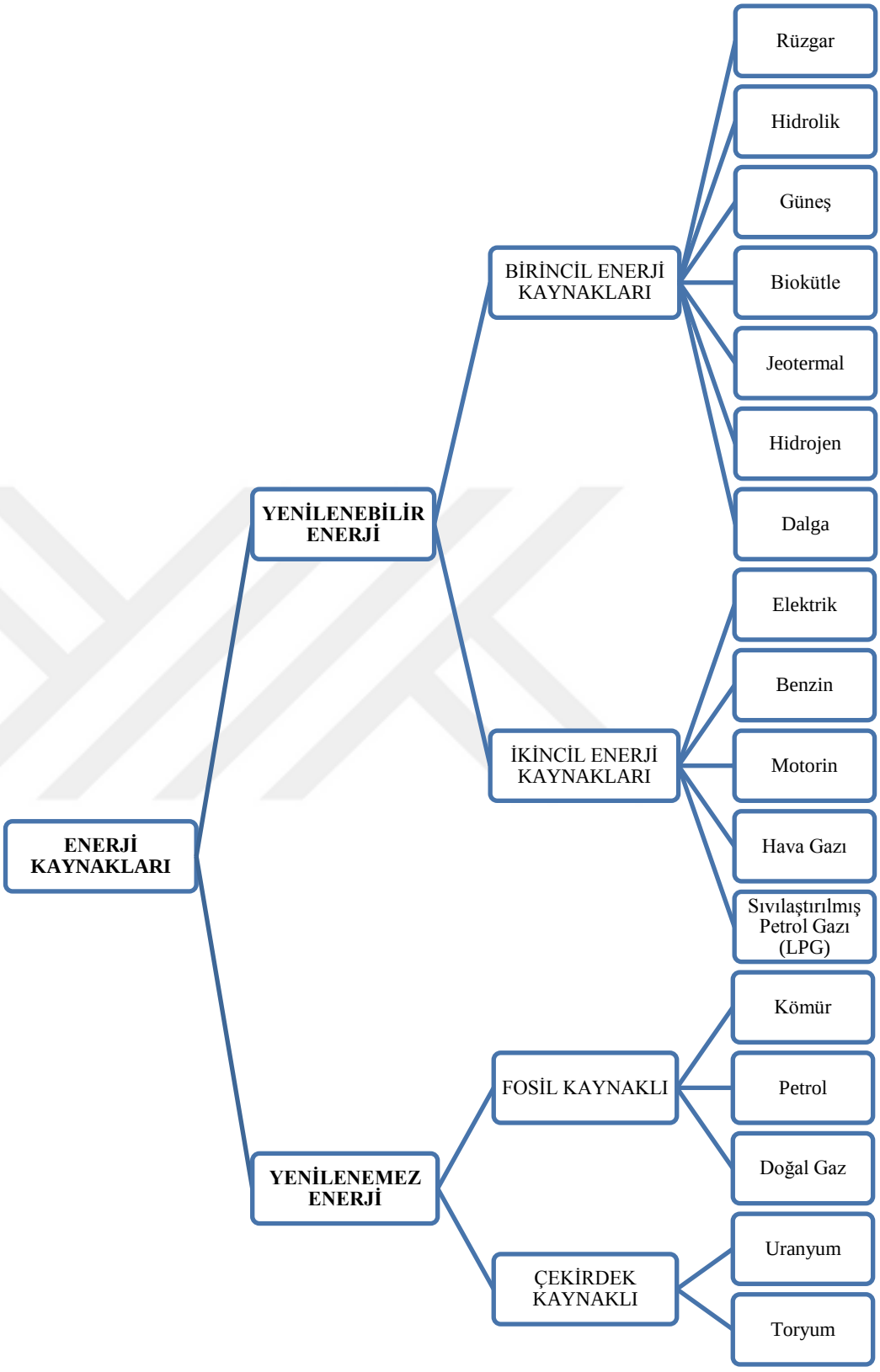
Şekil 2. 2. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre değişimi (1970–2020) (TEİAŞ 2020)

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınma seviyesinin en önemli göstergelerinden biri de elektrik enerjisi tüketimi oranıdır. Türkiye'de kişi başına yıllık elektrik tüketimi 2013 yılı için 3060 kWh (kilowatt saat) düzeylerinde iken, bu miktar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ortalamasının altındadır (DSİ 2013). 2018 yılı için ise bu değer artış göstermiş, kişi başına yıllık elektrik tüketimi 3500 kWh'a yükselmiş fakat yine de gelişmiş ülkelerin ortalamasının çok altında kalmıştır. Çünkü bu ortalama dünyada 2500 kWh ve gelişmiş ülkelerde ise 8900 kWh seviyesindedir (DSİ 2018). 2019 yılında ise bu değer 3697 kWh'e yükselmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2020).

Enerji, ekonomik ve sosyal açıdan bakıldığında bir ülkenin gelişiminde en önemli faktörlerden biridir. Enerji kaynakları Şekil 2.3'te detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Buna göre enerji kaynakları kullanışlarına göre, Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları olarak ikiye ayrılırken, yenilenemez enerji kendi içerisinde; fosil kaynaklı (kömür, petrol, doğal gaz), çekirdek kaynaklı (uranyum, toryum) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji ise Birincil Enerji Kaynakları ve İkincil Enerji Kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil enerji kaynakları dışarıdan müdahale edilmemiş, hiçbir değişime uğramamış enerji türüdür.

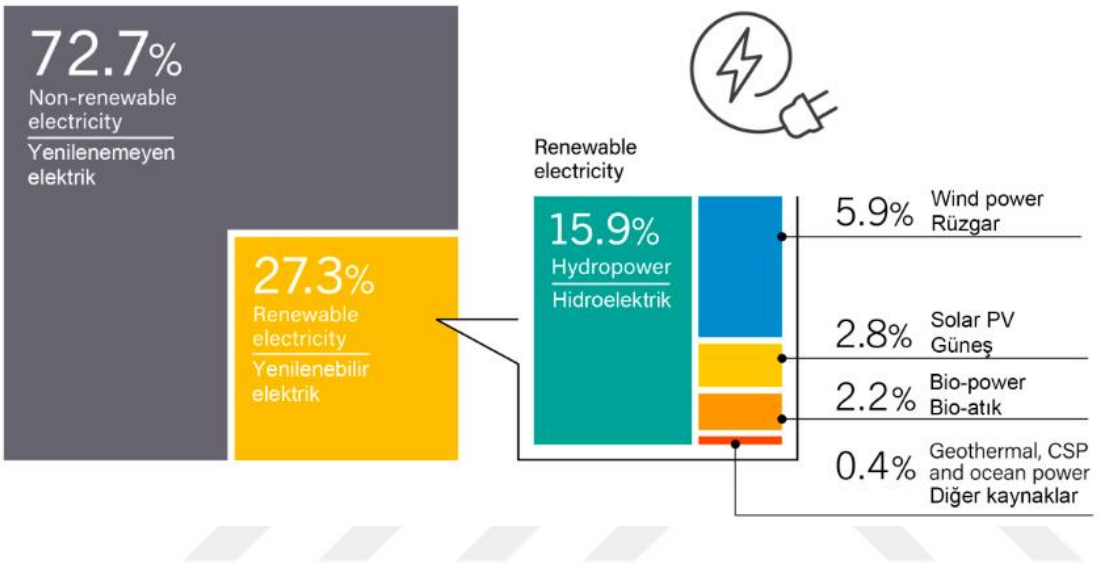
Birincil enerji kaynakları; kömür, doğal gaz, hidrolik, rüzgar, güneş, biokütle, jeotermal, hidrojen, dalga enerjileri olarak sınıflandırılırken, ikincil enerji kaynakları ise elektrik, benzin, motorin, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi sınıflara ayrılmaktadır (IHA 2018).

Benzer sınıflandırmalar farklı araştırmacılar tarafından da yapılmıştır (Durmuşoğlu 2016; Koç ve ark. 2018). Bu araştırmacılar; enerji kaynaklarını Yenilenemez (fosil) ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları olarak ikiye ayırmış ve yenilenemez enerji kullanımının arttığı dönem olarak Sanayi Devrimini göstermiştir.



Şekil 2. 3. Enerji kaynakları sınıflandırması (IHA 2018)

Genel olarak, 2019 yılının sonunda dünyada elektrik üretiminin yenilenemeyen enerji kapasitesinin küresel elektrik üretiminin tahmini %72.7'sini oluştururken, yenilenebilir enerji kapasitesi ise % 27.3'ünü oluşturmaktadır. Bu %27.3'lük üretim payının yaklaşık olarak % 58'ini hidroelektrik oluştururken, ardından % 22'lik pay ile rüzgar enerjisi, % 10 ile güneş enerjisi ve % 8 ile biokütle oluşturmaktadır (REN21 2020).



Şekil 2. 4. Dünyada elektrik üretimi oranları (REN21 2020, 2019 yılı için)

Elektrik enerji üretim kaynaklarının dünyadaki, Avrupa'daki ve Türkiye'deki durumunu veren Çizelge 2.1 incelendiğinde, 2017 yılı itibari ile Türkiye'de yanıcı yakıt olarak adlandırabileceğimiz yağ, atık, kömür gibi fosil kaynakların oranı % 71.2 ve hidroelektrik enerjinin oranı % 19.8 iken nükleer enerji ise bulunmamaktadır. Avrupa'da ise yanıcı yakıtlar % 49, hidroelektrik % 10.4 ve nükleer enerji ise % 25 oranındadır. Çizelge 2.1'den, ülkemizin yanıcı yakıt kullanımında maalesef dünya ortalamasının üstünde ve Avrupa ortalamasının ise yaklaşık 1.5 katı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte hidrolik enerjide hem dünya hem de Avrupa ortalamalarının üstündedir.

Çizelge 2. 1. Elektrik enerji üretim kaynaklarının dünya, Avrupa ve TürkiyeDurumu (Dündar ve ark. 2019, 2017yılı için)

	Yanıcı Yakıtların Oranı (%)	Nükleer (%)	Hidroelektrik (%)	Diğer Kaynaklar (%)
Türkiye	71.2	00.0	19.8	9.0
Avrupa	49.0	25.0	10.4	15.6
Dünya	67.4	10.4	16.6	5.6

TEİAŞ (2020) Nisan ayı raporunda Ülkemiz için birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç miktarları ile ilgili ayrıntılı bilgi vermiştir. Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi Ülkemizde en yüksek kurulu güç miktarı 25654 MW ile doğalgazlı santrallerde iken 20830.7 MW ile biriktirmeli HES'lerden ("Barajlı" olarak geçmektedir) elde edilen hidrolik enerji ikinci sırada yer almaktadır.

Çizelge 2. 2. Birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç miktarları (TEİAŞ 2020)

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)	Toplam Güç İçinde Oranı (%)
Akarsu	559	7882.7	8.609
Asfaltit Kömür	1	405.0	0.442
Atık Isı	84	363.8	0.397
Barajlı	126	20830.7	22.750
Biokütle	186	824.1	0.900
Doğalgaz	331	25654.0	28.017
Fuel Oil	11	305.9	0.334
Güneş	7058	6134.3	6.699
İthal Kömür	15	8966.9	9.793
Jeotermal	54	1514.7	1.654
Linyit	48	10101.0	11.032
Lng	1	2.0	0.002
Motorin	1	1.0	0.001
Nafta	1	4.7	0.005
Rüzgar	275	7762.8	8.478
Taş Kömür	4	810.8	0.885
TOPLAM	**8755**	**91564.5**	**100.000**

Artan enerji talebi içerisinde dünyadaki politik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji fiyatlarının sürekli artması, fosil yakıtların belirli bir ömrünün olması,

üretiminin pahalı olması ve çevresel etkileri göz önüne alındığında alternatif enerji kaynaklarının tespit edilerek bu kaynaklardan yüksek verimle faydalanılması zorunlu hale gelmiştir. Fosil enerji kaynaklarının, dünya üzerinde homojen bir dağılıma sahip olmaması ise yükselen enerji talebi içerisinde yaşanan enerji rekabetini zamanla arttırmaktadır. Ülkelerin artan enerji taleplerini karşılamaları için fosil kaynaklı enerji kullanımı kadar bir diğer enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru ve verimli bir şekilde kullanımı çok önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye, jeopolitik konumu, gelişen teknoloji ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yaptığı yatırım ile enerji kaynaklarını arttırabilen bir ülkedir. Türkiye'de özellikle; hidrolik, rüzgâr, güneş, biokütle ve jeotermal enerjilerin potansiyeli oldukça yüksek olduğundan yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli olarak fosil kaynaklara göre daha avantajlı durum mevcuttur.

Türkiye'de, 1993 yılında toplam kurulu kapasitenin % 40'ını oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları 2000'li yıllardan sonra bir dalgalanma yaşamış fakat 2017 yılında yapılan düzenlemeler ile bu oran % 45.5 gibi bir orana ulaşmıştır. Çizelge 2.3'te yenilenebilir enerji kaynaklarının 2000-2017 yılları arasındaki gelişimi verilmiştir.

Çizelge 2. 3. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi (2000-2017) (URL-7)

Yıl	Hidro (MW)	Jeotermal (MW)	Rüzgar (MW)	Güneş (MW)	Biokütle (MW)	Yenilenebilir (MW)	Toplam Kurulu Güç (MW	Yenilenebilir Enerji Yüzdesi
2000	11175.2	17.5	18.9	-	10.0	11221.6	27264.1	41.2
2005	12906.1	15.0	20.1	-	13.8	12955.0	38843.5	33.4
2010	15831.2	94.2	1320.2	-	85.7	17331.3	49524.1	35.0
2015	25867.8	623.9	4503.2	248.8	277.1	31520.8	73146.7	43.1
2017	27273.1	1063.7	6516.2	3420.7	477.4	38751.1	85200.0	45.5

Sanayileşme, ülkemizin ekonomik ve sosyal olarak kalkınmasının sağlanması için bir hedef olarak görülmektedir. Bu endüstrinin ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması büyük önem arz etmektedir. Ülkemizin,

halen üretimine başlanılmamış hidrolik, rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelleri bulunmaktadır. Bu potansiyellerden yararlanabilmek için ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) raporlarının en doğru şekilde hazırlanarak, kurulacak tesislerden maksimum verim elde edilmek zorundadır.

Türkiye'nin enerji politikalarını incelemek gerekirse ilk olarak, enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi için enerji çeşitliliğini arttırarak ithal enerji bağımlılığında kaynak riskini minimuma indirecek politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak kendi mevcut enerji potansiyelini belirleyerek var olan fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum üretmesi ve faydalanması gerekmektedir. Ayrıca enerji kayıplarının önüne geçilerek enerji verimliliğinin maksimum düzeye çıkarılması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, Türkiye, fosil kaynak yetersizliğinin etkisini en aza indirgeyebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum verim elde edebilmeli ve bu doğrultuda çıkartılan kanun ve düzenlemeler ile yerli ve yabancı yatırımcıların ilgisini çekip iç piyasada bir enerji çeşitliliği ile yatırımları arttırmak istediğini göstermelidir. Buna ek olarak Türkiye, Kyoto protokolü çerçevesinde temiz enerjiye yönelişi arttırarak enerji çeşitliliğini yenilenebilir enerji türünde arttırmaya çalışmalıdır (Durmuşoğlu 2016).

Aytek ve Toprak (2001), Toprak ve Eriş (2011), Toprak (2011) ve Toprak (2014), Durmuşoğlu (2016), gibi yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde günümüzde ekosistem dengesi göz önünde bulundurularak her ülkenin teknik ve ekonomik açıdan yararlanılabilecek en küçük su kaynağından sonuna kadar yararlanması gerektiği ve özellikle termik, nükleer ve gaz türbinlerine göre yakıt, bakım ve işletme giderleri en az olan, temiz enerji olarak yenilenebilir enerjiye yönelim olduğu gözlemlenmiştir.

Günümüzde enerji kaynaklı çevre sorunları küresel çapta insanlığın varlığını sürdürebilmesini tehdit etmeye başlamıştır. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, temini ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu önemi birçok araştırmacı farklı şekillerde vurgulamıştır. Kurucu (2016), "Ekolojik Modernleşme" kuramı tartışması konulu çalışmasında, fosil yakıt kullanımı için hem çevreyi kirletici boyutuna hem de fosil kaynakların sonsuz olmamasına dikkat çekerek, "sürdürülebilir" bir kaynak olmadığını belirtmiştir. Aslında yazara göre yenilenebilir enerji uygulamaları

ekolojik modernleşme kuramının, teknoloji ve yaratıcılığın ekolojik sorunları çözebileceği iddiasının somutlaşması ve gerçekleşmesidir. Yenilenebilir enerji uygulamaları ekolojik modernleşme teorisinin ispatıdır. Ekolojik modernleşme teorisine getirilebilecek eleştirilerin çoğunun yenilenebilir enerji uygulamaları üzerinden çürütülebileceği söylenebilir. Engin (2013), nükleer enerji ile ilgili bir yaptığı anket çalışmasında, "Nükleer enerji gelecekteki enerji ihtiyacına çözüm olabilir mi?" sorusuna cevap aramış ve sonuçta elde edilen iki cevabı da değerlendirmiştir. Buna göre "Evet" diyen gruba göre nükleer enerjinin herhangi bir riskinin olmadığı, "Hayır" diyen gruba göre ise şu andaki teknoloji ve bilgi birikimi ile radyasyon kirliliğine engel olunamayacağından, nükleer enerjinin yerine yenilenebilir enerji olarak hidro, güneş ve rüzgar enerjisine ağırlık verilebileceği belirlenmiştir. Peker (2014), doktora çalışmasında çevresellik endeksi ile açıklayıp; termik santraller, hidroelektrik santraller, rüzgar santralleri ve güneş enerjisi santrallerinin petrol ve doğal gaz yerine elektrik üretiminde kullanılabileceğine değinmiş fakat termik santrallerinin de Türkiye'nin elektrik enerjisi ihtiyacının % 28'ini karşıladığı halde karbon salınımı sebebiyle, çevresellik endeksini düşürdüğünü belirtip yenilenebilir enerjinin önemini vurgulamıştır.

Kılıç ve Urgun (2016) tarafından yenilenebilir enerjinin önemini yaşanan sosyal felaketlere vurgu yaparak açıklanmış, Meksika Körfezi'nde yaşanan petrol sızıntılarının sebep olduğu önemli hasarlardan ve Fukushima'daki nükleer felaket olayının yıkıcı etkilerinden söz etmiştir. Yazarlar özellikle bu durumun birçok ülkede nükleer enerjiye yönelik politikaları yeniden düşündürttüğünü ya da nükleer enerjiden tamamen caydırdığını belirtmişlerdir. Yazarlara göre bu gelişmeler, nükleer enerji oranının bazı ülkelerde azaltılmasına, bazı ülkelerde ise devre dışı bırakılmasına sebep olmuştur. Bu durum ise enerji açığının nasıl kapatılacağına dair tartışmalara sebep olmuş ve yeni enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji üzerinde tüm dikkatler yoğunlaşmıştır.

Çelikkaya (2018) çalışmasında yenilenebilir enerjiyi farklı bir açıdan değerlendirip ülkelerin izlediği politikalara değinmiştir. Bu konuyu "yenilenebilir enerji (YE) son yirmi yılın en önemli politik konulardan biri haline gelmiştir" şeklinde vurgulamıştır. Araştırmada dünya genelinde 126 ülkede yenilenebilir enerjinin teşviki için çeşitli vergi teşvik politikaları uygulandığı ve bu teşviklerin; gelir vergisi ve emlak

vergisi muafiyeti, satışlarda ise katma değer vergisi, özel tüketim vergisi, gümrük vergisi ve ithalat vergisi muafiyeti şeklinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bazı ülkelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji/karbon vergisinden muaf tutulduğu fakat fosil yakıtlardan bu verginin alınması suretiyle yenilenebilir kaynak kullanımının teşvik edildiği belirtilmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), yenilenebilir enerji ile ilgili 2019 yılında yayınladığı raporunda, küresel yenilenebilir enerji kapasitesinin 2019 ile 2024 yıllarını kapsayan dönemde yüzde 50 artarak 3 bin 721 GW'a yükseleceğini belirtmiştir. Raporda ayrıca bu dönemde yenilenebilir enerji kapasitesine ülkelerin yapacağı katkılara da yer verilmiştir. Buna göre; Çin bin 219 GW artışla ilk sırada katkıda bulunurken, ABD 411 GW ile ikinci ve Hindistan 235 GW ile üçüncü sırada katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir. Bu ülkeleri sırası ile Almanya, Brezilya, Japonya takip etmektedir. Türkiye'nin ise; 2019 yılındaki 43 GW seviyelerindeki yenilenebilir enerji kapasitesinin 2024 yılında 63 GW temiz enerji kapasitesine ulaşabileceği belirtilmektedir. Türkiye bu değere ulaşabildiği takdirde Avrupa'da ilk beş, dünyada ise ilk on arasına girmiş olabilecektir (IEA 2019).

2.1.2. Hidroelektrik Enerji

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin ilk olarak kinetik daha sonra mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ve doğrudan suyun gücüne dayalı bir enerji türüdür. Su gücünden yararlanma su değirmenleri ile milattan önce ilk çağlarda başlamış ve günümüzde de önemli ve vazgeçilmez bir enerji kaynağı olma özelliğini korumaktadır (Dalkır ve Şeşen 2011).

Elektrik enerjisi üretim oranları dikkate alınarak yapılan incelemelerde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük paya en eski enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerji sahiptir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) (2019) raporunda, hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payının 2020 yılında dünya genelinde bugüne göre % 53 oranında artacağı öngörülmüş ve bu durumda küçük-büyük her türlü güçte üretim yapabilecek hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi olarak yorumlanmış ve bu konuda ülkemizde bir çok araştırma

yapılmıştır (Kaygusuz 1999, 2001; Bakış ve Demirbaş 2004; Öztürk 2004; Demirhan 2006; Eminoğlu 2012; Gökdemir ve ark. 2012; Alashan ve ark. 2016).

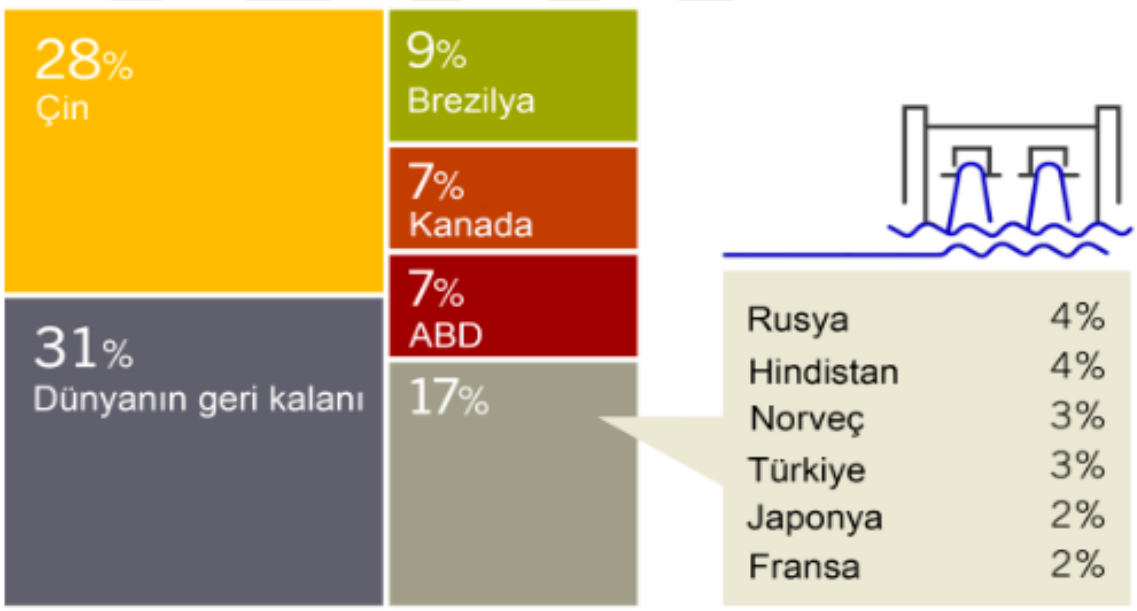
Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde önemli üç kavram vardır. Bunlar "brüt potansiyel", "teknik potansiyel" ve "ekonomik potansiyel" kavramlarıdır (Demirhan 2006).

Brüt potansiyel; bir akarsu havzası için mevcut düşü yüksekliği ile ortalama debinin oluşturduğu hidroelektrik enerji üretiminin teorideki üst sınırını ifade etmektedir. Dünyada brüt üretim potansiyeli 40150000 GWh/yıl ve Avrupa'da 3150000 GWh/yıl iken ülkemizde bu değer 433000 GWh/yıl'dır. Teknik potansiyel ise bir akarsu havzası için teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik enerji üretiminin maksimum değerini göstermektedir ve düşü, akım ve dönüşümde oluşabilecek kayıpların göz ardı edildiği ve yapılabilir koşulu göz önüne alınmadığı potansiyeldir. Bundan dolayı teknik hidroelektrik potansiyel, brüt potansiyelin bir fonksiyonu olmakla birlikte çoğunlukla onun yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Teknik hidroelektrik potansiyel, dünyada 14060000 GWh/yıl ve Avrupa'da 1225000 GWh/yıl iken ülkemizde 216000 GWh/yıl'dır. Ekonomik potansiyel olarak adlandırılan potansiyel ise, bir akarsu havzası için hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik sınır değerini göstermektedir. Ayrıca bu potansiyel teknik açıdan ve ekonomik yönden geliştirilebilmesi mümkün ve tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir. Kısacası, ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, beklenen gelirleri masraflarından fazla olan su kuvveti projelerinin enerji üretimini göstermektedir. Dünyada ekonomik potansiyel 8905000 GWh/yıl ve Avrupa'da 800000 GWh/yıl seviyelerinde iken ülkemiz için bu değer 180000 GWh/yıl'dır (DSİ 2018).

Zimny ve ark. (2013), 1995-2011 yılları arasında Dünya ve Avrupa'daki hidroelektrik gelişimi istatistiksel veriler yardımı ile incelemişlerdir. Yazarlar, Dünyadaki hidroelektrik santrallerinde üretilen enerjinin tüketiminin sürekli büyüdüğünü ve 2010 yılında yeni projelerin uygulanması ile tüketilen enerji miktarının 3402 TWh'a ulaştığını belirtmektedir. Bu enerji miktarının % 21'ni Çin tarafından kullanıldığı, ve Avrupa'da ise üretim payı en yüksek olan ülkelerin İskandinav ülkeleri

olan Norveç ve İsveç olduğu belirtilmiştir. Coğrafyanın sürekli yağış alması, kar erimelerinin yüksek olması gibi hidrolojik nedenlerle akarsular düzenli rejime sahiptirler. Diğer taraftan dağlık bir coğrafyaya sahip olması nedeniyle akarsular sıkça yeterli düşü imkanı vermesi hidrolik enerji potansiyelinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Yıllık kapasite kurulumlarında ölçülen küresel hidroelektrik pazarı, 2018'de daralmış ve çok yıllık bir yavaşlama eğilimi oluşmuştur. Fakat toplam kapasite açısından ilk 10 ülke sıralaması değişmemiş ve Çin, Brezilya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya Federasyonu, Hindistan, Norveç, Japonya ve Fransa yer almıştır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi Türkiye % 3'lük pay ile bu ülkeler arasında 8. sırada yer almıştır (REN21 2020).



Şekil 2. 5. 10 ülkenin ve dünyanın geri kalanının hidroelektrik küresel kapasite payları (REN21 2020, 2019 yılı için)

Yenilenebilir, yerli, çevre ile barışık, uzun işletim süresine ve düşük işletim-bakım-onarım giderine sahip olması ve teknik açıdan yararlanılabilir bir enerji olması nedeniyle hidroelektrik enerjisinin Türkiye'nin en gerçekçi enerji kaynağı olarak görülmekte, hidroelektrik enerjinin teknik ve ekonomik fizibilitesinin gözden geçirilmesi gerekmektedir (Kaygusuz 1999, 2001; Öztürk 2004; Alashan ve ark. 2016).

Kurulum maliyeti yüksek olmasına karşın, yerli imkânlar ile kurulabilmesi, kaynak olarak suyun kullanılması ve enerji elde edilmesi ve teknik ömrünün uzun olması, bakım giderlerinin az olması, veriminin yüksek olması, yakıt gideri olmaması vb. gibi nedenlerden dolayı hidroelektrik santraller ülkelerin enerji sigortalardır. Ayrıca hidrolik enerjinin dünya elektrik üretiminin yaklaşık % 15.9'luk payını üstlenmesinin önemini açıkça göstermektedir (ETKB 2012). Bu sebeplerden dolayı ülkemizde de bazı gelişmeler yaşanmış ve ilk adım 1902 yılından itibaren periyotlar şeklinde atılmaya başlanmıştır. Türkiye'deki ilk hidroelektrik üretim; küçük ölçekli hidroelektrik santral olarak su değirmeninden enerji üretimi Tarsus'ta 1902 yılında yapılmıştır. Büyük ölçekli ilk güç santrali ise İstanbul'da 1913 yılında inşa edilmiştir. Hidroelektrik enerji ile çalışan aydınlatma ve elektrik şebekesi ise ilk kez 1933'te Ödemiş'te kurulmuştur (Gökdemir ve ark. 2012).

Ayrıca 1935 yılında Türkiye'nin enerji potansiyelini ve talebini belirlemek amacı ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kurulmuştur. Beş yıllık bir dönem boyunca 28 adet hidroelektrik santral kurulmuştur. 1954 yılında ise su kaynaklarının geliştirilmesi amacı ile Devlet Su İşleri (DSİ) kurulmuş ve bu da hidroelektrik santrallerin enerji üretimdeki payını arttırmıştır. EİE 2012 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne devredilmiştir. 1970 yılında Türk Elektrik Kurumu'nun (TEK) kurulması ile enterkonnekte sistem geliştirilmiş ve bu hidroelektrik santrallerde üretilen enerjinin iletimini kolaylaştırıp kullanım payını arttırarak % 50'nin üzerine çıkarmıştır. 1984 yılında çıkartılan yasa ile özel sektöre hidroelektrik üretimi imkânı sağlayan Yap-İşlet-Devret modeli (YİD) kabul edilmiştir (DSİ 2018).

Enerji Piyasası Kanunu'nun, 20 Şubat 2001'de yürürlüğe girmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini ön plana çıkarmıştır. Avrupa Birliği'nin yeşil enerjiyi ön plana çıkarmak için "Dâhili Elektrik Pazarındaki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretilen Elektriğin Teşvik Edilmesi' yönetmeliği ülkemizde 27 Ekim 2001'de yürürlüğe girmiştir. 2003 yılında "Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" yürürlüğe girmiş ve 2005 yılında çıkarılan 5346 sayılı kanun ile

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımında özel sektörün yapacağı HES'lerden elektrik üretip satabilmesi olanağı verilmiştir (DSİ 2018). Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili olarak Avrupa Birliği müktesebatı çerçevesinde yeni hazırlanmış mevzuatı ve Türkiye'nin potansiyeli detaylı bir şekilde Alashan ve ark. (2016)'da verilmiştir.

Hidrolik döngü atmosfer, yerüstü ve yeraltı sularının kendi aralarında döngüsel taşınma sürecidir. Bu döngü zaman, mevsimsel, hava ve toprak şartları ve jeolojik konum gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Hidrolik enerji potansiyeli özellikle yağış rejimine bağlı olduğundan dolayı iklim şartlarındaki değişimlere karşı hassastır. Bu yüzden her yıl hidroelektrik santrallerinin üretim payının yeri toplam üretim payı içinde değişim göstermektedir. Ülkemizin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesinde küresel ısınmadan kaynaklanan değişiklikler göz önünde tutulmalı ve hidrolik potansiyel yeniden gözden geçirilerek belirlenmelidir. Sadece yıllık ortalama yağış değil, maksimum yağış değerlerinin de dikkate alındığı senaryolar belirlenmeli ve bunlara uygun politikalar geliştirilmeli ve bu çerçevede planlama yapılmalıdır. Bu belirlemede yağış rejiminde olabilecek değişikliklere dikkat edilmeli ve sadece ortalama potansiyelin değil ayrıca değişken potansiyelin de dikkate alınmasına ihtiyaç vardır. Bundan dolayı 25 ve 50 yıllık yağış senaryolarına göre ülkemizin yağış rejimlerinde olabilecek değişiklikler belirlenmelidir (Şen 2006; Özdemir ve ark. 2011). Ayrıca Özbay ve Gençoğlu (2009) çalışmalarında, suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren HES'lerde gerekli hesaplamaların doğru şekilde yapılmasının ve verimi artıracak yeni kontrol teknolojilerinin geliştirilmesinin öneminden bahsetmişlerdir. Araştırmacılar bu amaçla HES'lerin tüm birimlerini ayrı ayrı modelleyerek bir hidroelektrik sisteminin simülasyonunun gerçekleşebileceğini göstermişlerdir.

Gökdemir ve ark. (2012), Türkiye'nin hidroelektrik enerjisinin tarihsel gelişimini inceleyip hidroelektrik enerjisi kullanımının eski bir tarihe dayandığını belirtmişlerdir. Örnek olarak da Van bölgesinde Hititler tarafından M.Ö. 1300'lü yıllarda ve Urartular tarafından M.Ö. 1000 yılında inşa edilen barajları vermektedir. Ayrıca yazarlar çalışmada, Cumhuriyetin kuruluşundan sonraki yıllarda yapılan barajlara ve enerji

talebini belirlemek ve enerji kaynaklarının potansiyellerini geliştirmek için yapılan fiziki altyapı ve mevduatlara da değinmişlerdir.

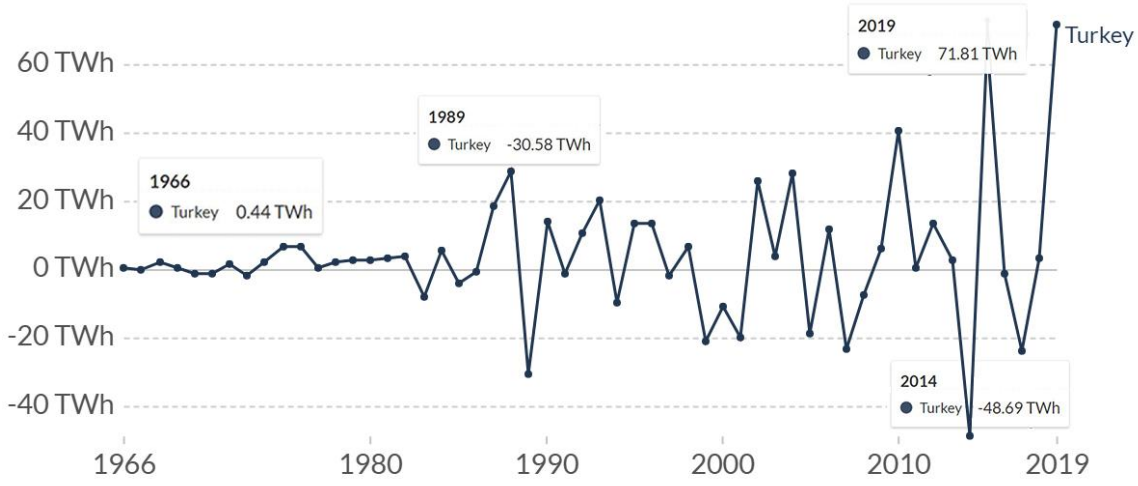
Bu gelişmeler ile beraber özellikle son yıllarda Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli belirlenmeye çalışılmış ve bu konuda birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Bakış ve Demirbaş (2004), Türkiye'nin hidroelektrik santral (HES) potansiyelini araştırmış ve Türkiye'nin yıllık toplam hidroelektrik potansiyelinin 433000 GWh, bunun yaklaşık olarak % 50'sinin teknik olarak, % 29'unun yani 122322 GWh/yıl ise ekonomik olarak işletilebilir durumda olduğunu belirtmiştir. Yazarlar, Türkiye'nin, ekonomik olarak işletilebilir tüm potansiyelini 2023 yılına kadar HES'lerle kullanıma açmayı planladığını belirtmiştir. Ayrıca, 1960 yılından bu yana çeşitli büyüklüklerde 700 baraj inşa edildiğini, bunlardan 519'unun 2002 itibari ile işletmede olduğunu ve 519 barajdan 202 adetinin büyük baraj, geri kalan 317 adetinin ise küçük baraj olarak inşa edildiğini belirtmiştir. Bunlara ek olarak, 2002 yılı itibari ile kurulan 134 HES ile toplam hidroelektrik kapasitesinin (kurulu güç-installed capacity) 12177 MW'a ve üretimin 44034 GWh/yıl'a ulaştığını eklemektedir. Ayrıca, toplam elektrik enerjisinin yaklaşık % 38'inin büyük HES'lerden, toplam hidroelektrik üretiminin % 98.5'inin barajlardan ve kapasitesi 10 MW'ın üzerindeki HES'lerden, geri kalan % 1.5'unun ise direkt olarak nehirlerden ve kanal HES'lerinden sağlandığını belirtmektedir. Bunların yanı sıra, 2002 yılının sonlarında, kapasiteleri 10 MW'ın altında olan 317 küçük baraj ve 70 küçük HES (SHPs)'in işletmeye açıldığı ve 203 küçük HES (kurulu gücü-installed capacity 10 MW'ın altında) projesinin geliştirildiği belirtilmektedir.

Türkiye'nin hidroelektrik güç santrali verilerinin zaman içindeki değişimi incelendiğinde, 1902 yılında ilk santralin gücü 60 kW iken bu değer 1950'li yıllarda 18 MW'a çıkmıştır. 2013 yılı için teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 milyar kWh olarak hesaplanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin teknik hidroelektrik potansiyelinin % 86'sını, Japonya % 78'ini, Norveç % 72'sini, Kanada % 56'sını, Türkiye ise % 28,7'sini geliştirmiştir (DSİ 2013).

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin (TEİAŞ) 2016 yılındaki verilerinde de elektrik enerjisi üretmede bütün kaynaklar arasında hidroelektrik enerji yüzdesinin

yaklaşık olarak 18 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca veriler yenilenebilir enerji bazlı incelendiğinde bu oranın arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin; barajlardan sağlanan hidroelektrik enerji üretimi % 53.82 ve göl - akarsulardan sağlanan enerji üretimi ise % 20.08 olarak belirtilmiştir (TEİAŞ 2016).

Şekil 2.6'da, Türkiye için hidroelektrik üretiminde bir önceki yıla göre yıllık değişim, terawatt saat cinsinden gösterilmiştir. Burada, pozitif değerler (+) bir önceki yıla göre enerji üretiminde artış anlamına gelirken; negatif değerler (-) enerji üretiminde bir önceki yıla göre azalmanın olduğunu göstermektedir. Şekil incelendiğinde 2019 yılında 2018 yılına göre hidroelektrik üretiminde 71.81 TWh'lık bir artış olduğu görülnektedir (BP Statistical Review of World Energy 2020).



Şekil 2. 6. Türkiye'nin hidroelektrik üretiminde bir önceki yıla göre yıllık değişim (1966-2019)

Önümüzdeki yıllarda gözlenebilecek değişim için, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), yenilenebilir enerji ile ilgili 2019 yılında yayınladığı raporuna bakıldığında, 2019-2024 yılları arasındaki dönemde Türkiye'nin hidroelektrik kapasitesinin 2018'e göre yüzde 11 büyüme ile 31 GW'a yükseleceği öngörülmektedir (IEA 2019).

2.1.3. Mini ve Mikro Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik santrallerde üretilen enerji diğer enerji türlerine göre daha az miktarda olumsuz çevresel etkilere sahip olduğundan, enerji üretiminin vazgeçilmez

bileşenlerinden biridir. Ulaşımı güç olan köy ve benzeri küçük yerleşim yerlerinin enerji ihtiyacını karşılamak ve bu bölgelerin sosyoekonomik ve kültürel gelişimlerinin hızlanmasına katkı sağlamak veya küçük yerleşim yerlerinde uzun iletim şebekelerinden kaynaklanan enerji kaybını en aza indirgemek amacı ile son yıllarda küçük ölçekli hidroelektrik santral (KÖHES) olarak adlandırılan HES'lere ilgi artmıştır.

Mini HES'lerin potansiyel enerjinin mekanik enerjiye, mekanik enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile mesken, ticari ve sanayi enerjisi ihtiyacının karşılanmasında gittikçe önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda özellikle Çin, İngiltere, Nepal, Hindistan gibi birçok ülkede, kırsal alanlarda temiz ve ucuz alternatif elektrik üretim sistemleri olarak mikro-hidroelektrik santraller tercih edilmiştir (Rijal 2000; Singh ve ark. 2001; Müller ve Kauppert 2002, 2004; Balakrishnan 2006; CRT/N 2014). Bu tür elektrik üretimi sadece mikro ölçekte ucuz ve yeşil değil, aynı zamanda bölgedeki yerel halkın yaşamlarını iyileştirmek için kullanılabilecek sosyal ve ekonomik kalkınmayı da etkilemektedir.

8 Ocak 2011 Tarihli Resmi Gazete yayınlanarak yürürlüğe giren ve "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımında Değişiklik" ön gören kanunda yer alan "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik"le birlikte Türkiye'de mini ve mikro HES'lerin kullanımının da önü açılmıştır. Özellikle küresel boyutta artan çevresel duyarlılık Biriktirmesiz HES'leri daha popüler kılmaktadır. Küçük HES'lerin biriktirmesiz oldukları göz önüne alındığında öneminin gittikçe artacağı tahmin edilmektedir. Mini HES'lerin kullanımına dair Gürbüz ve Yılmaz (2007), mini ve mikro hidroelektrik santrellerin, Türkiye'nin ekonomik olarak değerlendirilebilir hidrolik potansiyelinin % 15'ine yakın bir değer olacağını öngörmüştür. Toprak ve Eriş (2011), çalışmasında Biriktirmesiz HES'lerin giderek önem kazandığını ve Küçük HES'lerin biriktirmesiz oldukları göz önüne alınarak yapımına ağırlık verilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Gerek enerji üretimi gerek su temini için günümüzde büyük su hazneleri (baraj gölleri) yapılmaktadır. Oysa bu tür su yapılarının büyük ve geniş alanları kaplaması, çevreyi (toprak, su, hava ve canlı hayatını) etkilemeleri ve değiştirmeleri, tarihi ve kültürel varlıkları etkilemeleri ve oluşan buharlaşma kayıpları nedeniyle küresel çapta

biriktirmesiz HES'lere yönelme olmuştur. Bu nedenle 1990'lı yıllardan itibaren biriktirmesiz HES'ler dünya genelinde büyük bir hızla yaygınlaşmıştır. Ayrıca, eğer içme-kullanma, sanayi veya sulama suyu ihtiyacının karşılanması veya suyun aynı amaçla ticari bir meta (madde) olarak kullanılması söz konusu değil ise biriktirmesiz HES'ler ilk tesis ve işletme giderleri açısından biriktirmeli HES'lere tercih edilebilir (Toprak 2011). Özellikle Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde mikro ve küçük (biriktirmesiz) hidrolik enerji potansiyeli yüksek olduğundan bu bölgelerde kullanımı yaygınlaşabilir (Toprak 2014).

Biriktirmesiz HES'ler doğrudan nehir veya kanal üzerinde kurulurlar. Su depolarına ihtiyaç duymadan akan suyun enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için kullanılırlar. "Nehir-Akarsu" ve "Kanal" santralleri olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. Nehir (akarsu) santralleri genellikle eğimin az olduğu düzlük arazilerde, akarsuların mansap bölgelerinde yapılır. Düşü yüksekliği az fakat işletme debisi büyük tesislerdir. Kanal santralleri ise topoğrafya özelliklerinden yararlanarak daha yüksek bir düşüm elde etmek için akarsuyun ana yatağı yerine doğal veya yapay bir yan kanal üzerine kurulan santrallerdir (Özkök 2006).

Küçük hidroelektrik santraller için çeşitli ülkelerde farklı sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmalar "su ekonomisi bakımından", "enerji ekonomisi bakımından", "teknik özellikleri bakımından" ve "topografik duruma göre" sınıflandırma şeklindedir. Ülkemizde ise sınıflandırma santrallerinin kurulu gücüne bağlı olan Birleşmiş Milletler Sanayi ve Kalkınma Organizasyonu (UNIDO) sınıflamasına göre yapılmaktadır. Kapasiteleri 10 kW ile 99 kW arasında Mini HES (Mini Hydro Power Plant), 100 kW ile 999 kW arasında olanlar Mikro HES (Micro Hydro Power Plant), 1000 kW ile 25000 kW arasında olanlara ise Küçük HES (Small Hydro Power Plant) olarak isimlendirilir (CII – Godrej GBC Publicatio 2004).

Yeni ve Yenilenebilir Enerji Başkanlığı (MNRE) (2010)'un yapmış olduğu sınıflandırmaya göre toplam kurulu gücü 10 MW'tan küçük santrallere küçük hidroelektrik santraller denilmektedir. Mini ve mikro su kuvveti tesislerinin genel anlamda olumlu yanları; büyük yatırımlara gerek duyulmaması, artan nüfus ve enerji istemi nedeniyle hidroelektrik potansiyelin neredeyse tamamından yararlanmayı

sağlamaları, yerel olanaklar ile işletmeye alınabilmeleri ve temiz enerji kavramının gerektirdiği ölçütleri sağlamaları olarak sayılabilir.

Bütün bu olumlu yanları ile mini ve mikro hidroelektrik enerjinin kullanım alanları genişlemekte ve bu da ekonomik kalkınmaya önemli etkisi olduğunu göstermektedir. Serencam (2019), Giresun ili için küçük hidroelektrik santrallerinde faktör analizi yapmıştır. DSİ verileri kullanılarak, verilerin değerlendirilmesinde hidroelektrik santrallerin karşılaştırılmasında belirleyici faktörlerden biri olan kapasite faktöründen yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada, teknik ve çevresel faktörler dikkate alınarak planlanan mini hidrolik santrallerin ülke ekonomisine önemli oranda katkı sağlayabileceği vurgulanmıştır.

2.2. Tarihi Su Yapıları ve Su Gücü İle İlgili Çalışmalar

Su canlı hayatının devamı için en önemli gereksinimlerden biridir. Bundan dolayı yerleşim alanlarının belirlenmesinde tarih boyunca en önemli etken olmuştur. Tarihteki büyük medeniyetlerde su kıyılarında olmuştur. Su, yerleşme alanlarını belirlemekle birlikte zamanla kentin bir parçası olmuş ve içme-sulama, enerji üretme gibi birçok alanda kullanılmıştır. Tarihi su yapıları da toplumların kültürel yapılarını, medeniyet düzeylerini, yaşam biçimlerini, kullandıkları teknolojilerini ve bunun gibi birçok özelliğini yansıtan en önemli yapılardır. Bundan dolayı bu çalışma kapsamında da değirmenler ile ilgili literatür araştırması yapılmadan önce tarihi su yapılarının dünyadaki ve ülkemizdeki önemini belirten bazı çalışmalar incelenmiştir. Bunlara ek olarak bu tezin çalışma alanını kapsayan bazı araştırmalar da incelenmiştir.

Su mimarisi, tarih boyunca bu temel düşünceler üzerine gelişmiştir. Bu açıdan su yapıları, tarih boyunca toplumların kültürel yapılarını, medeniyet ve gelişmişlik düzeylerini, yaşayış biçimlerini, teknolojilerini ve bunun gibi birçok özelliğini yansıtan en önemli yapılar olmuşlardır. Ayrıca su yapıları yapıldıkları dönemler ve bulundukları bölgelerin meteorolojik, hidrolojik ve jeolojik özellikleri gibi doğal yapısı hakkında da bilgiler vermektedir. Bu yapıların birçoğu yok olma tehlikesi ile karşı karşıyayken, birçoğu da günümüzde işlevini sürdürmektedir.

Yapılan çalışmalarda Anadolu'da tarih boyunca, çeşitli yerleşim alanlarında ve güzergahlar üzerinde inşa edilen çok sayıda su yapılarına değinmiş ve Orta Anadolu'da

Hitit ve Selçuklu dönemlerinden, Doğu Anadolu'da Urartu ve Selçuklu dönemlerinden, Batı ve Güney Anadolu'da Roma ve Bizans dönemlerinden kalan birçok su yapısı olduğunu belirtmişlerdir. Bu yapılar arasında barajlar, taş köprüler, kanallar, hamamlar, su kemerleri, tüneller, hazneler, sarnıçlar ve su değirmenleri gibi birçok yapı bulunmaktadır (Önge 1997; Eyice 1955; Balkan 1970; Önge 1997; Öziş 1999; Bildirici 2001; Öziş ve ark. 2008).

Türkiye'deki en eski su yapılarının Orta Anadolu'da M.Ö. 2000 yılından, Hitit döneminden kalan barajlar olduğu (Karakuyu Barajı vb.) belirtilmektedir. Ozan (2018) tarihi Hitit dönemine dayanan Karakuyu Barajını hidrolik açıdan incelemiştir. Çalışmada ilk olarak Anadolu'da yer alan tarihi su yapılarından, özellikle Hitit ve Urartu dönemlerinde inşa edilen su yapılarından örnekler verilmiş, daha sonra Karakuyu Barajına ait yazıt ve fotoğraflar detaylı incelenerek bilgisayar destekli çizim programı olan NETCAD kullanılarak modellemesi yapılmıştır.

Ayrıca, Doğu Anadolu Bölgesindeki en eski tarihi su yapısının M.Ö.1000 yılının ilk döneminde yapıldığı düşünülen ve Van ilinde yer alan 56 km uzunluğunda olan, günümüzde varlığını sürdüren Şamran Kanalı olduğu belirtilmektedir (Öziş 1999; Bildirici 2001). Şekil 2.7'de kanalın günümüzdeki hali verilmiştir. Ayrıca tarihi su yapılarından diğer ikisi de taş köprüler ve çeşmelerdir. Selçuklu Döneminde inşa edilen taş köprüler dünyanın en önemli taş köprüleri arasında yer almaktadır (Öziş ve ark. 2008). Ayrıca, Anadolu'da çeşmeler de farklı kullanım amaçlarına göre ağırlıklı olarak Selçuklu döneminde inşa edilmiştir (Önge 1997).



Şekil 2. 7. Şamran Kanalı (URL-4)

Bazı kaynaklara göre bir diğer su yapısı olan hamamlarda Türk mimarisinin ilk yapısı olarak kabul edilen yapı 1064-1110 yılları arasında inşa edildiği düşünülen Menuçehr Hamamı'dır (Eyice 1955; Balkan 1970). Anadolu'daki su yapılarının eski örneklerinden biri Selçuklu Devleti döneminde 1179 yılında yapılmış ve Fırat nehrinin Haburman kolu üzerinde Çermik yakınlarında bulunan Haburman Köprüsüdür (Şekil 2.8). Bu köprü aynı zamanda değirmentaşını çeviren değirmene su gönderen suyoluna sahiptir (DSİ 2018).



Şekil 2. 8. Haburman Köprüsü (Halifeoğlu ve ark. 2011)

Yılmaz (2010), Aydın ilinin tarihi su yapılarını, Tuncer (1999) ve Yeşilbaş (2007) Diyarbakır ilinde yer alan su yapılarını incelemiş ve bu çalışmalarda tarihi su yapılarının önemine dikkat çekip bunlar hakkında genel bilgi vererek çalışma alanında

yer alan köprü, hamam, çeşme gibi tarihi su yapılarının envanter taramasını yapmışlardır.

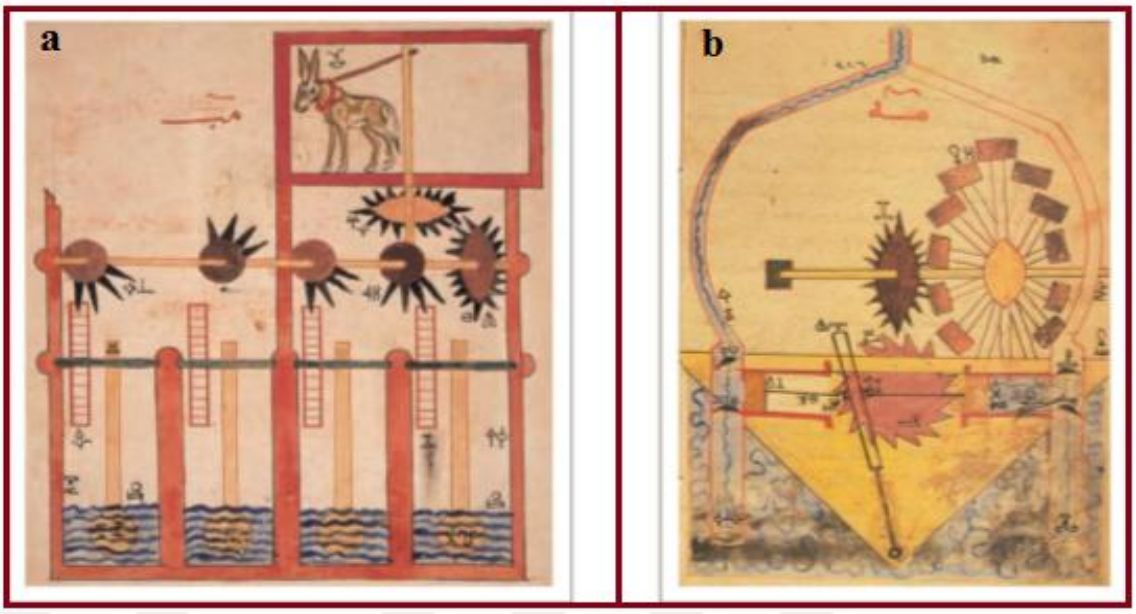
Bunlara ek olarak; Diyarbakır'da bulunan tarihi köprüler ile ilgili bir çalışma Halifeoğlu ve ark. (2011) tarafından yapılmış ve Dicle Köprüsü (On Gözlü Köprü), Karasu Köprüsü, Devegeçidi Köprüsü, Kara Köprü, Halilviran Köprüsü ve Ambarçayı Köprüsü ile ilgili genel, jeolojik, hidrolojik bilgilere ve sahada yapılan ölçümlere yer verilmiştir. Ayrıca aynı araştırmacıların farklı tarihlerde yaptıkları çalışmalarda, günümüz Diyarbakır il sınırları içerisinde mevcut 41 tarihi köprünün kayıtlarına ulaşılmış ve fotoğraflanmıştır. Bu köprüler ayrıca kalker, bazalt, kalker/bazalt karışımı ve pişmiş kil olmak üzere yapı malzemesi açısından sınıflandırılmış ve kullanılan taşların jeolojik yapısı hakkında bilgi verilmiştir. Yine anılan çalışmalarda her bir köprüye literatürde bundan sonra anılabilecek şekilde kod verilmiştir (Halifeoglu ve ark. 2019; Toprak ve ark. 2017; Kavak ve ark. 2016a; Kavak ve ark. 2016b; Halifeoğlu ve ark. 2016; Halifeoğlu ve ark. 2011). Tıpkı bu çalışmalarda yapıldığı gibi, tüm tarihi yapıların belgelenmesi, görsel kayıtlar altına alınması ve birçok özelliğini gösterecek şekilde kodların verilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada da Diyarbakır tarihi su değirmenleri için benzer çalışmalar yapılmıştır. Diyarbakır ilini kapsayan bir başka çalışma da Karadoğan ve ark. (2015) tarafından yapılmış ve bu çalışmada diğer çalışmalara ek olarak kent içerisinde yer alan hamam, şadırvan, çeşme, değirmen ve havuz gibi su yapılarına da yer verilmiştir.

Su gücü ilk çağdan itibaren insan ve hayvan üzerindeki yükü azaltmak için kullanılan bir enerji çeşididir. Su tekerleği yel değirmenleri ile birlikte kullanılan en eski temiz enerji kaynağından yararlanma aletleri olarak bilinir. İlk olarak hangi devirde kullanıldığı bilinmese de bundan 5000 yıl önce Orta Doğu'da başladığı bilinmektedir. İlk olarak un elde etmek için öğütme işleminde kullanılan değirmenlerin çevrilmesinde kullanılmıştır. Norse Değirmenleri bunların ilk örnekleridir. Fakat bazı araştırmacılara göre iş gücü olan insan ve hayvan gücünün ucuz ve yaygın olmasından ve teknik bilgilerin yetersiz olmasından dolayı su gücü kullanımı ilk çağda çok fazla tercih edilmemiştir (Landels 1996; Reynolds 1983).

Su enerjisinin kullanımının Ortaçağ toplumu ve ekonomisi üzerindeki etkisi bir enerji devrimi olarak kabul edilmektedir. Değişen düzen, oluşan sınıf farklılıkları ve yaşanan savaşlar insan ve hayvan gücünün pahalı olmasına ve su gücü kullanımının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Bu dönemde Avrupa'da su gücü kullanımının yaygınlaşmasının sebebini bazı araştırmacılar bu sebeplerden farklı olarak manastır sistemine bağlamış, sadece un elde etmek için değil diğer birçok ürünün işlenmesinde (şarap, demir, deri ve kumaş gibi) kullanılmasına bağlamışlardır (Basalla 1996; Layiktez 1998).

Su gücünün kullanımının artması ile su çarklarını ve su kaldırma düzenleri ortaya çıkmıştır. Orta çağın sonlarında su gücü teknoloji olarak gelişerek endüstriyel üretimde büyük bir yer edinmiştir. Örneğin, 13. yüzyılda kullanılan pistonlu pompanın çalışma prensibi su gücüne bağlıdır. Bu sistemde, su çarkı akan nehrin kenarına inşa edilir ve su çark içindeki dişli mekanizmayı döndürür, bu sayede kaldıraç kolunun hareketi ile pistonlar harekete geçer ve pompa suyu yukarı taşır (Hassani 2007).

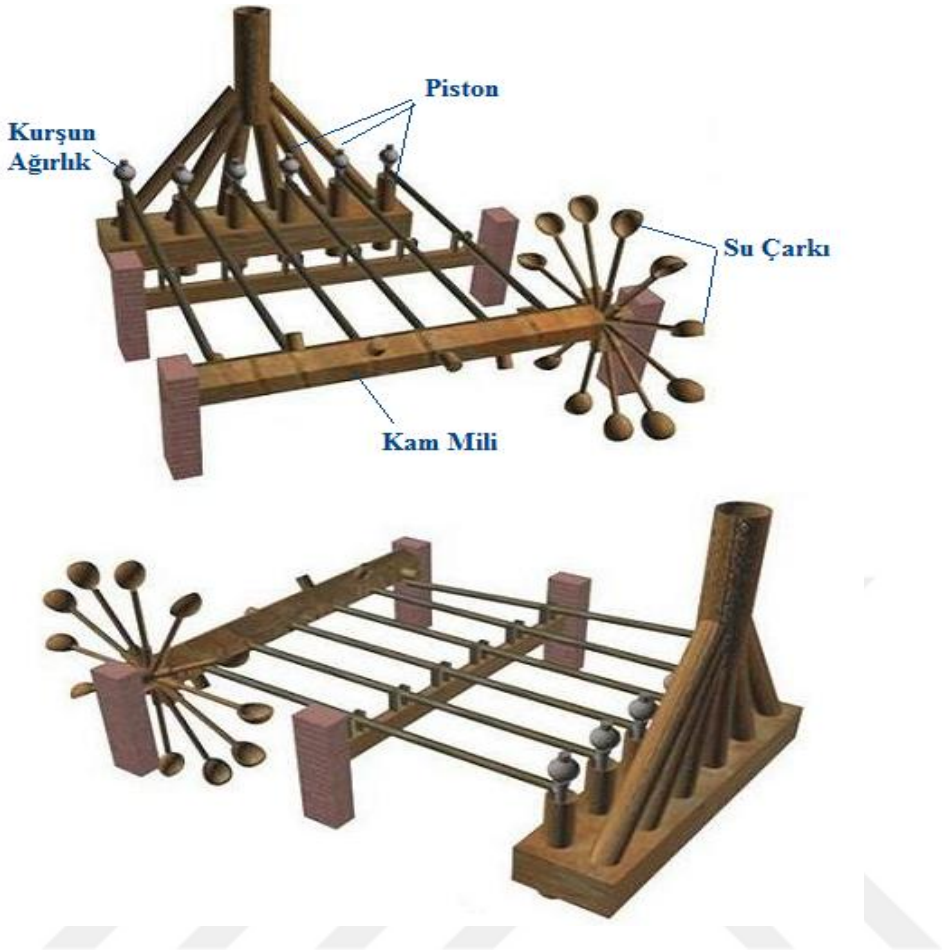
Su gücü kullanımında önemli bir makine elemanı olarak kabul edilen mil Avrupa'da ilk defa 15. yüzyılda kullanılmıştır. Hassani (2007), toplumda, milin büyü gibi güçler tarafından döndürüldüğü inancının var olduğuna değinmiş ve El-Cezeri'nin bu düşüncenin yanlış olduğunu göstermek için çizimlerinde millerin güç kaynağı olarak havyan kullanımını gösterdiğini belirtmiştir (Şekil 2.9a). Fakat El-Cezeri'nin en önemli buluşu; su gücü ile çalışarak suları 12 metre yüksekliğe kadar kaldırabilen su kaldırma sistemidir (Şekil 2.9b). El-Cezeri su kaldırma sisteminde tek yönlü vana kullanarak ve pistonlardaki sızdırmazlığı sağlayarak suyu yükseğe kaldırmayı başarmıştır (Hassani 2007).



Şekil 2. 9. a) Hayvan gücü ile çalışan pistonlu pompa düzeneği b) su kaldırma düzeneği (El-Cezeri Kitabül Hiyel,1990)

16. yüzyılda ise Osmanlı mühendisi Takîyüddîn'in buluşu olan su gücü ile çalışan, kâğıt üretiminde, odunların ezilmesinde ve uzun metal bantların tek seferde kesilmesinde kullanılan ve Şekil 2.10'da verilen 6 silindirli su pompası önemli bir yere sahiptir (Çorapçıoğlu 2015).

Sanayi devriminde; tekniğin, sanayinin ve ulaşım olanaklarının gelişmesi ile su gücü teknolojisinde de gelişmeler olmuştur. Özellikle Avrupa'da buhar makinesinin icadı ile su çarklarının kullanım alanı değişmiştir. Reynolds'un çalışmasında verilen bilgilere göre; 1750 yılından sonra buhar makinesinin hızlı gelişimi ve bu gelişimin neden olduğu rekabetin etkisi ile su çarkları çok daha verimli ve modern bir enerji kaynağına dönüştürülmüştür. Farklı tasarımlar kullanılarak su çarkının dayandığı hidrolik ilkeler kapsamında çarkların yapımında tahtanın yerini demirin alması gibi değişimler yapılmış ve bu değişimler gelişmiş bir su enerjisinin yolunu açmıştır. Ayrıca bu su çarkları 19. yüzyıl başlarının tipik buhar makineleri ile yarışacak tasarıma ulaşmıştır (Reynolds 1983).

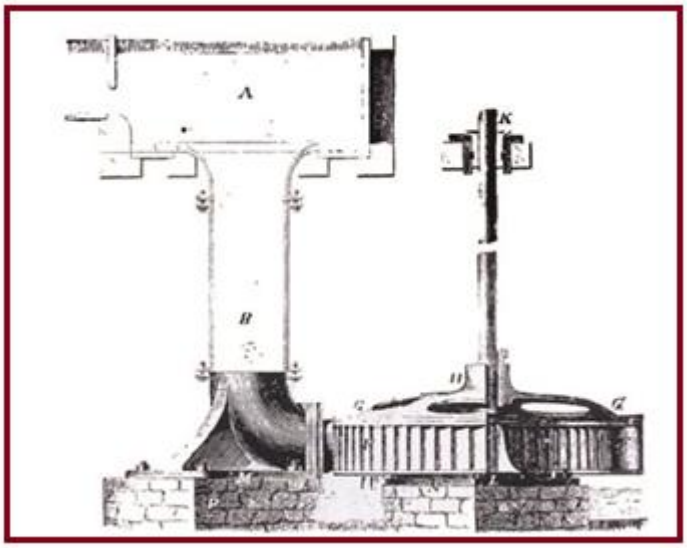


Şekil 2. 10. 6 silindirli su pompası (Takîyüddîn)

Ayrıca su çarklarının yapım olarak buhar makinelerinden daha ucuz, daha güvenilir ve daha az bakım gerektirmesi ve özellikle de uzun yıllar kullanılabildiği için alışılmış bir enerji kaynağı olarak uzun süre buhar makinesi ile rekabet etmiştir. Hatta 18. yüzyıl sonlarında İngiltere'de özellikle tekstil endüstrisinde yaygın olarak su çarkları ile buhar makinesi birlikte de kullanılmıştır. Fakat buhar makinesinden 1780-1800 yılları arasında James Watt tarafından düzgün döngüsel hareket elde edildiğinde, su çarkları endüstrideki enerji kaynağı olma özelliğini kaybetmiştir (Çorapçıoğlu 2015).

1750-1850 yılları arasında su çarklarının gelişim aşamalarında teknolojik gelişmelerin büyük bir etkisi olmuştur. Fransız matematik ve mekanik bilgini olan Jean Victor Poncelet düşey su çarklarını, metal çarklarla değiştirilerek, uzun ömürlü ve daha çok güç üretecek şekilde sanayi kullanımı için tasarlanmasını sağlamıştır (Şekil 2.11).

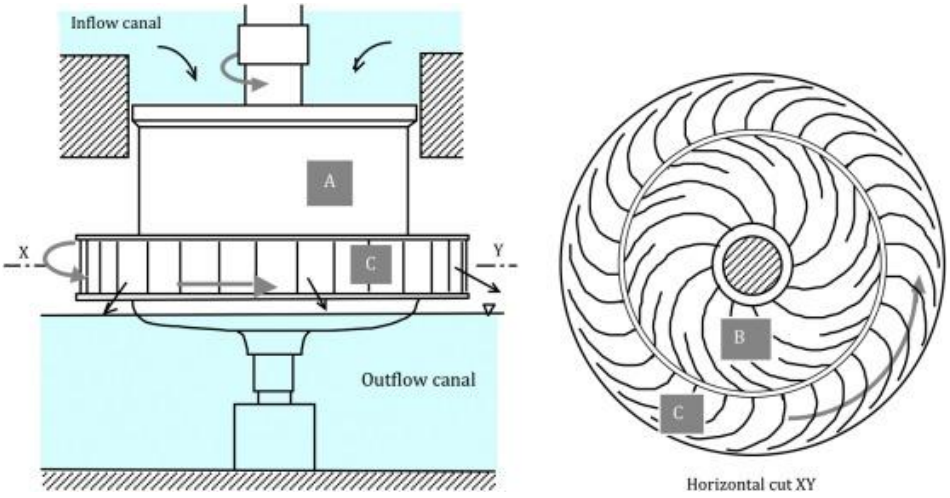
Ayrıca Poncelet, 1826 yılındaki tasarımında düşey çarklarda suyun aynı yerden girip çıkmasını verimsizlik olarak değerlendirip, verimi artırmak ve çarka etki eden su gücünü ayarlanabilir olması için su çarkını düşey konumdan yatay konuma çevirme fikrini önermiştir (Reynolds 1983).



Şekil 2. 11. Jean Victor Poncelet'in su türbini tasarımı (Reynolds 1983)

Endüstriyel su çarklarında yapılan teknolojik gelişmelerden bir diğeri de yatay çarkın düz paletlerini eğrisel paletler ile değiştirerek çarkın veriminin Bernard Forest de Belidor'un tarafından artırılmasıdır (Reynolds 1983).

1827 yılında su türbininin mucidi olarak kabul edilen Fransız mühendis Benoit de Fourneyron, 2.9 metre çapında 0.36 metre yüksekliğinde, 50 beygir gücünde, saniyede 1.5-5 m^3 debi ile çalışan türbin tipi su çarkını geliştirmiştir (Şekil 2.12) (Reynolds 1983).



Şekil 2. 12. Benoit de Fourneyron'un su türbini tasarımı (Reynolds 1983)

İlk verimli su türbinleri de 19. yüzyılın ortalarında görülmeye başlanmış ve birçok uygulamada hızla su çarklarının yerini almıştır. Bu uygulamalar bir anlamda mikro su kuvvetinin öncüsü sayılabilir (Abay ve ark. 2011). Ayrıca 18. yüzyıl, 19. yüzyıl ve 20. yüzyılın ilk yarısı boyunca su çarkları hidrolik enerji üretiminde önemli bir yere sahip olmuştur. Örneğin; 1925 yılında İngiltere'de 25 000 ile 30 000 aralığında ve Almanya'da yaklaşık olarak 33 500 adet su çarkının varlığı tespit edilmiştir (Müller ve Kauppert 2004).

Sanayi devriminde Avrupa'da yaşanan gelişmelere göre Anadolu'da su gücünün gelişimine dair çok fazla kaynak bulunmamaktadır. Bazı araştırmacıların çalışmasında daha çok imalathaneler için ihtiyaç duyulan suyun karşılanması için su yolarının kullanımı ve şehre su dağıtma amaçlı kurulan su çarklarına dair bilgiler yer almaktadır (Ersoy 1963; Karal 1976; Bir ve ark. 2012).

2.3. Su Değirmenleri İle İlgili Çalışmalar

Yapılan araştırmanın bütünlüğünü koruma ve tez çalışmasının öneminin daha net belirtilebilmesi açısından su değirmenlerinin yer aldığı çalışmalar bu bölümde "Tarihi Su Yapısı Olarak Su Değirmenleri" ve "Enerji Kaynağı Olarak Su Değirmenleri" olmak üzere iki alt başlık altında toplanmıştır.

2.3.1. Tarihi Su Yapısı Olarak Su Değirmenleri

Türkiye genelinde tarihi su değirmeni özelinde yapılan çalışmalar araştırıldığında, ilk çalışmalardan biri olarak Danışman (1977)'e ait olup, "Orta Anadolu'nun Bolu Yöresindeki Türbin Türü Su Değirmenleri Üzerine Bir Araştırma" adlı bir makale çalışmasıdır. Yazar, bu çalışmasında Anadolu'nun birçok bölgesinde terk edilmiş su değirmemelerinin sayısının fazla olmasını endişe verici bulduğunu belirtmiş ve buna benzer tarihi teknoloji örneklerinin korunması gerekliliğinin belirtip bazı önerilerde bulunmuştur. Bazı çalışmalarda ise su yapılarından biri olan su değirmenlerinin insanlık tarihi kadar eski olduğu ve büyük ihtimalle insanların sahip oldukları ilk teknolojilerden biri olduğu belirtilmiştir (Bekteşoğlu 2013; Birici 2007).

Yiğit (2007), çalışmasında bazı illerdeki tahrir defterlerine göre su değirmenlerinin sayılarına yer vermiştir. Verdiği bilgilere göre değirmen sayılarının yıllara göre artış gösterdiği görülmüştür. Çalışmasında verdiği örneklerde, 1518 yılında Tunceli'de 118 adet su değirmeni bulunduğunu ve 1566 yılında bu sayının 178'e yükseldiğini belirtmiştir. Ayrıca 1530 yılında bazı illerdeki değirmen sayıları da verilmiştir. Buna göre, Erzincan ilinde 125 adet, Kocaeli'nde ise 134 adet, Biga Livasında 63 adet, Saruhan Livasında 22 adet, Muğla'da 790 adet, Alanya'da 2 adet su değirmeninin bulunduğu belirtilmektedir.

Dünyanın birçok ülkesinde ve ülkemizde tarihi su yapılarının korunmasına veya tekrar kullanılmasına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bu su yapılarının çoğunluğunu köprüler, hamamlar gibi yapılar oluştururken su değirmenlerinin yeri de azımsanmayacak kadar fazladır. Ülkemizde özellikle kırsal turizmin gelişmesine katkı sağlaması ve son yıllarda kültür mirası koruma ve belgelendirme amacı ile mimari alanda ülkemizin birçok bölgesinde su değirmenlerini korumaya yönelik çalışmalar yapılarak envanter oluşturulmaya çalışılmıştır.

Soyel ve Ahunbay (2011)'in yaptığı çalışmasında Kuzey Kıbrıs'ta tespit ettikleri 18 adet tarihi su değirmenini incelemiş ve bunların koruma ve yeniden kullanımlarına dair önerilere yer verirken, Ceylan (2014), çalışmasında Akdeniz Bölgesinde Ağlasun'da yeralan su değirmenlerini konumsal, mimari, yapısal mekânsal ve mekanik

özellikleri açısından incelemiştir. Ayrıca çalışmada su değirmenlerinin önemi, kültürel mirasın en önemli örnekleri arasında kabul edildiği ve bundan dolayı tarımsal faaliyetlerin yanında kırsal kalkınma için turizm amaçlı kullanılabileceğini belirtilmiştir. Bu amaçla bu değirmenlerin korunması ve değerinin arttırılması için çalışmaların yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Çorapçıoğlu (2015) yaptığı çalışmada ise Karadeniz bölgesinin doğusunda yer alan 44 adet su değirmeni için belgeleme ve koruma yöntemlerine yer vermiştir. Yaptığı çalışmada su değirmenlerini havzaya dağılım, mimari özellikler, çalışma sistemleri, sistem elemanları ve özgün işlev durumları açılarından inceleyip, TÜBA-Türkiye Kültür Envanteri Projesi kılavuzunda belirtilen ilkeleri dikkate alarak bir envanter modeli geliştirmiştir. Yapılan bu çalışma ile o bölgede yer alan su değirmenleri belgelenmiş, değirmenlerin korunması ve sürdürülebilirliği acısından gerçekleştirilen bakım ve onarıma yönelik koruma çalışmaları konusunda bilgiler verilmiştir. Ayrıca araştırıcı çalışmasında Trabzon ilinde yer alan değirmen sayılarına da Bostan (2002) çalışmasına atıf yaparak yer vermiştir. Buna göre Trabzon Sancağındaki sosyal ve iktisadi hayat incelenmiş ve 1486 yılında, sancak genelinde 559 adet değirmen bulunduğunu ve bunların öğütmede kullanılan ve "değirmen taşı" olarak bilinen taş sayısının 600 adet olduğunu, 1515 yılında ise sancak genelinde bulunan 600 adet değirmen ve bunlara ait 616 adet öğütme taşının mevcut olduğu belirtmiştir. Bu verilere göre, bu yıllarda yani 15. yüzyılda çalıştırılan değirmenlerin genelde tek öğütme taşlı değirmenler olduğu fakat 16. yüzyılda taş sayılarının arttığını belirtmiştir.

Keçeli (2016), Çeşme Yarımadası'nı kapsayan çalışmasında 20 adet değirmen tespit etmiş ve bunlardan 17 adedinin yel, 2 adedinin su ve 1 adedinin elektrikli değirmen olduğunu belirtmişti ve aynı şekilde bu değirmenlerin mimari özelliklerinin korunmasına yönelik önerilere yer vermiştir.

Özcan (2016), çalışmasında Osmanlı Döneminden kalan Tahrir belgelerini incelemiş ve bu belgelerde su değirmenlerine ait sayılara, su kaynağına ve kullanılan güç hakkında bilgilere yer verildiğini kaydetmiştir. Ayrıca çalışmada, su değirmenlerinin kullanım açısından öneminin yanında devlete kazandırdığı vergiler açısından ekonomiye katkısına da değinilmiştir.

Tütüncü (2016) benzer bir şekilde koruma sorunları ve çözümleri ile ilgili çalışmayı Burdur Çayı üzerinde yer alan Kabacalı değirmeni için yapmıştır. Çalışmasında 12 adet değirmeni değerlendirip varlığını sürdüren değirmenler için belgeleme çalışmaları yapmış ve yeniden kullanım olanaklarını belirlemeye çalışmıştır.

Karaca (2018), tez çalışmasında ise Trabzon ilinde yer alan su değirmenlerini incelemiştir. Çalışmada değirmenlerin ortaya çıkışı, tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve teknik donanımları hakkında bilgiler derlenmiş ve rölöve çizimleri yapılarak değirmen sistemi detaylı bir biçimde anlatılıp, envanter çalışması yapılarak su değirmenleri fotoğraflanarak belgelenmiştir.

Su değirmenlerini koruması ile ilgili yapılan bir başka çalışma Çengel (2019) tarafından yazılan tez çalışmasıdır. Bu çalışmada, UNESCO Dünya Miras listesinde yer alan Safranbolu'da oldukça önemli bir yeri olan tarihi su değirmenlerinin sürdürülebilirliklerinin sağlanması için koruma ve restorasyonuna yönelik önerilere yer vermiştir. Burada üç farklı değirmen incelenmiş ve yeniden kullanım olanaklarının ortaya konulmasını hedefleyen koruma stratejileri belirlenmiştir.

Diğer ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde ise, Hassan ve Hill (1986) yaptıkları çalışmada; Kuzey Afrika'dan Maveraünnehir'e kadar birçok bölgede değirmenlerin bulunduğundan ve bunların genellikle nehir kıyılarına veya suyun hızından faydalanmak için köprü ayaklarına inşa edildiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca, Rakka'dan Bağdat'a kadar olan bölgede Fırat ve Dicle nehirlerinin kıyısına bağlanan büyük tekne-değirmenlerin varlığından bahsetmişlerdir (Hassan ve Hill 1986).

Ayrıca, Lazdane (2011) ve Lazdane (2013) çalışmasında, Letonya'da su değirmenlerinin bulunduğu bölgeleri, enerji üretim mekanizmaları ile mevzuatların peyzaj kullanımı üzerindeki etkisini; tarihsel olarak incelemiş ve bu bölgeleri monografik ve karşılaştırmalı yöntemler kullanarak sınıflandırmıştır. Buna ek olarak çalışmasında, su değirmenlerinin inşa malzemesine bulundukları bölgelerin çevresel koşullarının etkisine de yer vermiştir.

Versaci ve ark. (2016) Sicilya'daki eski su değirmenlerinin geri kazanımı ve korunması ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, bölgede yeralan tarihi su

değirmenlerinin özelliklerine değinip, Gela Nehri üzerinde yer alan bazı değirmenlerde incelemede bulunmuşlardır. Çalışmada kültürel mirasın korunması ve geliştirilmesine örnekler verilmiştir.

Lavryk (2018), Ukranya'da yeralan su değirmenlerini peyzaj açısından incelemiştir. Su değirmenlerinin bulunduğu bölgeyi modern vadi-nehir dönüşümünün temel nedeni olarak göstermiş ve mevcut yapılarını mekansal-zamansal olarak analiz etmiştir.

Szabo ve Sallay (2019), Macaristan'daki su değirmenlerinin, tarihi bilgiye ve yeni teknik gelişmelere dayalı olarak yeniden kullanıma açma imkânlarını göstermeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma için ülkede 291 mevcut su değirmeni tespit edilmiş fakat beş adet değirmen incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma, su değirmenlerinin peyzaj olarak çevreyi nasıl etkileyebileceği, sosyoekonomik açıdan konut, sergi salonu, restoran, sağlıklı yaşam evi veya topluluk alanı gibi yeni işlevler kazandırılabilmesi için su enerjinin sürdürebilir olarak kullanılması gerekliliğine vurgu yapılmıştır.

Punys ve ark. (2019) tarafından 21 Avrupa ülkesinde şu anda aktif olarak enerji üretiminde kullanılmayan tarihi su yapıları (baraj, bent ve su değirmenleri gibi yapılar) incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak, RH (RESTOR Hydro) haritaları kullanılarak su yapılarının bulunabileceği tahmini alanlar belirlenmiştir. Daha sonra bu alanlara ait bilgi kayıtları kullanılarak bu bölgelerde yeralan ve enerji üretiminde daha önce kullanıldığı halde halihazırda kullanılmayan tarihi mikro su yapıları belirlenmiştir. Bu çalışmada dikkat çeken en önemli ayrıntı incelenen su yapılarının neredeyse % 42'sinin tarihi su değirmeni olmasıdır. İncelenen 21 ülke arasında İtalya'da 4965, Almanya'da 4850, Fransa'da 4403, Yunanistan'da 2940, Belçika'da 2392 adet tarihi su değirmeni tespit edilmiştir.

Benzer bir çalışma aynı yıl İtalya'nın Basilicata bölgesinde Sica ve Dimitrijevic (2019) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada; harabe, tekrar kullanılabilecek durumda olanlar (iyileştirmeler sonucunda) ve hala aktif olan bütün değirmenler araştırılmıştır. Tarihi-kültürel açıdan geçerli olduğu düşünülen yapıların geri kazanımını varsaymak amacıyla, araştırma sonucunda 100 adet değirmene yerinde ulaşılmaya çalışılmıştır. Ulaşılabilen değirmenler arasında rastgele 6 adet değirmen seçilerek sahada incelemeler

yapılmış ve bu değirmenlerin yeniden kullanım için geri kazanılabileceği vurgulanmıştır.

Hodgsona ve Piovan (2019) ise çalışmalarında, mısır buğday gibi tahıl ürünlerini öğütmek işleminde kullanılan taş tekerleklerin kullanıldığı yapılardan olan Grist değirmenlerini incelemişlerdir. Bu tür değirmenlerin Avrupa'da 11. yüzyıldan önce, Amerika'da ise 1600'lerden sonra kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmada tarihi su değirmen sahalarını ve göletleri belirlemek ve haritalamak için sistematik bir yaklaşım geliştirilmiş ve Güney Carolina'ya uygulanmıştır. Uygulamada tarihi veriler ve haritalar kullanılarak su değirmeni bulunma potansiyeli yüksek olan bölgelere çok sayıda saha ziyareti gerçekleştirilmiş ve tespit edilen değirmenler kayıt altına alınmıştır.

2.3.2. Enerji Kaynağı Olarak Su Değirmenleri

Ülkemizde ve dünyada mimari alanda olduğu gibi mühendislik alanında da su değirmenleri ile ilgili teknik bilgilerin ve arazi çalışmalarının içeren çalışmalar özellikle son yıllarda sayıca artmıştır.

Bir ve Kayral (1998) tarafından Osmanlı Dönemi su değirmenleri hakkında bir makale yayınlanmıştır. Bu çalışmada, su değirmenlerinin genel özelliklerine, çeşitlerine, su kaldırma sistemlerine değinilmiş, yatay ve düşey milli çarklar için çalışma prensiplerine dair bazı matematiksel hesaplamalar yapılmıştır.

Abay ve ark. (2011) mikro su kuvvetlerinin önemine ve tesislerinin planlanmasına yer verdikleri çalışmalarında su değirmenlerinin ilk çağlardan bu yana kullanıldığını ve sayılarının giderek arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca 19. yüzyılda sadece İngiltere'de 20000'in üstünde su değirmeninin bulunduğunu vurgulamışlardır.

Süme ve Koçyiğit (2012) yılındaki çalışmasında Rize'de yer alan Kalkandere bölgesinde yaptıkları araştırmalara ve ölçümlere yer vermişlerdir. Çalışmada ilk olarak bölgenin iklim özelliklerine ve yağış verilerine yer verilmiştir. Daha sonra bu bölgede tespit edilen 23 su değirmeninin ölçümleri yapılarak tahmini hidrolik enerji potansiyelleri belirlenmiştir.

Ayrıca Süme (2014) diğer bir çalışmasında Salarha vadisindeki su değirmenlerinin enerji üretim potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmasında 19 adet su değirmeninden ölçümler alıp enerji potansiyellerini hesaplayarak su değirmenlerinin yenilenebilir enerji kaynakları olarak tercih edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Dündar ve ark. (2017) Zonguldak ilinde yer alan 188 adet su değirmeninin varlığından bahsetmektedir. Yazarlar, ayrıca kullanılabilecek durumda ve ana elemanları sağlam olan 5 adet su değirmeninin su kaynaklarını, bu kaynakların genel yapılarını, su kuvvetinin sağlanması için inşa edilmiş yapılarını ve elemanlarını teknik açıdan incelemiştir. Bu kapsamda bu su değirmenlerine ait ölçümleri de yaparak su kuvveti tesisine dönüşümü için alt yapı oluşturmuşlardır.

Mikro su yapılarının araştırıldığı bir başka çalışmada Süme (2018), Trabzon Sümela Vadisinde yer alan beş adet geleneksel su değirmenini incelemiştir. Bu çalışmasında da bu yapıların teknik özelliklerine, suyun akış hızı ve düşü yüksekliğine, kullanılan kanalların yapı ve boyutlarına değinmiş ve hidrolik veri ölçümü yapmıştır. Ölçümler sonucunda bu yapılarda enerji üretimi için kullanılabilecek Kaplan Türbin özelliklerine de değinmiştir. Bunlara ek olarak su değirmenlerinin enerji üretiminde kullanılması durumunda ortaya çıkacak enerji miktarını da paylaşmıştır (Süme 2018)

Süme (2019), yaptığı başka bir çalışmada da Rize'nin Derepazarı bölgesini ele almış ve bu bölge içinde diğer çalışmalarına benzer bir çalışma ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonucunda ise 5 adet su değirmeni tespit edilmiş ve üretebilecekleri enerji potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmasında, Trabzon ve Artvin'de 2000'e yakın geleneksel su değirmeninin (GSD) bulunduğundan bahseden yazar, bunların %40'nın aktif durumda olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Derepazarı'nda 18 adet geleneksel su değirmeni için konum çalışması yapıp koordinatlarını belirlemiştir. Çalışmada belirlenen bu 18 değirmenden 5'i için tahmini enerji potansiyeli belirleme çalışması yapılmış ve üretilebilecek enerjinin yapılabilecek iyileştirmeler ile arttırılabileceği öngörülmüştür.

Dündar ve ark. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada, Zonguldak ilinde yer alan 10 adet tarihi su değirmeninin enerji potansiyelini belirlemeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada hidroelektrik enerjinin önemini vurgulayıp bölgede elektrik üretimi için tarihi su değirmenleri kullanılarak sadece kısa vadede değil, uzun vadede de sosyal ve ekonomik faydalar sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca buna ek olarak, bu 10 değirmenden hesaplanan temel yenilenebilir enerji gelirini tespit edip kırsal ve dağlık bölgelerde yaşayan yerel topluluklar için maddi katkı sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Farklı ülkelerde de yapılan çalışmaların birçoğunda su değirmenlerinin önemine ve enerji üretim potansiyellerinin değerlendirilmesine dikkat çekilmiştir. Singh ve ark. (2001) su değirmenlerinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmada yeterli miktarda su ve düşü yüksekliğinin bulunduğu yerlerde inşa edilen değirmenlerin, tarım amaçlı kullanılan makinelerin enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini belirtmiş ve Hindistan'ın Kuzeybatısında Kangra Vadisi olarak adlandırılan bölgede incelemelerde bulunmuşlardır. Bu araştırmalarında su değirmenlerinin çalışma prensiplerine, işlevselliklerini ve performanslarını etkileyen faktörlere dikkat çekip su değirmeninin enerji amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Singh ve ark. 2001).

Müller ve Kauppert (2002 ve 2004) çalışmalarında tarihi su değirmenlerinin İngiltere'nin yeni enerji kaynağı olup olamayacağını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmasında İngiltere'de yer alan 20000 su değirmeninin Almanya'daki su çarkına olan ilginin artması ile enerji üretiminde kullanılmak üzere yenilenebileceğini belirtmiş ve bunun için bölgede yeralan bazı değirmenleri incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında inceleme sonucunda elde ettikleri verileri kullanarak, üstten ve alttan su almalı çarklar hakkında bilgi verip, verim ve fiyat karşılaştırmalarını da yapmışlardır. Ayrıca yazarlar, 2004 yılında yaptıkları başka bir çalışmada da su çarklarının performans özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında, su çarkı tasarımı ve performansı hakkında yayınlanan üç ayrıntılı deneysel çalışmayı inceleyip çarkların elektrik üretimi için uygulanmasını değerlendirmek amacıyla analizler yapmışlardır.

Balakrishnan (2006) çalışmasında, isteğe bağlı olarak sürekli olması ve mevcut enerjinin öngörülebilir olmasını hidroelektrik enerjinin başlıca avantajları olarak belirtmektedir. Bu bağlamda çalışmasında, Hindistan'da su değirmenlerinin hizmet ettiği yaklaşık 50000 yerin var olduğu ve bunların çoğuna uygun teknoloji uygulayarak,

15000 KW'lık bir enerji eşdeğeri ve tahminen yüzlerce kişi için istihdam olanağını sağladığından söz etmiştir.

Pujol ve ark. (2010) İspanya'nın kuzeydoğusundaki Besalu Kentinde bulunan tarihi su değirmeninin hidrolik performansı analiz edilmiştir. İl olarak, tarihi su değirmenine ait fotoğraf ve kayıtlardan yararlanarak su değirmenini tasarlamaya çalışmışlardır. Daha sonra yaptıkları bu tasarım üzerinden hesaplamalı akışkanlar mekaniğini kullanarak 3-D simülasyon oluşturulmuş ve su değirmenine gelecek kaynaktan üretilebilecek güç elde edilmiştir. Son olarak yapılabilecek iyileştirmeler ile yeni bir tasarım ortaya konmuş ve bu tasarımın klasik su değirmeni tasarımına göre % 44 kadar verim sağladığı tespit edilmiştir.

Nepal Kırsal Teknoloji Merkezi tarafından hazırlanan "Geliştirilmiş Su Değirmeni Geliştirme - Durum İncelemesi" raporunda su değirmenlerini teknolojiye uygun geliştirip güç verimini artırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Uygulamalı Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezi, ahşap küreklerin yerine hidrolik açıdan daha verimli metalik bıçakların yer aldığı Geliştirilmiş Su Değirmeni'nin bir prototipi geliştirilmiş ve bu prototip bir değirmende test edilmiştir. Bu test sonuçlarında 0.2-0.5 kW aralığında olan çıkış güç kapasitesi 0.5-3.0 kW aralığına yükseldiği gözlemlenmiştir (CRT/N 2014).

Quaranta ve Revelli (2018), İtalya'da yeralan su değirmenleri için su çarkı teknolojisi, geometrik ve hidrolik tasarıma odaklı bir çalışma yaparak, su çarklarının maksimum verimliliğinin giriş konfigürasyonuna bağlı olarak % 75 ile % 80 arasında değiştiğini, su çarklarının maksimum verimliliğinin ise % 85 civarında olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, modern su çarklarının maksimum verimliliğinin, daha eski tesislere göre daha geniş bir akış hızı aralığında ve hidrolik koşullarda bu kadar yüksek değerlerde korunabileceğini bu nedenle, iyi tasarlanmış su çarklarının, verimli ve uygun maliyetli mikro hidroelektrik dönüştürücüler olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Franco ve ark. (2019) İtalya'nın Kuzeybatısında yer alan bölgede yaptıkları çalışmada, bir aile tarafından yenilenen ve işletilen tarihi su değirmenini incelemişlerdir. Bu çalışmada su değirmenine ait mekanik yapıyı oluşturan su çarkları ve değirmen taşlarının detayları verilmiştir. Ayrıca çalışmada, su çarklarının hidroelektrik üretimi

için önemli bir paya sahip olduğunu ve türbin yerine kullanımının uygun olduğunu bu yüzdende mekanik tasarımının önemini vurgulamışlardır. Doğru tasarım ile üretim potansiyeli arttırılabileceği belirtilmiştir.

2.4. Diğer Çalışmalar

Bu başlık altında, tez çalışması kapsamında sahada yapılan ölçmelerde kullanılan hidrolojik veri ölçme ve analiz etme yöntemlerine dair çalışmalara yer verilmiştir.

Özkök (2006) yaptığı tez çalışmasında hidroelektrik enerji üretme yöntemlerine değinmiş ve yaygın olarak kullanılan debi süreklilik eğrisi ile ardışık akım öteleme yöntemlerini karşılaştırmıştır. Debi süreklilik eğrisi için Çoruh Havzasında yer alan 8 adet akım gözlem istasyon verisini kullanırken, ardışık akım öteleme yöntemi için ise Oymapınar Barajına ait veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen enerji miktarları karşılaştırılıp alınması gereken önlemler belirtilmiştir .

Erdem (2006) tarafından yapılan bir başka tez çalışmasında, küçük hidroelektrik santral olarak adlandırılan yapıların tasarım ölçütlerine yer verip, yapıda yer alan iletim kanallarına, yükleme havuzlarına, kullanılan cebri boruya, çökeltme havuzuna ve santral yapısına ayrıntılı bir şekilde değinmiştir. Ayrıca çalışmasında akış - süreklilik eğrisinden yararlanarak kurulu gücün belirlenmesinde kullanılabilecek seçim ölçütlerine de değinmiştir .

Ardıçlıoğlu ve ark. (2011) açık kanallarda debi ölçümü için kullanılan yöntemlere ile ilgili çalışma yapmışlardır. Suyun doğru ve etkili kullanımı için kalite ve miktar bakımından akım özelliklerinin belirlemesi gerektiği belirtilmiş ve miktar (debi) ölçümü için hız ölçüm metoduna yer verilmiştir. Bu yöntem doğru, ekonomik ve daha az zaman harcayacak şekilde kullanılabilmesi için ölçümlerde kullanılacak dilim sayısına doğru karar vermek gerektiğini belirtmişler ve bunun için 5 farklı istasyonda, 10 farklı akım şartlarında ölçümler yapmışlardır .

Ayrıca Ardıçlıoğlu ve ark. (2013) başka bir çalışmayı küçük akarsular için yapıp debi belirlemede kullanılan "Alan Hız Yöntemi, Anahtar Eğrisi Yöntemi**,** Manning

Denklemi**,** Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı, Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı" gibi yöntemleri arazi çalışması yaparak karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için rölatif farklardan faydalanmışlardır. Anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı yardımıyla hesaplanan debiler arasındaki rölatif farklar da sırasıyla %18,7, %17,3, %25,0 olarak bulunmuştur. Entropi yönteminde ise bu farkın %13,8 olduğu, hız alan yöntemlerinden sonra en iyi sonuç veren pratik bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Demirci ve ark. hidroelektrik enerji üretimi için Ossberger türbin ile senkron jeneratörünü kullandıkları bir uygulama çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında ilk olarak mini hidroelektrik sisteme değinmiş, kırsal ve dağlık bölgelerde kullanılabilecek farklı bir tasarım gerekliliğini belirtmişlerdir. Yalnızca devir sayısı ayarlanabilen bir su türbini ile küçük hidroelektrik potansiyellerin az bir yatırımla değerlendirilmesi için uygulama çalışmalarına yer vermişlerdir (URL-2).

Alashan (2016) tarafından yapılan tez çalışmasında hidroelektrik enerji potansiyelini belirleyebilmek için kullanılan akım öteleme, debi süreklilik, hipsografik eğriler, düşü-akım, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi yöntemlerine değinmiş ve yeni bir yöntem olan "Enerji Ağacı" yöntemini kullanmıştır. Uygulama alanı olarak Murat Nnehri havzası seçilmiş ve bu havzada yer alan istasyonlara ait veriler kullanılmıştır .

Yılmaz ve Öztürkmen (2018), GAP bölgesinde yer alan yenilenebilir enerji kaynaklarını ve çevresel etkilerini inceledikleri çalışmalarında, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel kalkınmaya katkı oranlarına değinmişlerdir.

Kurtuluş ve ark. Diyarbakır ilinin enerji durumunu inceleyerek, bölgeye ait enerji kaynaklarını ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada enerji politika ve çevresel etkileri SWOT (Strengths-Üstünlükler, Weaknesses-Zayıflıklar, Opportunities-Fırsatlar, Threats-Tehditler) analizi ile değerlendirip, enerji üretiminin arttırılması için öneride bulunulmuştur. Yaptıkları analiz sonucunda, yatırım teşviki alan bir bölge olması, genç nüfus oranının yüksek olması, çok kültürlü bir yapıya sahip olması, köklü bir yüksek öğretim kurumu barındırması üstünlükler olarak değerlendirilirken, güvenlik sorunu ve buna bağlı ticaret

sorunları, vasıflı eleman eksikliği gibi nedenler zayıflılıklar olarak değerlendirilmiştir (URL-3).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Su Değirmenlerinin Genel Özellikleri

Bu bölümde su değirmenlerinin genel özellikleri arasında yer alan "Tanım ve Tarihçe", "Çalışma Prensipleri" olmak üzere iki ana başlık altında verilmiş olup "Çalışma Prensipleri"'de "Su Çarkları", "Değirmen Taşları", "Dövme Çekiçleri (Dink)", "Su Alma Yapıları" olmak üzere dört başlık altında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.1.1.Tanım ve Tarihçe

Türk Dil Kurumu değirmeni "Öğüten Araç" ya da "içinde öğütme işi yapılan yer" olarak tanımlamaktadır (TDK 2005). Dönme, çevrilme anlamına gelen "teg" kökünden "irmen" ekiyle türetilen ve dönen, çevrilen anlamını taşıyan "tegirmen" sözcüğünden gelmektedir (Bir ve ark. 2012). Bir su kaynağının yakınında inşa edilen ve su gücüyle çalışan değirmenler Su Değirmeni olarak tanımlanmaktadır. Osmanlı Türkçesinde daha çok Su Değirmenlerine Âsiyâb denir. Âs, Farsça bir kelime olup değirmen manasındadır. Farsça'da sözlük anlamı; tahılın un hâline getirildiği yuvarlak ve geniş iki taş şeklinde verilmektedir. Eğer bu taşlar su kuvvetiyle hareket ediyorsa, Su Değirmeni anlamında Âsiyâb denir (Birici 2007).

İnsanoğlunun en temel ihtiyaçları arasında yer alan ve beslenme ihtiyacının temel maddesi olan buğdayın öğütülmesinde kullanılmak üzere ilk olarak değirmen örnekleri ortaya çıkmıştır. Değirmen taşını döndürmek için kullanılan insan ve hayvan gücünden sonra teknolojik gelişmeler ile ortaya çıkan ve su gücü ile çalışan su değirmenleri yakın geçmişe kadar önemli bir yere sahip olmuştur.

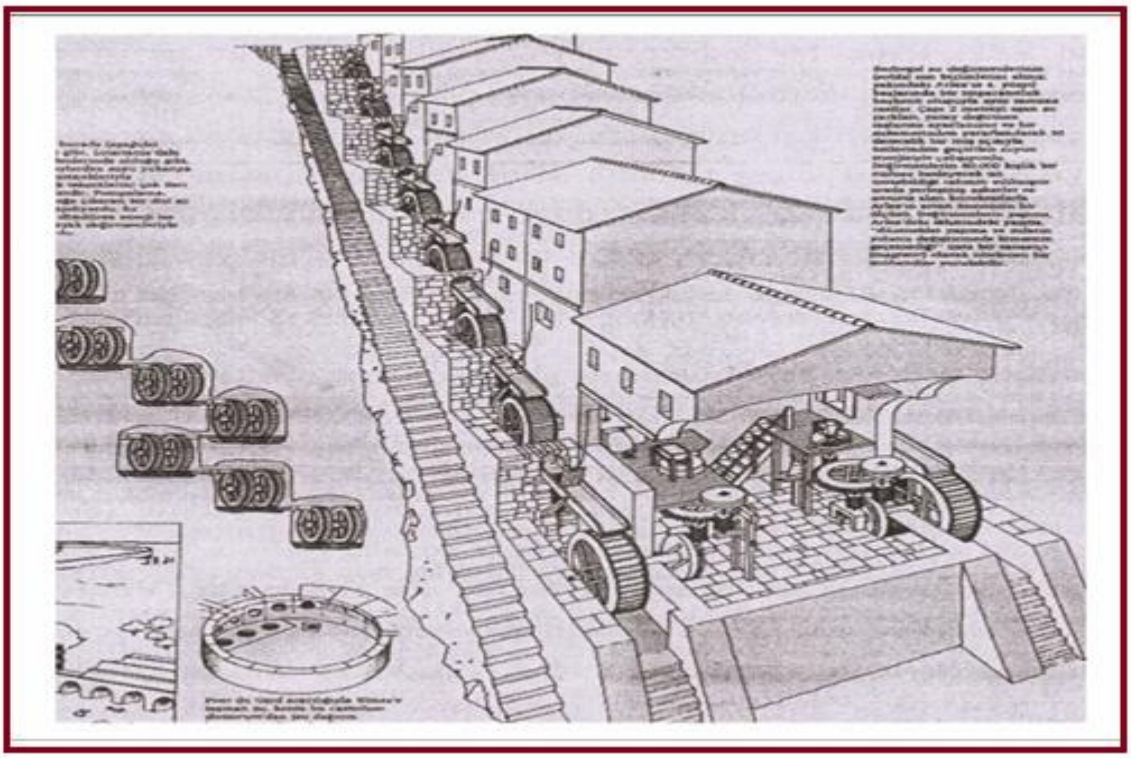
Bektaşoğlu çalışmasında, su değirmenleri ile ilgili olarak şu notları düşmektedir: "Tarıma dayalı ekonomilerde değirmenin önemi büyüktür. Tarım ürünleri, değirmen ve insan arasında doğrusal bir bağlantı vardır. İnsanlık tarihinde değirmenlerin Çinliler tarafından yel değirmeni olarak icat edildiğine inanılmaktadır. Ortaçağda teknolojik olarak suyun gücünün değirmen taşlarını çevirmede kullanılması, değirmencilik teknolojisi açısından önemli bir aşamadır" (Bektaşoğlu 2013).

Su değirmenlerinin ilk olarak ne zaman ve kimler tarafından kullanılmaya başlandığı tam olarak bilinmemektedir. Pek çok bilim insanı su değirmenin icadı olarak çalışmasında farklı bilgilere değinmişlerdir. Acar ve ark. (2010) göre değirmenin ilk örnekleri, insan soyunun toprağa bağlandığı ve ilk tarım etkinliklerinin başladığı Cilâlıtaş Devri'ne (M.Ö. 9000-5600) yani "Neolitik Dönem"e kadar uzanır. Moritz (1958) ve Wikander (2000) 'e göre su değirmeni icadı M.Ö. II. Yüzyılın sonu veya I. Yüzyılın başı iken, Lewis (1997)'e göre ise bu tarih M.Ö. III. yüzyılda diğer su kaldıraçları ile birlikte ortaya çıkmıştır (Moritz 1958; Wikander 2000; Lewis 1997). Abay ve ark. (2011) ise su değirmenlerinin ilk çağlardan bu yana kullanıldığını ve sayılarının giderek arttığını belirtmişlerdir. Su değirmenlerinin en eski örneklerinden biri de Norse tipi Su Değirmeni olarak bilinmektedir. Bu değirmen yatay çarkı ve çarkın üstünde su akıntısı ile döndürülen kepçeleri olan basit bir sisteme sahiptir.

Su değirmenlerinin Anadolu'daki kökeni konusunda araştırmalardan elde edilen bilgilere göre; Roma Çağına dayanan su kuvvetinden faydalanan teknoloji örnekleri olarak bulunmaktadır (Acar ve ark. 2010). Eskiçağın coğrafyacısı olarak bilinen Strabon, "Geographika" adlı eserinde yer verdiği bilgiye göre, Anadolu tarihinde bilinen ilk su değirmeni Tokat-Niksar yakınlarındaki Kabeiria'da, Lykos (Kelkit) Irmağı üzerinde Mithridates Krallığı döneminde yaklaşık olarak M.Ö. I. yüzyılda inşa edilmiştir. Bu Anadolu'da belgeye dayalı olarak varlığı bilinen en eski su değirmenidir (Tosun 2009). Su çarkı ve onun önemli uygulaması olan su değirmenlerinin Anadolu'daki tarihi ile ilgili bir başka bilgi ise M.Ö. II. yüzyılda Mithridates Krallığı'nın başkenti Cibera'da (günümüz adı ile Niksar'da) geliştirilmiş olduğudur (Bir ve ark. 2012).

Su değirmenlerinin Türk kültüründeki yeri ise M.Ö. III.'e kadar uzanmaktadır. Göktürkler, Uygurlar, Kırgızlar gibi topluluklarda değirmenle ilgili unsurlara rastlanmaktadır. Su değirmeninin kullanımı ise ilk olarak Uygurlar dönemine denk gelmektedir (Ögel 1988). Ortaçağ İslam Dünyasında ise su değirmenleri Endülüs'ten Kuzey Afrika'ya, Afrika'dan Maveraünnehir'e kadar geniş bir coğrafyada tarıma bağlı olarak gelişmiştir. Ayrıca İslam dünyasındaki mekanik aletler hakkında çizimler yapmış olan El-Cezeri, eserinde değirmen çarklarını ve bu çarkların işleyişleri hakkında bilgi vermiştir (Bektaşoğlu 2013).

M.S. IV. yüzyılda Güney Fransa'da inşa edildiği düşünülen Barbegal'de yapılan kazılarda tespit edilen, ard arda gelen yatay milli düşey su çarklarından oluşan ve su gücü ile çalışan değirmenlerin ilk örneklerinden biri sayılan tahıl öğütmek için kullanılan değirmenler Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Tosun 2009).



Şekil 3. 1. Su gücü ile çalışan un değirmenleri restitüsyonu (Barbegal) (Tosun 2009)

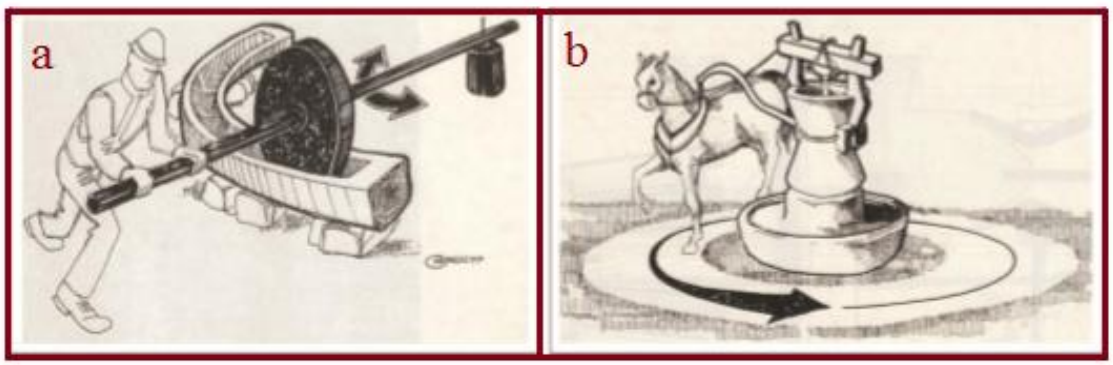
Osmanlılar döneminde de su değirmenleri önemli bir yere sahipti. Bu döneme ait Tahrir Defterlerinde bütün eyaletlerin yerleşim birimleri için kullanabileceği değirmen sayıları ve kapasiteleri (çark sayısı ve taş adedi gibi) bilgileri Asiyab (su değirmeni) olarak kayıt altına alınmış ve vergilendirilmiştir.

3.1.2. Çalışma Prensipleri

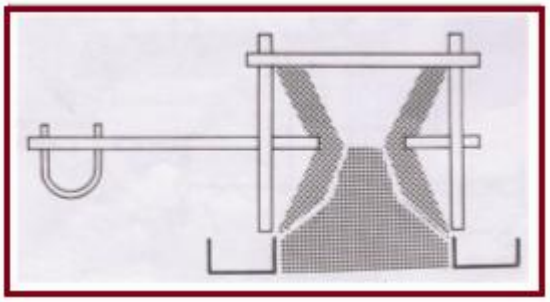
Su çarkının ve değirmen taşının bir mil veya dişli ile ilişkilendirildiği sistemlere Su Değirmenleri denir. Zaman içinde ortaya çıkan basit mil ve çark sistemleri, çıkrık sistemleri, su çarkları, rüzgârdan faydalanmak için yelkenin icadı gibi buluşlar sayesinde un elde etmek için çeşitli değirmen mekanizmaları kullanılmaya başlanmıştır. Değirmenler kullandıkları enerjinin türüne göre; "İnsan gücü ile çalışan el

değirmenleri", "Hayvan gücü ile çalışan değirmenler" ve "Doğa gücü (Rüzgâr ve su) ile çalışan değirmenler" olarak sınıflandırılmaktadır.

Yüzyıllar boyunca değirmenlerin enerji kaynağı insan gücü olmuş ve el ile öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Fakat zamanla artan nüfusa bağlı olarak artan üretim ihtiyacını karşılamak için el ile öğütme işlemi yerini gelişmiş ve daha güçlü kaynaklara bırakmıştır. Gelişim sürecinde, değirmen taşlarını döndürmek için insan, hayvan, su ve rüzgâr güçleri kullanılmıştır. Landels (1996) çalışmasında eski Yunan ve Roma'da öğütme işlerinde güç kaynağı olarak kölelerden yararlanıldığını ve hayvanların kullanılmadığını söylemektedir.



Şekil 3. 2. *Öğütme işleminde insan (a) ve hayvan gücü (b) kullanımı (Irimie ve ark. 1981)*



Şekil 3. 3. Hayvan gücü ile çalışan değirmen tasarımı (Danışman 1977)

Rüzgâr gücü kullanımı ise yel değirmenlerinin gelişimine bağlı olarak başlamıştır. Batıda gelişen ve rüzgâr enerjisini daha verimli kullanabilecek şekilde yapılan düşey kuleli değirmenler rüzgar gücü kullanımını da arttırmıştır (Medioli ve ark. 1997). Rüzgâr gücü ilk olarak M.Ö. 17. yüzyılda Ortadoğu'dan başlayarak,

Mezopotamya ve Çin'de sulama amaçlı kullanılmıştır (Bir ve ark. 2012). Orta Avrupa'da rüzgâr gücü kullanımı ise 12. yüzyılda yaygın güç kaynağı olarak tahıl öğütme, su kaldırma ve su pompalama amaçlı kullanıldığı Medioli ve arkadaşları (1997) tarafından belirtilmektedir.

Suyun varlığı ise medeniyetlerin gelişmesi için önemli bir güç kaynağı olmuştur. İnsan ve hayvan gücüne alternatif arayan topluluklar ilk mühendislik çalışmalarında suyun taşıma gücünden faydalanmışlardır. Bunun için suyun akışını potansiyel enerji kaynağı olarak değerlendirmişlerdir. Bu enerjinin kullanılmaya başlanması ile su çarkları ortaya çıkmıştır.

Su gücü ile çalışan değirmenler akmakta ya da dökülmekte olan suyun doğrusal hareketinin su çarkları aracılığı ile dönme hareketine dönüşmesi sonucunda mekanik iş yapan sistemlerdir (Çorapçıoğlu 2015).

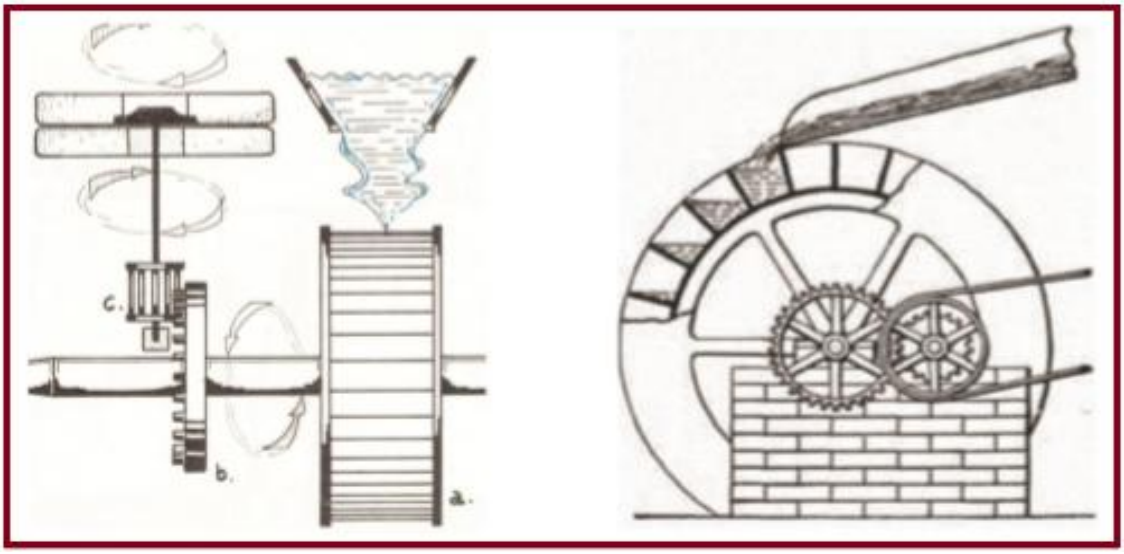
Su değirmenleri; su iletim kanalı, su alma yapısı, su kemeri, su kulesi (kuyusu) ve değirmen binasından oluşan yapısal bir sisteme sahipken ayrıca, çark (türbin görevini yapan), mil, öğütme taşları gibi mekaniksel bir sisteme de sahiptir (Dündar ve ark. 2017).

3.1.2.1 Su çarkları

Su çarkları yatay veya düşey olarak konumlandırılabilen, suyun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemi harekete geçiren elemanlardır. Yatay ve Dikey su değirmeni; yönlendirme su kanalı, eğimli kanal, su çarkı, tahrik mili, platform ve un değirmeni gibi ana elemanlardan oluşmaktadır. Yatay su değirmenlerinde ayrıca kullanım amaçlarına göre ekstra olarak pirinç tabancası veya yağ sökücüsü bulunabilir.

Yatay Milli Düşey Çarklı Su Değirmenleri, Birçok araştırmacı çalışmalarında yatay milli düşey çarklı su değirmenlerine yer vermiş ve bunların çizimlerini göstermiştir ((Irimie ve ark. 1981; Maşalı 2006; Bir ve ark. 2012). Dişli donanımlı ilk düşey çarklı su değirmenini Vitruvius'un tarafından yapıldığı bilinmektedir. Bu değirmen, insan gücünden başka güçlerin kullanılabildiği ilk dişli uygulaması olarak da kabul edilmektedir. Bir ve ark. (2012), dolap değirmen olarak adlandırılan yatay milli düşey çarklı değirmenleri tanımlarken, Romalı Mühendis Vitruvius'un "De

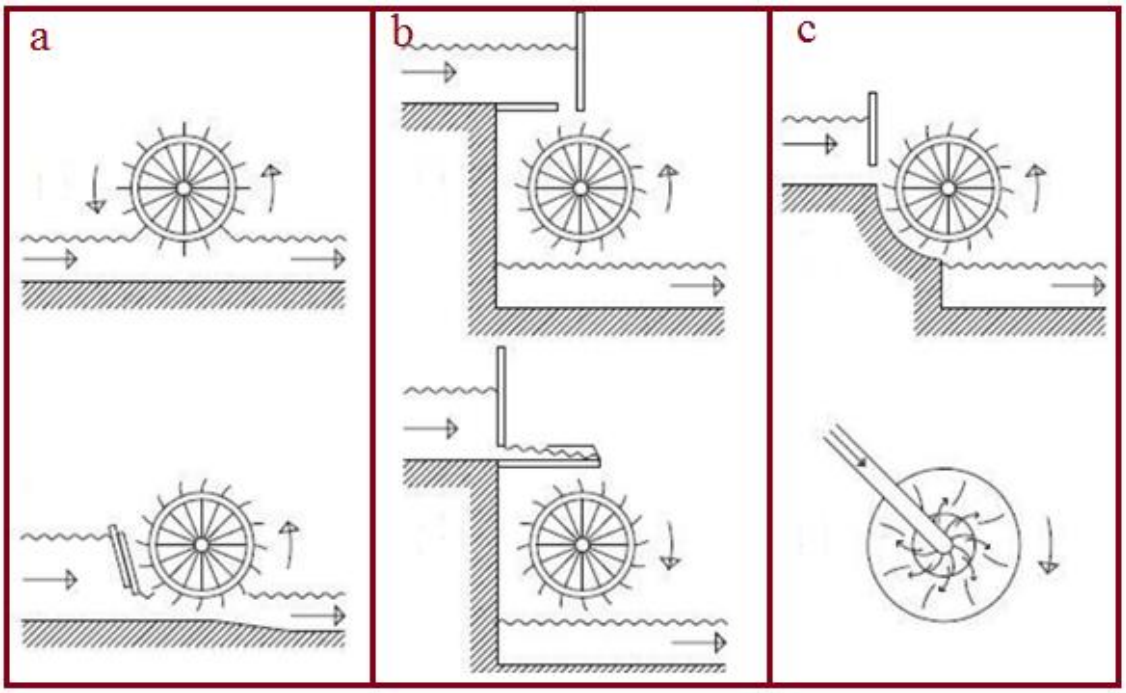
Architectura" isimli Latince eserinden faydalanmaktadır. Bu eserde ilk çağdaki su gücü kullanımının yer almasının yanı sıra, su kaynakları ve su mühendisliğine dair birçok bilgi yer almaktadır. Vitruvius eserinde su çarkını kepçeli bir zinciri çalıştırmak için gerekli olan güç kaynağı olarak anlatmış ve bu çarkın ayrıca tahıl öğütme işinde kullanıldığını belirtmiştir. Yatay milli su çarkını ise dış çevresinde kanatlar bulunan çubuklu, çapı belirtilmemiş ve kanatları nehirdeki akım tarafından döndürülen bir çark sistemi olarak tanımlamıştır. Kısaca belirtmek gerekirse düşeye yerleştirilmiş çark ve yatay bir mil ile hareket sağlanmaktadır.



Şekil 3. 4. Yatay milli düşey su çarkı ve güç aktarım dişlileri (Irimie ve ark. 1981)

Yatay milli düşey çarklar alttan çevirmeli (undershot), üstten çevirmeli (overshot) ve göğüslemeli olmak üzere üçe ayrılır (Şekil 3.5).

Alttan çevirmeli düşey çark tipinde daha çok suyun kinetik enerjisi kullanılır. Mevsimsel değişimlerin fazla olmadığı, debisi yüksek akarsularda kullanılır. Yatay milli su değirmeninde suyun oluşturduğu kuvvet değirmen taşını döndürmek için; suyun, alttan veya üstten akarak çarkın dönmesini sağlaması, çarkın bağlı olduğu mil ve dişli sisteminin değirmen taşının bağlı olduğu dişliyi döndürmesi ve değirmen taşının harekete geçerek sistem çalışması olmak üzere 3 temel aşamadan geçer (Maşalı 2006).



Şekil 3. 5. Geliştirilmiş yatay milli su çarkları a) alttan çevirmeli, b) üstten çevirmeli ve c) göğüslemeli (Maşalı 2006)

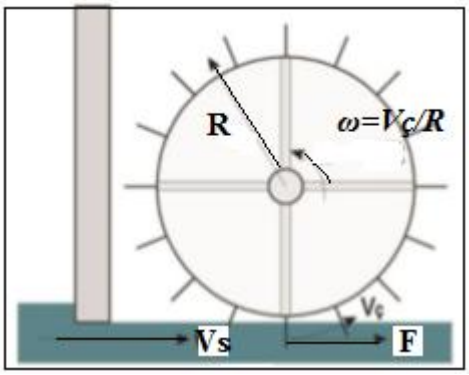
Bir ve ark. (2012), bu çarkın çalışma prensibine değinmiş ve bunu matematiksel olarak göstermişlerdir. Buna göre V_s ile akan suyun temas ettiği çark $V_ç$ hızı ile döner. Bunu açısal hızla ifade edecek olursak;

$$\omega = V\text{ç}/R \tag{3.1}$$

şeklinde olur. Burada R yarıçapı ifade etmektedir.

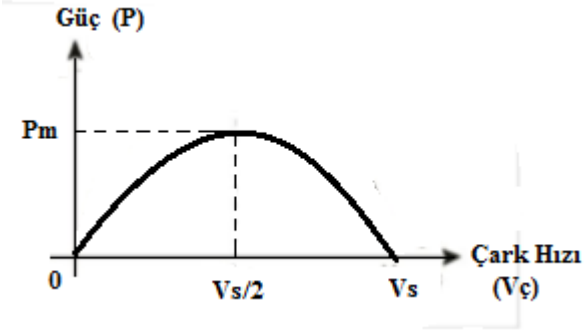
Suyun çark paletlerine değdiği noktalarda oluşan itme kuvveti (F) kullanılarak suyun çarka aktardığı güç (P) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Bir ve ark. 2012).

$$P = F . V\text{ç} \tag{3.2}$$



Şekil 3. 6. Yatay milli alttan çevirmeli düşey çarkın çalışma prensibi (Bir ve ark. 2012)

Bu işlemlerde de görüldüğü gibi suyun akış hızı ile çarkın dönüş hızı aktarılan gücün miktarına etkisi önemlidir. Aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi akış hızı sıfır olursa güç üretimi gerçekleşmez. Ayrıca grafiğe göre çarkın dönüş hızı ile suyun akış hızı eşit olursa da güç üretimi gerçekleşmez. Güç üretiminin maksimum olabilmesi için Şekil 3.7'de gösterildiği gibi çark hızının suyun akış hızının yarısına eşit olmalıdır (Bir ve ark. 2012).

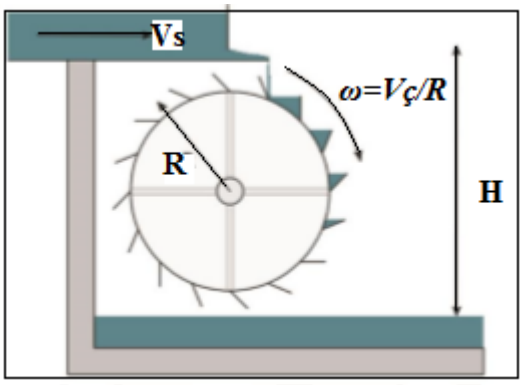


Şekil 3. 7. Vs, Vç ve P (suyun hızı, çark hızı ve güç) arasındaki ilişki (Bir ve ark. 2012)

Üstten çevirmeli düşey çarklarda ise güç yukarıdan akan suyun kinetik ve potansiyel enerjisinden elde edilir. H yüksekliğinden V_s doğrusal hızı ile akan bir su ivme kazanarak hızlanır. Çarka aktarılan güç (P) ise suyun özgül ağırlığına (ρ), yer çekimi ivmesine (g), yükseklik farkına (H) ve çarkı besleyen suyun debisine (Q)

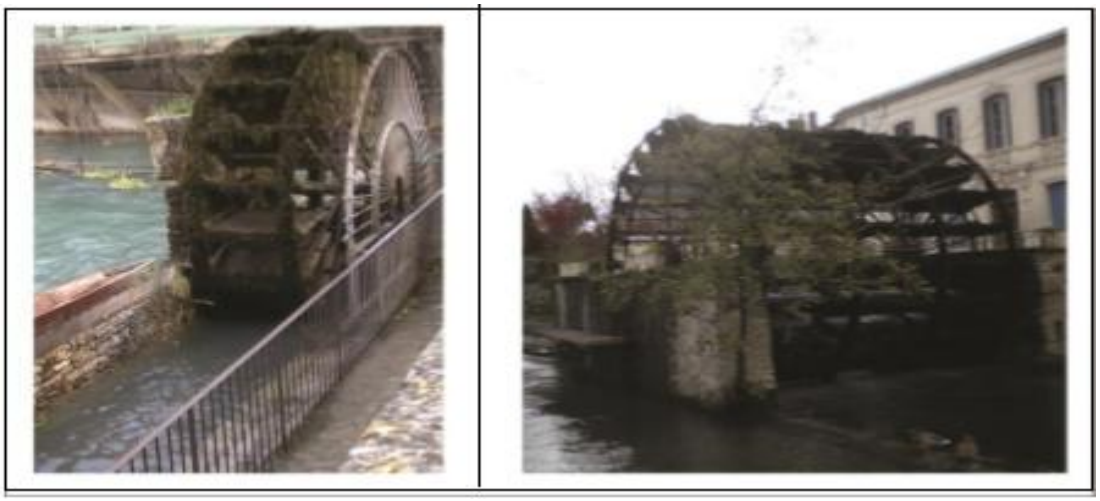
bağlıdır. Aşağıdaki formülde bu değişkenler kullanılarak güç elde edilir (Bir ve ark. 2012).

$$P = \rho . g . H . Q \quad (3.3)$$



Şekil 3. 8. Yatay milli üstten çevirmeli düşey su çarkı çalışma prensibi (Bir ve ark. 2012)

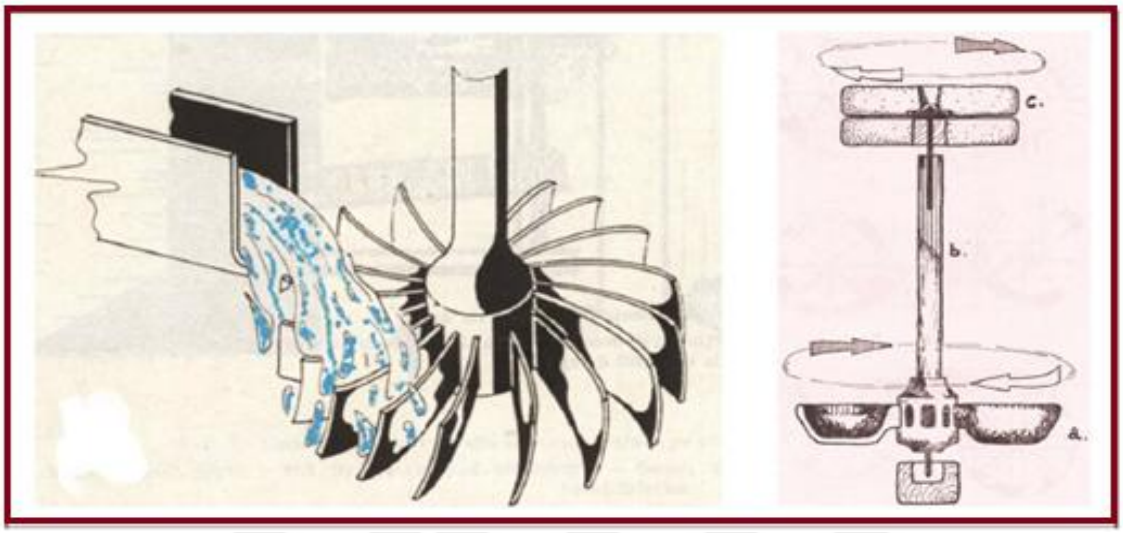
Göğüslemeli olarak adlandırılan yatay milli düşey çarklarda suyun sadece potansiyel enerjisinden yararlanılır. Bu tip değirmenler Avrupa ve Kuzey Amerika'da verimi yüksek tutmak amacı ile geliştirilmiş ve 19. yüzyılın sonlarında da Anadolu da bazı tesislerde kullanılmıştır (Bir ve ark. 2012).



Şekil 3. 9. Yatay milli göğüslemeli düşey su çarkı örnekleri- Güney Fransa (Çorapçıoğlu 2015)

Düşey Milli Yatay Çarklı Su Değirmenleri, Bu değirmenler türbin tipi çarklı değirmenler olarak da bilinirler. Yatay çarklı bu değirmenlerde su bir borudan

geçirilerek çıkış ağzından su jeti oluşturularak kinetik enerji dönüşümü ile enerji elde edilir. Bu yüzden yatay çarklı su değirmenleri, yeterli düşü yüksekliğinin sağlandığı noktada inşa edilmektedir.

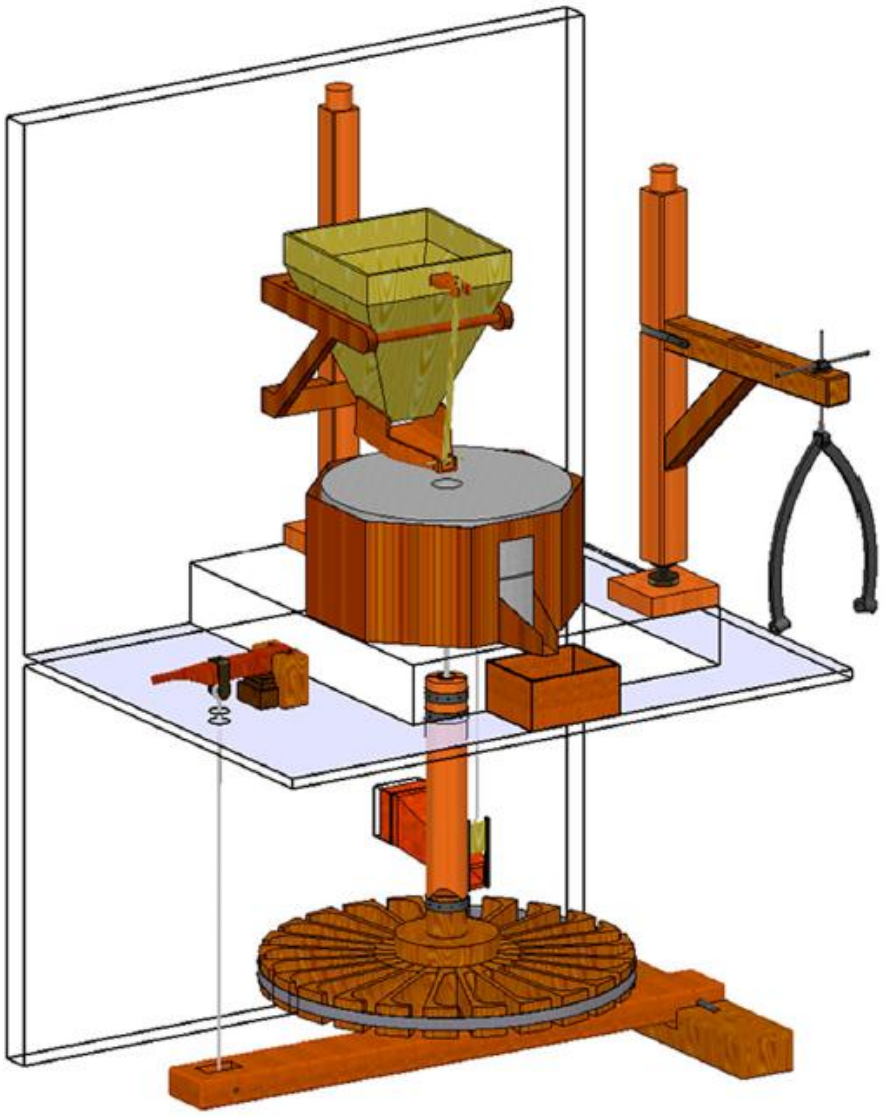


Şekil 3. 10. Düşey milli yatay su çarkı örneği (Irimie ve ark. 1981)

Kanallardaki serbest yüzeyli akımı basınçlı akıma dönüştürmek için genellikle koni şeklinde bir yapı yapılmaktadır. Bu yapının koni şeklinde yapılmasının nedeni değirmenin çarkına varıncaya dek düşey mesafe boyunca suyun hızını (kinetik enerjisini) artırarak bir su jetini elde etmek ve sürekli ve yerel yük kayıplarını minimize etmektir. Suyun çarka vurduğu yere boyra denir ve suyun miktarına göre boyranın çapı değişmektedir. Boyranın çapını ayarlamak için huni şeklinde içerisi geniş ağız kısmı dar olan boyra halkası takılmaktadır. Su jeti değirmenin çarkını, momentum kuvveti uygulayarak döndürmektedir. Çark ise bir çelik mil ile bağlı bulunduğu değirmen taşını döndürmektedir. Kısaca, yatay su değirmeninde; yatayda su kuvveti ile döndürülen çark ve düşey bir mil ile hareketi sağlar. Yatay çarklı değirmenlerde, dönen değirmen taşları ve bağlı oldukları dikey dingiller bulunmaktadır. Bu tür değirmenler özellikle az su varlığına adapte olabilmişlerdir ve genellikle dağlık bölgelerde bulunurlar (Wikander, 2000).

Ülkemizde özellikle Doğu Karadeniz'de bu tür değirmenlere rastlanmaktadır. Doğu Karadeniz havzası için yapılan bir çalışmada yer alan değirmenlerin bu tür değirmenler olduğu belirtilmiştir (Çorapçioğlu ve Binan 2017). Ayrıca, Gürsel ve

Taşkın (2007), Soyel ve Ahunbay (2011) ve Dündar ve ark. (2017)'ın sırası ile Beypazarı, Kıbrıs ve Zonguldak'ta yaptıkları çalışmalar sonucunda bu bölgelerde inşa edilen su değirmenlerinin de yatay değirmenler olduklarını belirtmişlerdir.



Şekil 3. 11. Yatay çarklı değirmende değirmen taşı-çark sanal rekonstrüksiyonu (Jiménez ve González 2018)

Kullanımı yaygın olan bu değirmenlerin çalışma prensibine Bir ve ark. (2012) değinmiş ve bunu matematiksel olarak göstermişlerdir. Yaptıkları işlemlerde çarkta üretilen gücü (P), suyun etkilediği kanat alanına (A) ve suyun hızına (v) bağlı olarak ifade etmişlerdir. Bu formülü elde etmek için suyun debisinden (Q) ve güç aktarımı sırasında oluşan güç kaybını hesaba katmak için kullanılan verim katsayısından (η) faydalanmışlardır. Buna göre; sırası ile suyun kinetik enerjisi (Eşitlik 3.4), suyun kütlesi

(Eşitlik 3.5), birim zamandaki suyun kütlesi/kütlesel debi (Eşitlik 3.6) ve birim zamandaki kinetik enerji (Eşitlik 3.7) aşağıda verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} . m. v^2 \quad (3.4)$$

$$m = \rho . V \quad (3.5)$$

$$\dot{m} = \rho . Q \quad (3.6)$$

$$E = \frac{1}{2} . \rho . Q . v^2 \quad (3.7)$$

Son durumda çarkın belirli bir debide ve belirli bir verimle ürettiği güç;

$$P = \frac{1}{2} . \eta . \rho . Q . v^2 \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

P = güç (W veya kW olarak),

Q=1 sn de geçen su miktarı/hacmi (m^3/sn)

η = Verim

ρ=Yoğunluk/Suyun birim hacminin kütlesi (kg/ m^3)

v = Akım hızı (m/sn)

3.1.2.2. Değirmen Taşları

Değirmen taşı, çeşitli maddeleri ezmek, kırmak, ufalamak veya öğütmek için kullanılan geleneksel olarak taştan imal edilen fakat teknolojik gelişmeler sonucu metal olarak da imal edilen değirmenler için teknik bir üretim aletidir.

Değirmen taşları ile ilgili bilginin yer aldığı bazı çalışmalar mevcuttur (Hazen 1996; Brun 2004; Belmont 2006; Bir ve ark. 2012; Çorapçıoğlu 2015). Bu çalışmalarda taşların hareket şekilleri, boyutları ve türleri hakkında bilgi verilmiştir. Değirmen taşları genellikle suya dayanıklı, heterojen, gözenekliliği iyi olan taşlardan üretilir. Değirmen

taşları üretilirken yüzeyleri işlenerek oluklar oluşturulur ve bu olukların aynı geometrik düzende olması sağlanır. Değirmen taşlarının türleri ve boyutları öğütülen maddenin türüne göre farklılık gösterir. Taşların çapı büyüdükçe dönme hızı azaldığından çapları büyük taşlar daha yavaş döner ve daha ince iş yaparlar. Çapları küçük taşlar ise daha hızlı döner ve iri taneli öğütmelerde kullanılır.

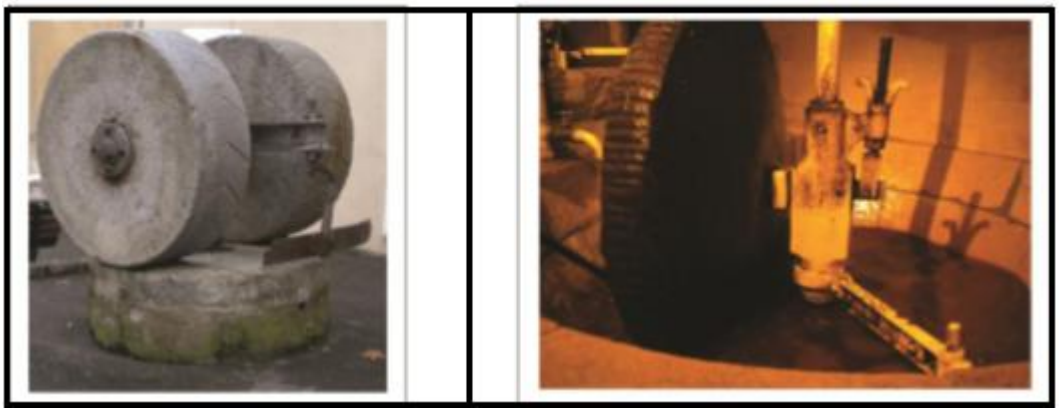
Su değirmenlerinde kullanılan değirmen taşlarının hareketine bağlı olarak döngüsel ve eksenel hareketli değirmen taşları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Hazen 1996; Brun 2004; Belmont 2006; Bir ve ark. 2012; Çorapçıoğlu 2015).

Döngüsel hareketli değirmen taşlarında eşit büyüklükte altta ve üstte olmak üzere iki değirmen taşı yer almaktadır (Şekil 3.12). Alt değirmen taşı sabittir ve öğütme işleminin zeminini oluşturur. Üst taş ise değirmen miline bağlı olarak dönmektedir. Böylece öğütme işlemi, iki taş arasında gerçekleşir. Bu tür değirmenlerde genellikle öğütme işlemi yapıldığından un imalatında kullanılır.



Şekil 3. 12. Döngüsel hareketli değirmen taşları (Hazen 1996)

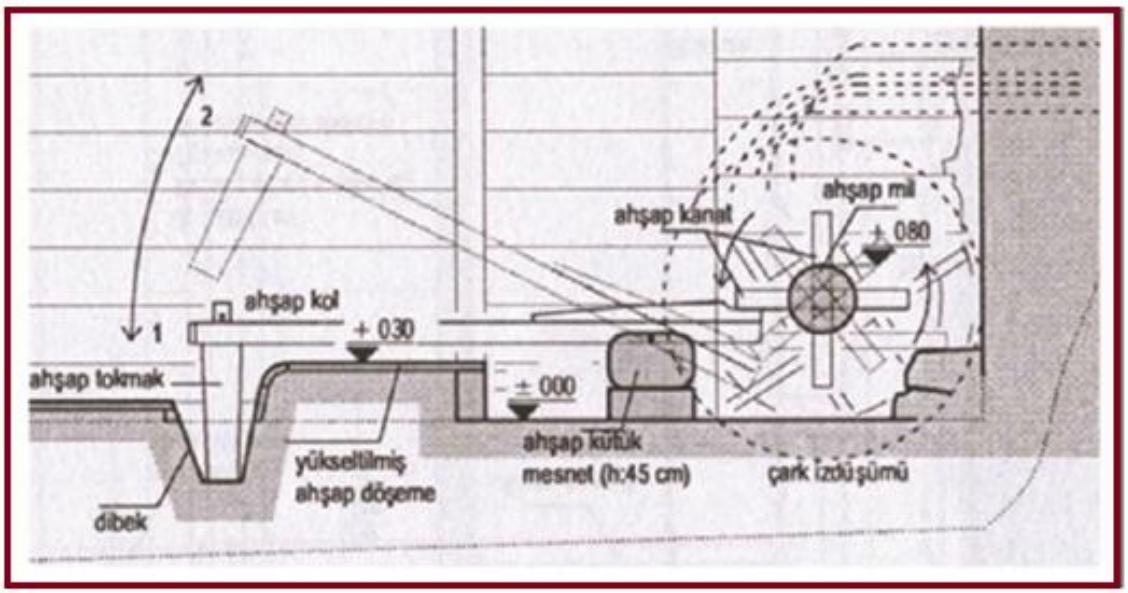
Eksenel hareketli değirmen taşlarında ise taş tek parçalı ve yatay olarak konumlandırılmıştır (Şekil 3.13). Taşlar düşey milin dengesini sağlayabilmek için, milin üst noktalarından birbirine bağlanır. Böylece taşlar kendi ekseni etrafında döner ve ezme işlemini gerçekleştirir. Bu yüzden genellikle zeytin, üzüm gibi ezme işlemlerinde kullanılır.



Şekil 3. 13. Güney Fransa'da yer alan eksenel hareketli değirmen taşı örnekleri (Çorapçıoğlu, 2015)

3.1.2.3. Dövme Çekiçleri (Dink)

Su gücü ile çalışan bu çekiçler endüstriyel üretimde parçalama işi için kullanılmıştır. Fakat Anadolu'da daha çok tahılların kabuklarını ayıklamak için kullanılmış ve dink olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.14). Dink çalışma sisteminde, ilk olarak su, düşey çarka bağlı olan yatay mili harekete geçirir ve dönen milin üzerindeki ahşap kanatlar tokmak kollarına çarpar. Daha sonra tokmaklar aşağı yukarı hareket eder ve tahıllar dövülerek kabuklarından ayrılmış olur (Maşalı 2006).



Şekil 3. 14. Dink örneği (Maşalı 2006)

3.1.2.4. Su Alma Yapıları

Su değirmenlerinin çalışması, suyun ya kinetik ve/veya potansiyel enerjisinin mekanik işe dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır (Bir ve ark. 2012). Potansiyel enerjiden yararlanılan değirmenlerde tıpkı günümüz HES'leri gibi bir düşüye yani kot farkına ihtiyaç vardır. Akarsu eğimleri genellikle çok düşük olduğundan yatak boyunca her noktada yeterli düşü yüksekliği sağlanamamaktadır. Yine akarsuyun kesit ortalama hızının düşük olması değirmen taşını döndürecek düzeyde bir kinetik enerjiye de bazen sahip olamamaktadır. Bu nedenle yeterli potansiyel enerjiyi sağlamak için bir su alma yapısı ile akarsudan alınan su yapay kanallarla belirli bir düşü yüksekliğinin sağlandığı bir noktaya taşınmaktadır. Bazen ihtiyaç olduğu takdirde kanala su vermek için bir çevirme yapısı (derivasyon) yapılmaktadır. Bu kanallar kısa mesafeli olduğu takdirde "yaklaşım kanalı", daha uzun mesafeden su taşınıyorsa "sutaşıma kanalı" olarak adlandırılmaktadır.

Dağlık veya engebeli araziler, kısa mesafede gerekli düşü yüksekliğine olanak sağladığı için su değirmenleri için tercih edilmektedir. Gerek yaklaşım kanallarındaki gerek sutaşıma kanallarındaki akım, bilimsel olarak açık kanal akımı ((cazibeli akım, serbest yüzeyli akım (open canal flow, non pressurized flow, free surface flow)) olarak adlandırılmaktadır. Genellikle hazne yapılmadığı için ana kaynaktan su basınçlı sistemlerle (cebri borularla, pressurized flow, pipe flow) değirmenlere taşınamamaktadır. Yüksek hız ve buna bağlı olarak yüksek yük kaybı (sürekli yük kayıpları) nedeniyle su borularla (basınçlı akımlar şeklinde) uzun mesafelerden taşınması uygun değildir. Bu yüzden açık kanal akımı tercih edilmektedir.

Suyu değirmene ileten ve genelde taştan yapılan (günümüzde beton kaplama olarak da yapılanlar mevcuttur) açık iletim yoluna "kanal veya ark" denir. Değirmeni çalıştıracak su da beton kanallardan akmaktadır. Anadolu'da birçok yerde "oluk" adı verilen bu arklar, suyun araziye dağılmasını önlemek gibi önemli bir işleve sahiptir (Gürses ve Taşkın 2007). Bu kanallardan değirmene gelen su, "savak" adı verilen bir düzenek ile kontrol edilir. Fazla suyun değirmene gitmesini önlemek veya boş araziye bırakmak için bu düzenek kullanılır. Bu düzenekten değirmene yönlendirilen sular belli bir mesafeden sonra cebri borulara alınır. Kanalın değirmenin yer aldığı tarafında suyun değirmene iletilmesini sağlayan genellikle saç borudan veya taştan yapılan "Oban"

denilen bir yapı bulunur. Suyun başında, suyun akışını kontrol etmek için kullanılan "kapak savak" yer alır. Su değirmene yönlendirildiğinde ilk olarak kanaldan geçer ve obana ulaşarak buradan hızla aşağı iner. Obanların çarka yakın olan alt kısmı dar yapılarak suya hız kazandırılarak su jeti oluşturulur. Suyun dışarı çıktığı ve su kanatlarına suyu iletip çarkın dönmesini sağlayan kısma ise "boyra" denir (Bektaşoğlu 2013).

3.1.3. Tarihi Su Değirmenlerinin Enerji Potansiyelleri

Su değirmenlerinin küçük ölçekli hidroelektrik santrali olarak kullanımının artması ülkelerin enerji yasaları veya mevzuatlarında gelişen değişimlere bağlıdır. Örneğin; Letonya'da 1998 yılında kabul edilen Enerji Kanunu Yasası ile 1999 yılında 55 olan küçük ölçekli hidroelektrik santrali sayısı 2002 yılında 149'a yükselmiştir (Lazdane 2011).

Tarihsel süreçte ülkemizde de enerji üretimi için birçok adım atılmıştır ve bunlara önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde değinilmişti. Ülkemizde bu bağlamda küçük ölçekli hidroelektrik santral olarak su değirmeninden enerji üretimi Tarsus'ta 1902 yılında yapılmış ve 2 kW'lık enerji üretimi gerçekleşmiştir. Ülkemizde bu bağlamda bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada, su değirmenleri için akış hızı ile üretilen enerji miktarı arasındaki oran karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, akış hızı 1,5 m/s olan bir nehirden elde edilen gücün yaklaşık 1/20 beygir ya da 1/2 insan gücüne eşdeğer olduğu ifade edilmektedir. Burada bir beygir gücü 1 PS=736 W=10 insan gücü'ne eşit olarak alınmıştır. Buna göre, eğer akım hızı iki kata çıkarılırsa gücün 8 kat artarak 0.4 beygir gücü, ya da 4 insan gücüne eşdeğer olacağı iddia edilmektedir (Bir ve Kayral 1998).

Su değirmenlerinin enerji kaynağı olarak kullanılmasının farklı ülkelerde, farklı bölgelerde, farklı örnekleri mevcuttur. Örneğin; Hindistan'da yapılan bir çalışmada su değirmenlerini enerji üretme potansiyelinin yanı sıra yapılabilecek iyileştirmeler veya dönüşümler ile bu enerjinin arttırılabileceği belirtilmiştir. Yatay ve düşey çarklı değirmenlerin enerjisi hesaplanarak karşılaştırma yapıldığında, her iki su değirmenin de yaklaşık % 60'lık bir mekanik verimle günde 12 saat kullanıldığı varsayılarak, dikey ve yatay su değirmenlerinin sırasıyla elektrik enerjisi bakımından 3.68 kW ve 7.36 kW'a

eşdeğer enerji tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır. Böylelikle dikey ve yatay su değirmenleri aylık olarak sırası ile 1.3 MW ve 2.6 MW enerji tasarrufu sağlayacağı belirtilmiştir (Singh ve ark. 2001).

Tez çalışması açısından en önemli gelişmelerden biri ise, ülkemizde enerji ve yenilenebilir enerji hakkındaki mevzuatın AB müktesebatına bağlı olarak 2005 yılında değişmesi ve bu değişimin çok küçük su kaynaklarının da kullanılmasına fırsat tanımasıdır. Bu değişim ile birlikte kırsal kesimlerde kendi enerjisini üretme potansiyeli artmış ve buna da bazı akademik çalışmalarda değinilmiştir.

Doğu Karadeniz Bölge'sinde yer alan Kalkandere için yapılan bir çalışmada 22 adet su değirmeninin günlük 4101.366 kW enerji üretebileceği belirtilmiştir (Süme ve Koçyiğit 2012). Trabzon Maçka'da yer alan 6.5-8.2 m aralığındaki düşü yüksekliğine sahip su değirmenlerinde Kaplan-Banki türbin kullanılarak yaklaşık olarak 150.020 kWh enerji üretebilir. Ayrıca bu değirmenlerin su kanal yapıları iyileştirilebilirse üretilecek bu enerji miktarı potansiyel olarak 455.945 kWh'e çıkarılabilir (Süme 2018).

İspanya'da yenilenebilir hidrolik enerji kullanımına dair yapılan bir çalışmada, tespit edilen 28 su değirmeninden 12 adetinin iyi durumda olduğu ve yakın zamanda restore edilip kullanıldığı belirtilmektedir. Kullanılan bu değirmenlerde yapılan örnek çalışma ile 3.6 ile 22 kW aralığında enerji üretilebildiği tespit edilmiştir (Jiménez ve González 2018).

Rize'nin bazı bölgelerinde yapılan çalışmalarda da su değirmenlerinden enerji üretilebileceği göz önüne serilmiştir. Salarha Deresinde yer alan düşük debili 19 su değirmeni için yapılan bir çalışmada toplam 66.867 kWh enerji üretilebileceği hesaplanmıştır (Süme, 2014). Derepazarı bölgesinde koordinatları tespit edilen 5 adet su değirmeni için yapılan bir çalışmada ise üretebilecekleri enerji potansiyeli 40.256 kWh olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada ek olarak su değirmenlerinde, kanal yapılarında yapılacak iyileştirmeler ile üretilebilecek bu enerji miktarının 112.30 kWh çıkabileceği belirtilmiştir (Süme, 2019).

Zonguldak ilinde yer alan 10 adet su değirmeninin teknik potansiyelleri hesaplandığında 7.5 kW ile 8.7 kW arasında değişen potansiyeller tespit edilmiş ve bu

değirmenler mikro hidroelektrik santraller sınıfında yer almıştır. Bu 10 değirmen için toplamda ise 78.238 kW'lık bir enerji üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu enerji miktarının maddi açıdan getirebileceği kazanç ise 8.7 kW için 10115 TL'dir (Dündar ve ark. 2019).

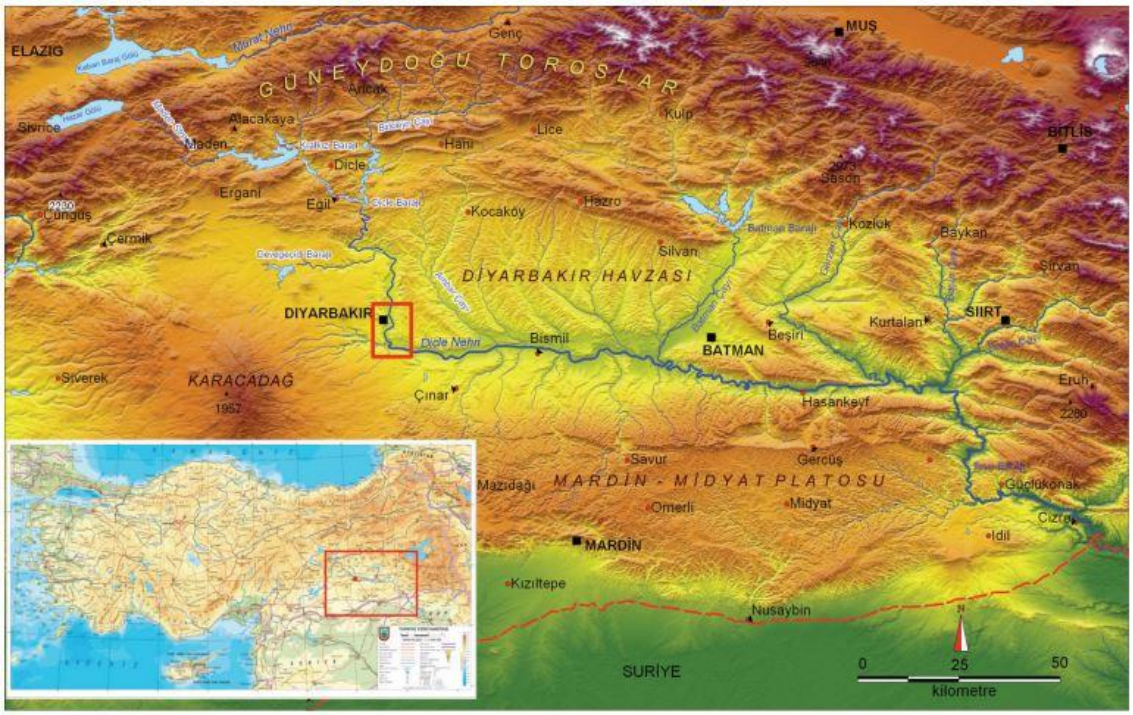
İtalya'da yapılan bir çalışmada, üstten çevirmeli su çarkına sahip bir su değirmeninin yenilenip tekrar kullanıma açılması ile % 88 verim sağlandığı ve bunun yaklaşık olarak 8550 W'lık enerji ürettiği belirtilmektedir (Franco ve ark. 2019).

3.2. Çalışma Alanı

3.2.1. Genel Özellikleri ve Tarihi

Diyarbakır ili, Güneydoğu Anadolu bölgesinin orta kısmında Mezopotamya'nın güneyinde, 37°30′ ve 38° 43′ kuzey enlemleriyle, 40° 37′ ve 41° 20′ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüz ölçümü 15355 km^2'dir ve il merkezinin ortalama rakımı (denizden yüksekliği) 670 m'dir.

Diyarbakır ili, Güneybatı'dan Karacadağ, Kuzey ve Kuzeybatı'dan Güneydoğu Toroslar ve Güney'den de Mardin Eşiği ile yay şeklinde çevirili yüzey şekilleri sade bir havza durumundadır. İl genellikle doğal göl ve ormanlıklardan yoksundur. Yegâne su kaynağı Dicle Nehri ve kollarıdır. Diyarbakır kent merkezi, yaklaşık olarak ilin ortasında ve Dicle Nehri'nin kıyısında yer almaktadır. Ayrıca, Doğudan Batman, Muş; Güneyden Mardin; Batıdan Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya; Kuzeyden Elazığ ve Bingöl illeriyle çevrilmiştir (URL-5).



Şekil 3. 15. Çalışma alanın yer bulduru haritası (Karadoğan ve Kuzucuoğlu 2017)

Diyarbakır ili, doğu ve batıyı birleştiren bir tepe üzerinde ve uzak şehirleri liman şehirlerine bağlayan ana yollar üzerinde yer almakta olup, verimli topraklara sahip olması nedeni ile pek çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır.

Diyarbakır ilinin tam olarak ne zaman kurulduğuna dair net bir bilgi mevcut olmamakla birlikte, şehrin ilk olarak Fiskaya olarak adlandırılan kayalığın üzerine kurulduğu düşünülmektedir. İç kale olarak adlandırılan bölgede Amida Höyükte yapılan çalışmalarda M.Ö. 3000'lerde bölgede yaşayan Hurri'lere (Subartu) dair izlere rastlanmıştır.

M.Ö. 2000'lerde Mitaniler, M.Ö. 13. yüzyıl ile M.Ö. 7. yüzyıl arasında Asurlar, M.Ö.6. yüzyılın başında Medler, M.Ö. 550 yılında ise Persler bölgede egemen olmuştur. M.Ö. 69 yılında Roma, M.S. 226 yılında Sasani, 639 yılında Emevi, 750 yılında Abbasi, 869 yılında Şeyhoğulları, 930 yılında Hamdaniler, 980 yılında Büveyhoğulları, 984 yılında Mervaniler, 1085 yılında Selçuklu, 1097 yılında İnanoğulları, 1142 yılında Nisanoğulları, 1183 yılında Artukoğulları, 1232 yılında Eyyübiler, 1240 yılında Anadolu Selçukluları, 1302 yılında Mardin Artukluları, 1394 yılında Timur ve 1401 yılında Akkoyunlular gibi imparatorluk, devlet ve beylikler

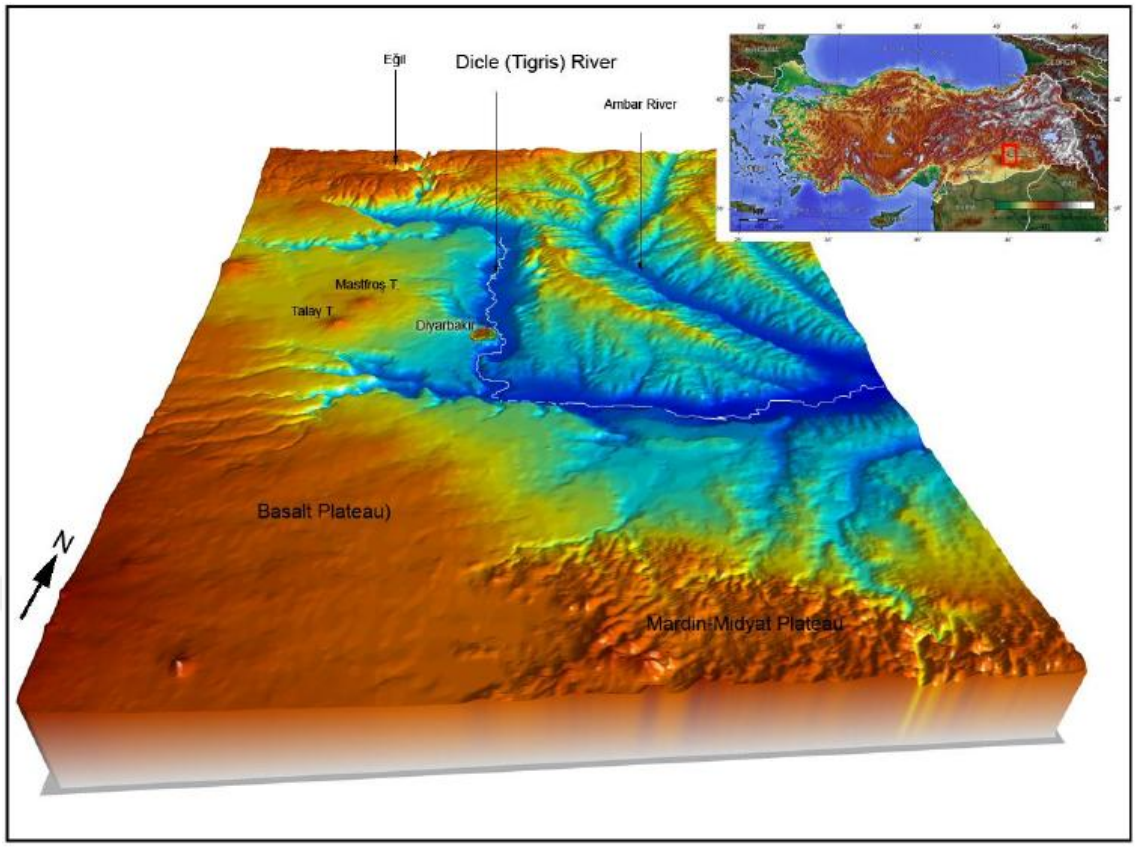
Diyarbakır'a egemen olmuştur. Son olarak 1515 yılında Osmanlı hakimiyetine girmiştir (URL-5).

Günümüze kadar geçen sürede Diyarbakır birçok egemenliğe ev sahipliği yaptığı için farklı isimler ile anılmıştır. Şehrin adı ilk olarak M.Ö. 1316 ile M.Ö. 1281 yılları arasında bölgede egemen olan Asur hükümdarı Adad Nirari'ye ait bir kılıç kabzasında "Amidi" veya "Amedi" olarak geçmektedir. Roma kaynaklarında ise şehrin adı "Amid" ve "Amida" diye geçmektedir. Bölgenin yerli halklarından olarak kabul edilen Süryaniler ise şehri "Amid", "Omid", "Emit" ve "Amida" gibi isimler ile anmaktadır. İslami dönemde şehir için kullanılan "Kara Amid", "'Kara Hamid", "Diyar-ı Bekir" isimleri Cumhuriyet dönemi ile birlikte "Diyarbekir" ve son olarak da "Diyarbakır" şeklinde değiştirilmiştir (URL-5).

3.2.2. İklim ve Su Kaynakları

Diyarbakır'da sert bir kara ve subtropik yayla iklimi hakim olduğundan dolayı yağışlar azdır ve bu nedenle yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk geçmektedir. İl için 1970-2015 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde yıllık sıcaklık ortalaması 15.7 ºC olduğu anlaşılmaktadır.

Topografik yapıya bağlı olarak ülkemizde 25 hidrolojik ana su havzası bulunmaktadır. DSİ raporunda havzaların toplam yıllık akışları 186 milyar m^3 olarak belirtilmiştir. Akış miktarları havza bazında incelendiğinde Fırat ve Dicle Havzası 52.94 milyar m^3 ile birinci, Doğu Karadeniz Havzası 14.90 milyar m^3 ile ikinci, Doğu ve Orta Akdeniz (Antalya) Havzaları ise 11.07 ve 11.06 milyar m^3 ile sırasıyla üçüncü ve dördüncü sırada gelmektedir (DSİ 2018). Çalışma alanının içinde yer aldığı havza ise Dicle Havzası'dır. Türkiye'nin en güneyinde bulunan Kenar Kıvrımları Kuşağı ile Toroslar arasında yer alan bu havza (Yukarı Dicle Havzası), iklim ve yer şekilleri bakımından geçiş zonunda yer almaktadır (Karadoğan ve Kozbe 2013) (Şekil 3.16).



Şekil 3. 16. Yukarı Dicle Havzası ve çevresinin sayısal arazi modeli (Karadoğan 2018)

Diyarbakır ilinin önemli akarsuyu olan Dicle Nehri, Toroslar üzerinde iki kaynaktan doğmaktadır. Bunlardan ilki Elazığ güneydoğusunda yer alan Hazar (Gölcük) Gölü, diğeri ise Asur kabartma ve yazıtların da adı geçen Birklinçay (Bykalen) Mağarasıdır. Bu kaynaktan çıkan su Eğil'de birleşerek Dicle adını almaktadır. Devegeçidi Suyu ile birleştikten sonra geniş bir yatakta güneyden doğuya doğru akmakta olup, Diyarbakır'ı geçtikten hemen sonra doksan derecelik bir dönüş yaparak doğuya yönelmektedir. Ambar, Kuruçay, Salat Çayı, Göksu, Aşağı Hanik Çayı ve Savur Çayı gibi çaylardan beslenerek güneydoğuya doğru devam etmektedir (Köroğlu 1998). Bunlara ek olarak Batman Çayı Dicle'nin önemli bir koludur ve 100 km uzunluğa sahiptir.

Çizelge 3.7 incelendiğinde, Diyarbakır ilinde doğal göl bulunmadığı fakat Gözegöl, Kabaklı, Halilan, Ortaviran, Künreş ve Beşpınar olarak adlandırılan sulama ve içme suyu amaçlı kullanılan 6 adet yapay gölet mevcut olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. 1. Diyarbakır ilinin akarsuları (Diyarbakır ÇED raporu 2016)

Akarsu Adı	Toplam Uzunluğu (km)	İl Sınırı İçindeki Uzunluğu (km)	Yıllık Ortalama Debisi (m^3/sn)	Kolu Olduğu Akarsu	Kullanım Amacı
Ambar	95	95	4.7	Dicle	Sulama
Dicle	530	265	71.2	Dicle	Sulama+Enerji
Göksu	57	57	2.2	Dicle	Sulama
Kulp	70	70	71.0	Batman	Sulama+Enerji
Kuruçay	45	45	1.1	Dicle	Sulama
Pamukçay	65	65	2.6	Dicle	Sulama
Salat	65	65	5.0	Dicle	Sulama
Sarım	69	52	35.0	Batman	Sulama
Sinek	62	54	5.4	Fırat	Sulama+Enerji

3.2.3. Su Yapıları

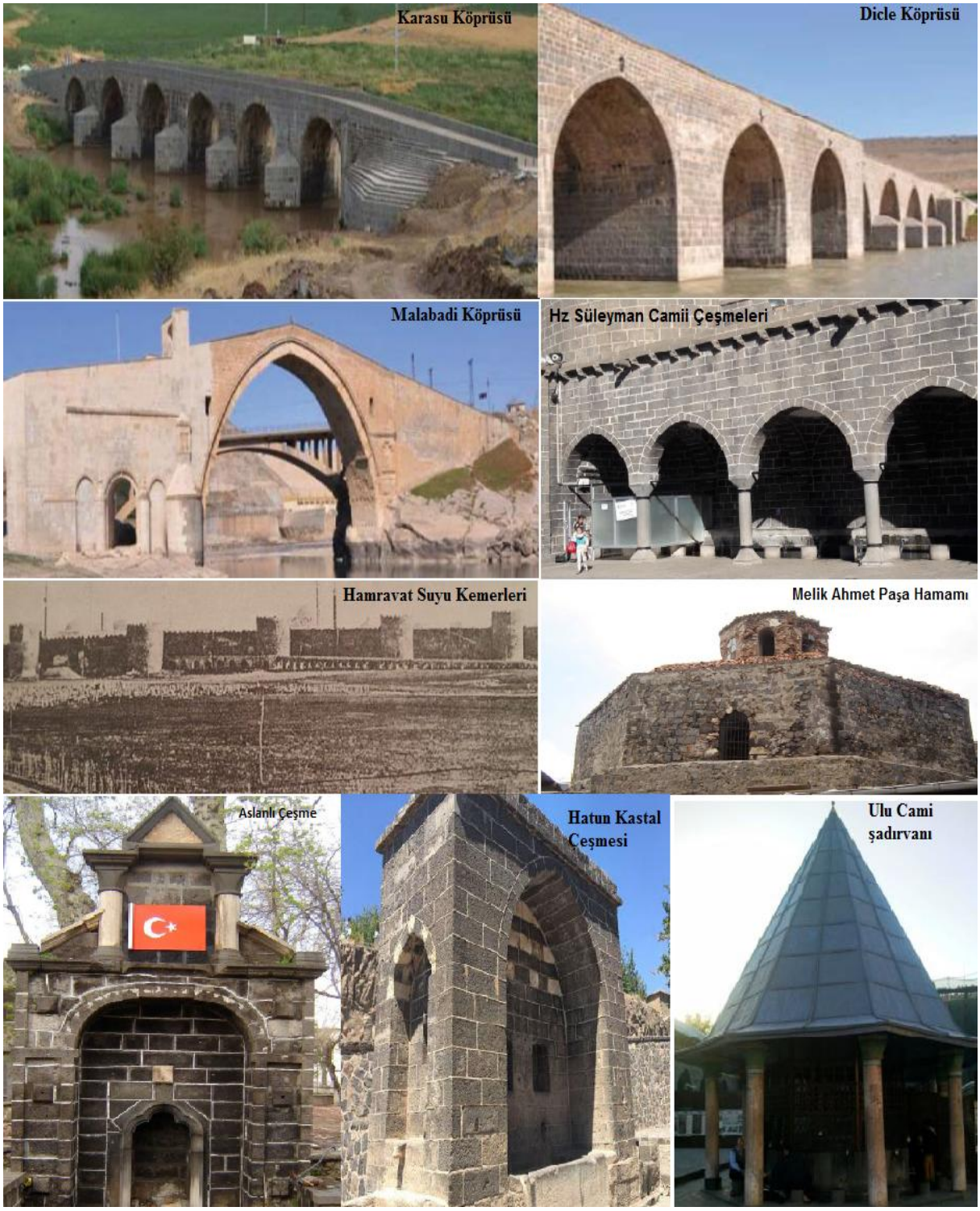
Diyarbakır, Dicle nehri başta olmak üzere su kaynakları açısından önemli bir bölgedir. Bundan dolayı tarih boyunca Romalılar, Sasaniler, Bizanslılar, Emeviler, Abbasiler, Mervaniler, Artuklular, Selçuklular, Eyyubiler ve Akkoyunlular gibi birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Bu topluluklar yaşadıkları dönemlerde ulaşım, barınma, korunma gibi nedenlerden dolayı birçok mimari eser yapmışlardır.

Eski Diyarbakır tarihinde, özelikle suyu kaynağından yerleşim yerlerine taşımak için birçok su kanalı inşa edilmiştir. Bunlardan bazıları Akkoyunlu'lar döneminde inşa edilen küçük kanallar şeklinde iken Osmanlı zamanında şehrin 14 km uzağında Hamravat Suyu olarak bilinen suyu iletmek için "Hamravat Suyu Kemerleri" inşa edilmiştir (Beysanoğlu 1961 ve 1997).

Sözen (1971), Diyarbakır ilindeki Türk Mimarisine değinerek, ilde o yıllarda mevcut veya yıkılmış durumda olan önemli su yapılarından köprüler, hamamlar, çeşme gibi yapılar hakkında bilgilere de yer vermiştir. İlk yerleşim yeri olarak seçilen Suriçi bölgesinde Tuncer (1999)'un yaptığı çalışmada belirttiğine göre su değirmenleri ve bunları döndüren su kaynakları yer almaktadır (Tuncer 1999).

Diyarbakır ilinin merkez sınırları içinde köprü, hamam, çeşme gibi toplamda 42 adet su yapısı bulunmaktadır. Bu 42 yapının 33 adeti çeşme, 6 adeti hamam ve sadece 3 adeti köprüdür (Yeşilbaş 2007). Buna ek olarak; Toprak ve ark. (2018), Diyarbakır'ın günümüz il sınırları içinde 42 tane tarihi köprüyü, koordinatları, harabeleri veya ayak

temelleri ile belgelemiştir. Ayrıca Halifeoğlu ve ark. (2011) ile Kavak ve ark. (2016) ve Karadoğan ve ark. (2015) Diyarbakır il sınırları içindeki köprülere değinmektedir ve verilen rakamlar Toprak ve ark. (2018) ile uyuşmaktadır. Bunun dışında Karakaya ve ark. (2017) sadece Diyarbakır kent merkezinde 430 tane tarihi çeşme tespit etmiştir.



Şekil 3. 17. Diyarbakır ilinde yer alan bazı tarihi su yapıları (Beysanoğlu 1997; Yeşilbaş 2007; Halifeoğlu ve ark. 2011; Karakaya ve ark. 2017; Koç ve Kejanlı 2018)

3.2.4. Enerji Durumu

Diyarbakır ilinde yenilenemez enerji kaynaklarından kömür üretimine dair herhangi bir işletme bulunmamaktadır. Fakat Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM) tarafından 6. Bölge olarak adlandırılan Diyarbakır'da 2008 verilerine göre 33 milyon m^3 doğalgaz üretimi gerçekleşmiştir. Ayrıca bölgede yine 2008 verilerine göre 5070368 varil petrol üretimi gerçekleşmiştir (URL-3).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı bölgelerin kalkınması ve rekabetçiliği açısından önemli bir yere sahiptir. Diyarbakır ili kalkınma ajansları tarafından TRC-2 olarak adlandırılan, Türkiye de en az gelişmiş ikinci bölge olarak bilinen ve sosyo ekonomik indeksi düşük olan bir bölgede yer almaktadır (URL-6). Fakat hali hazırda yenilenebilir enerji kaynaklarındaki çeşitlilik ve zengin kaynak potansiyeli ile dünyada sayılı bölgelerden biridir. Çünkü bölgede hidroelektrik enerjisi, güneş enerjisi, tarımsal atıklardan enerji üretme potansiyeli yüksektir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yayınlanan verilere göre güneşlenme süresi baz alındığında Diyarbakır ili güneş enerjisi açısından zengin bir bölgedir. Fakat Çermik ilçesi dışında rüzgâr enerjisi potansiyelinin fazla olmadığı bilinmektedir (URL-3).

Jeotermal enerji bakımından Türkiye Dünya'da 7. sırada yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu bölgesinde bu potansiyel 81 MW olup, Diyarbakır ili Çermik ilçesinde açılan bir kuyudan elde edilen bilgiye göre Diyarbakır'daki jeotermal potansiyel ise 34.87 MW olarak belirtilmektedir (URL-3).

Bölgesel olarak inceleme yapıldığında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hidrolik enerji bakımından oldukça zengin bir alandır. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında belirlenen hidroelektrik enerji üretim potansiyeli 37.6 Milyar kWh olup, Türkiye'nin 180 Milyar kWh olan toplam teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji üretim potansiyelinin % 20'sini teşkil etmektedir. 2017 yılında GAP bölgesinde üretilen 22000 GWh'lık hidroelektrik enerjisi, Türkiye'nin 55 Milyar kWh olan bugünkü toplam hidroelektrik enerji üretiminin % 40'ını, Türkiye'nin günümüzdeki toplam elektrik enerji üretiminin (280000 GWh) % 9'nunu karşılamaktadır. DSİ (2018)'de gelecekte

GAP bölgesindeki HES gelişiminin, Türkiye'nin toplam HES gelişimine etkisi önemli olacağı ve GAP bölgesindeki HES gelişimi bölgenin kendi içindeki % 70'e ulaşmış olduğu belirtilmiştir (DSİ 2018).

GAP'ın bir parçası olarak faaliyete geçirilen Karakaya Barajı, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırları içinde, Fırat Nehri üzerinde yer almaktadır. Beton kemer tipinde, temelden yüksekliği 173 m olan barajın kurulu gücü 1800 MW olup yıllık ortalama üretimi 7 milyar 354 milyon kWh' tır. Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından işletilen santral 1800 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin 2. Diyarbakır'ın ise 1. büyük enerji santralidir. Tesis ayrıca Hidroelektrik Santrali olarak Türkiye'de 2. Sırada yeralmaktadır. Her biri 300 MW gücünde 6 adet tribün bulunduran baraj, yaklaşık 2 milyon konutun elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde elektrik üretimi yapmaktadır (Yılmaz ve Öziç 2018; Diyarbakır ÇED Raporu 2016).

Diyarbakır ilinde yer alan bir diğer baraj ise Dicle Barajı'dır. Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde temelden yüksekliği 87 m olan barajın kurulu gücü 110 MW olup yıllık ortalama enerji üretimi 298 milyon kWh'tır. Karakaya Barajı gibi EÜAŞ tarafından işletilen bu santral 110 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin 110. Diyarbakır'ın ise 2. büyük enerji santralidir. Tesis ayrıca Türkiye'nin 38. büyük Hidroelektrik Santrali'dir (Diyarbakır ÇED Raporu 2016).

Bir diğer baraj olan Kralkızı Barajı, Dicle barajı gibi kil çekirdekli kaya dolgu tipinde inşa edilmiştir. Temelden yüksekliği 126 m olan barajın kurulu gücü 95 MW olup yıllık ortalama enerji üretimi 146 milyon kWh' dir. EÜAŞ tarafından işletilen santral 95 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin 119. Diyarbakır'ın ise 3. büyük enerji santralidir. Tesis ayrıca Türkiye'nin 46. büyük Hidroelektrik Santrali'dir (Diyarbakır ÇED Raporu, 2016). Ilısu Barajı ve Hidroelektrik santralinin de kurulu gücü 1200 MW olup üreteceği toplam enerji 4.12 milyar KWh'tır. Ilısu Barajı ile üretilecek olan elektrik enerjisi, Türkiye'de hidroelektrik santralleri vasıtasıyla üretilecek olan enerjinin %10'unu oluşturacaktır. Tesis işletmeye alındığında; gövde hacmi açısından Türkiye'nin 2. kurulu güç bakımından da 4. büyük barajı olacaktır.

Çizelge 3. 2. Diyarbakır HES'leri (Diyarbakır ÇED Raporu 2016)

Havzası	HES Adı	Lisans Sahibi	İli	İlçesi	İşletme Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh/yıl)
Fırat	Karakaya Barajı ve HES	EÜAŞ	Diyarbakır	Çüngüş	1987	1800	7354
Dicle	Dicle Barajı ve HES	EÜAŞ	Diyarbakır	Merkez	2000	110	298
Dicle	Kralkızı Barajı ve HES	EÜAŞ	Diyarbakır	Dicle	1997	95	146
Dicle	Ilısu Barajı ve HES	EÜAŞ	Mardin	Dargeçit	2020	1200	4120

3.3. Debi Hesap Yöntemleri

Su kaynaklarının planlanmasında ve elde edilecek enerji tahmini için ana iki parametreden biri debi diğeri ise su düşü yüksekliğidir. Su kaynağını en faydalı şekilde kullanabilmek için su miktarının ve akım özelliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Açık kanal akımlarında debi ölçümü için literatürde "Hız alan yöntemi", "Anahtar eğrisi yöntemi", "Manning denklemi", "Su yüzü hızı ile debi hesabı", "Entropi yöntemi ile debi hesabı" gibi farklı birçok yöntem mevcuttur (Ardıçlıoğlu ve ark., 2013).

3.3.1. Hız Alan Yöntemi

Açık kanal akımlarında hız ölçümü yapılarak debi belirlenir. Bunun için ilk olarak en kesit dilimlere bölünerek her dilime ait ortalama hız ve alan belirlenerek debi hesaplanır. Bundan dolayı bu yöntem ile akarsuların debisi belirlenirken dilim sayılarının belirlenmesine önem gösterilmelidir. Dilimler belirlendikten sonra, her bir dilimden geçen debi toplanarak kesitteki akımın debisi hassas bir şekilde belirlenmiş olur (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

Her dilime ait ortalama hız belirlenirken noktasal hız ölçümleri yapılır. Eğer düşeyde çok sayıda hız ölçümü yapılacaksa bu düşeye ait ortalama hız aşağıdaki eşitlikten (Eşitlik 3.8) hesaplanabilir.

$$V_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(V_J + V_{J+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (3.8)$$

Burada; V_i dilime ait ortalama hız, V_{J+1} ve V_J düşeydeki ardışık hızlar, h_j iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_j ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

$$A_i = b_i . H_i \quad (3.9)$$

Burada; A_i dilime ait alanı, b_i ise dilim genişliğini simgelemektedir.

Hız (Eşitlik 3.8) ve alan (Eşitlik 3.9) elde edildikten sonra, elde edilen dilim alanı ile hız çarpılarak (Eşitlik 3.10) her dilime ait debi (q_i) ayrı ayrı belirlenebilir.

$$q_i = V_i . A_i \quad (3.10)$$

Daha sonra kesitten geçen toplam debi aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 3.11) kullanılarak hesaplanır (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i = \sum_{i=1}^{n} V_i . A_i \quad (3.11)$$

3.3.2. Anahtar Eğrisi Yöntemi

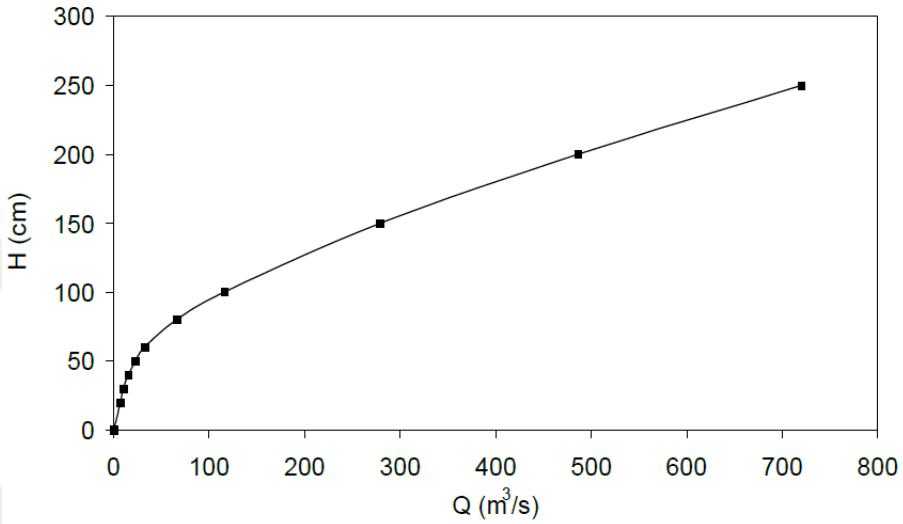
Farklı akım koşullarında su seviyesi ve debi ölçümü yapılarak, debi-derinlik değerleri ile anahtar eğrisi olarak adlandırılan bir eğri çizilir. Yüksek su seviyelerinde ve yüksek debi durumlarında ölçüm güç olduğundan anahtar eğrisini yüksek debilere doğru uzatarak ekstrapolasyon yapmak gerekir. Fakat bu her zaman iyi sonuç vermez (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

Şekil 3.18' de verildiği gibi bir anahtar eğrisi çizilirken, H (su seviyesi) düşey, Q (debi) ise yatay eksende alınır. Q-H ilişkisi çoğu defa eğriseldir. Ancak yarı logaritmik eksen takımında bu ilişki doğruya yaklaşır (Bayazıt, 1974).

Anahtar eğrisi için Q ile H arasında eşitlik 3.12 ifadesindeki gibi bir bağıntı kullanılmaktadır (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

$$Q = a.H^{b} \tag{3.12}$$

Bu bağıntıdaki a ve b sabit değerleri o istasyonda ölçülmüş değerlerden elde edilir.



Şekil 3. 18. Anahtar eğrisi (Bayazıt, 1974)

3.3.3. Manning Eşitliği

Çevresel faktörler ve doğa şartları gibi nedenlerden dolayı ölçüm alınamayacak akarsularda uygulanmak üzere 1889 yılında İrlandalı Robert Manning adlı bir mühendis tarafından geliştirilmiş ampirik bir eşitliktir. Manning eşitliği çoğu zaman gerçeğe yakın sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Bulu ve Yılmaz 2002). Fakat doğal akarsular kanal kesitinin düzensiz olması ve taban pürüzsüzlüğünün sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı bu denklemin kullanılması hassas sonuçların elde edilmesini engeller (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{3.13}$$

Burada V; akım enkesit ortalama hızı, n; manning pürüzlülük katsayısı, R; hidrolik yarıçapı, S; enerji çizgisinin eğimidir. Eşitlik 3.13'te yer alan hidrolik yarıçapı beelirleyebilmek için ıslak alan (A) ıslak çevreye (Ç) bölünür (Eşitlik 3.14) (Bayazıt, 1974).

$$R = \frac{A}{Ç} \tag{3.14}$$

3.3.4. Su Yüzü Hızı

Akarsularda kesitlere ait ortalama hızı belirlemek için su yüzü hızı ve ortalama hız arasındaki ilişki kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta su yüzü hızının doğru ve hassas şekilde ölçülmesidir. Bu yöntemde belirli bir mesafede akan suyun üzerinde yüzdürülen bir cismin hızının tespit edilmesi ile akan suyun hızı yaklaşık olarak belirlenmiş olur. Ölçümlerin hassas olabilmesi için yüzücü olarak kullanılacak cismin iki nokta arasındaki mesafeyi alması için geçen süre birden fazla defa ölçülmelidir. Böylece ortalama bir zaman elde edilmiş olur. İki nokta arasındaki mesafenin bu zamana oranı ile akımın ortalama su yüzü hızı (V_{sy}) belirlenmiş olur. Ortalama su yüzü hızının 0,8-0,9 katı ise eşitlik (3.15)'teki ortalama akım hızını (V) verir (Water Measurement Manual 2001).

$$V = (0.8 - 0.9)V_{sy} \tag{3.15}$$

3.3.5. Entropi Yöntemi

1989 yılında Chiu geliştirilen bu yöntem hız dağılımları ile debi belirleyebilmek için geliştirilmiş istatistiksel bir yöntemdir. Entropi yöntemi açık kanal akımlarında bir kesitteki ortalama hız (V) ve en büyük hız (V_{mak}) oranının sabit olması ilkesine dayanır. Bu sabit oran M (entropi parametresi) ile gösterilir (Eşitlik 3.16).

$$\text{Ñ} = \frac{V}{V_{mak}} = \frac{e^M}{e^M - 1} = \frac{1}{M} \tag{3.16}$$

Kesite ait bilinen *M* parametresi ile maksimum hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız ve debi kolaylıkla belirlenebilmektedir (Ardıçlıoğlu ve ark. 2011).

3.4. Hidroelektrik Enerji Hesaplama Yöntemleri

Brüt hidroelektrik potansiyeli, tüm bölgelerdeki tüm doğal yüzey akışlarının herhangi bir enerji kaybı olmaksızın deniz seviyesine (veya bir ülkenin sınır ötesi hattına) kadar kullanılması durumunda potansiyel olarak mevcut olan yıllık enerji olarak tanımlanmaktadır (Eurelectric 1997). Pratik uygulamalarda, bir havzanın hidroelektrik güç potansiyeli "Tek Nokta (Single Point, SP), Çift Nokta (Double Point, DP), ve Alt Drenaj (Sub Drainage, SD)" yöntemleri ile belirlenebilir. Ayrıca bu yöntemlere ek olarak "Enerji Ağacı (Energy Tree, ET)" yöntemi de Alashan ve ark. (2016) tarafından kullanılmıştır.

3.4.1. Tek Nokta (Single Point, SP) Yöntemi

Yaygın olarak kullanılan bu yöntemde güç (P) aşağıdaki eşitlikle (3.17) belirlenir. Bu eşitlikte Q, m^3/sn cinsinden su miktarını (debi), H, m cinsinden su düşü yüksekliğini, ŋ, hidrolik verimi, g, 9,81 m/s^2 değeri ile yerçekimi ivmesini ve ρ, kg/ m3 cinsinden suyun birim hacminin kütlesini simgelemektedir. Bu eşitlik sonucunda P kW olarak elde edilir.

$$P = \eta.\rho.Q.H.g \tag{3.17}$$

3.4.2. Çift Nokta (Double Point, DP) Yöntemi

Bu yöntemde Tek Nokta yönteminin aksine havzasının kot farkları dikkate alınarak güç belirlenir.

$$P = \gamma(h_i - h_0)\frac{Q_i - Q_0}{2} \tag{3.18}$$

Burada h_i, havzanın merkezindeki yüksekliği, h_0, havzanın çıkış noktasındaki yüksekliğini, Q_i, havzanın merkezindeki debiyi ve Q_0 havzanın çıkış noktasındaki debiyi simgelemektedir.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. İki nokta arasında doğrusal bir yükseklik değişikliği olduğu ve iki debinin aritmetik ortalamasının her noktada sabit olduğu varsayılır. Oysa iki nokta arasında doğrusal olmayan topoğrafik yükseklik farkları olduğu gibi debi çıkış noktasında maksimum değerine ulaşabilir. Bu yöntem yükseklik farklarını dikkate aldığı halde noktalar arasındaki mesafeyi dikkate almaz (Alashan ve ark. 2016).

3.4.3. Alt Drenaj (Sub Drainage, SD) Yöntemi

Bir havza veya havzanın herhangi bir bölümü için, su giriş ve çıkış noktalarının kotları (h_i ve h_o), giriş ve çıkış debileri (Q_i ve Q_o) ve havzanın ortalama yüksekliği (h_a) dikkate alınırsa, brüt hidroelektrik güç Eşitlik 3.19 ile belirlenebilir.

$$P = \gamma(h_a - h_0)(Q_0 - Q_i) + \gamma(h_i - h_0)Q_i \tag{3.19}$$

Eşitlikte yer alan havzanın ortalama yüksekliği (h_a) havzanın kesitlerine ait yükseklik (h_i) ve bu kesitlere ait alan (A_i) kullanılarak belirlenir.

$$h_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \tag{3.20}$$

3.4.4. Enerji Ağacı (Energy Tree, ET) Yöntemi

Enerji Ağacı'nın temel eşitliği, debi ve yükseklik farkları gibi iki önemli parametreyi içerir. Bu yöntem tüm havzayı debi ve yükseklik açısından gözler önüne serdiğinden ve iki akım gözlem istasyonu arasındaki debi artışından sağlanan enerji miktarını da hesaba kattığından önceki enerji potansiyeli belirleme çalışmalarından farklı olarak daha hassas ve güvenilir bir şekilde enerji potansiyeli hesaplamasına imkân tanımaktadır (Alashan 2016).

$$P = \gamma \sum_{i=2}^{N} Q_i (H_i - H_{i-1}) \tag{3.21}$$

Burada, Q_i, yükseklik ile birlikte i'inci konumdaki ortalama debi, h_i, aşağı akış konumundaki yükseklik ve h_{i-1}, önceki akış yükseklik noktasıdır (Alashan 2016). Eşitlik 3.21'in dönüştürülebilir bir entegrasyon formu Eşitlik 3.22'de verilmiştir.

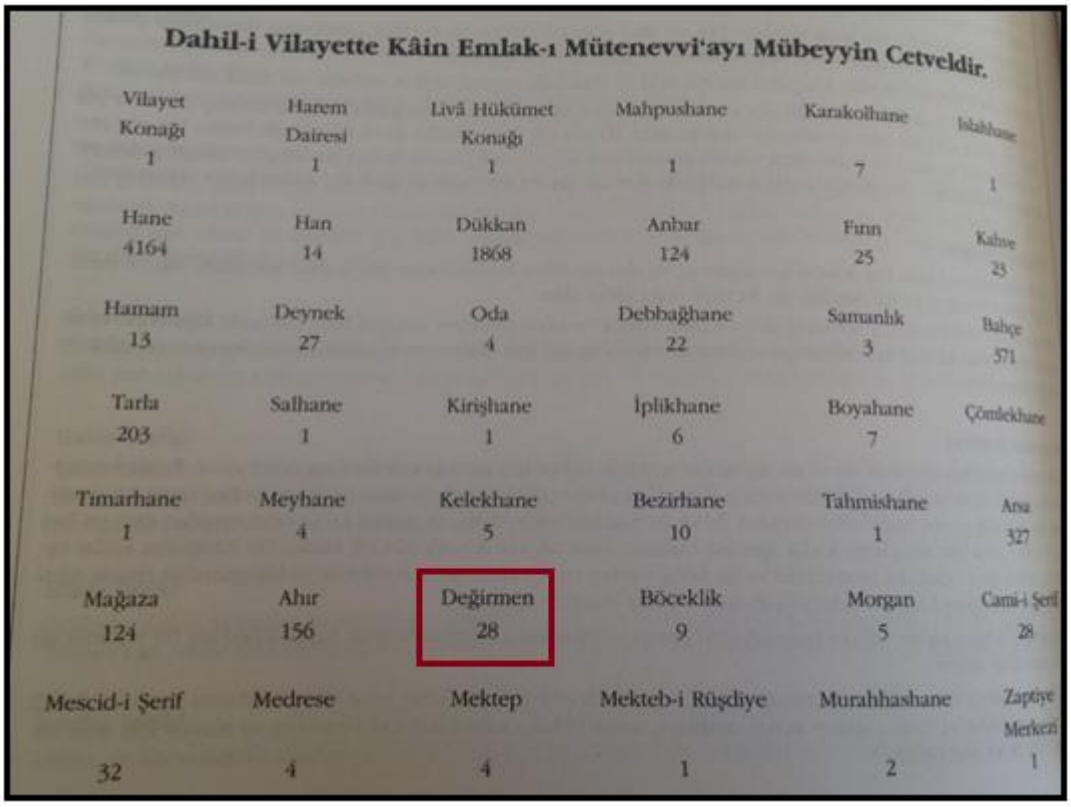
$$P = \gamma \int_{H_d}^{H_a} Q(h)dh \tag{3.22}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tezle ilgili çalışmalar büro ve arazi çalışmaları olarak iki bölüme ayrılmıştır. Arazi çalışmalarına geçmeden önce ilk aşama olarak; tarihi kaynaklardan yararlanılarak değirmenlerin sayıları ve konumları belirlenmeye çalışılmış ve buna göre saha incelemeleri yapılmıştır. Diyarbakır ilinde yeralan tarihi su değirmenlerinin tespiti için ilk olarak 5 cilt olarak yayınlanan “Diyarbakır Salnameleri (1869-1905)” incelenmiştir. Salnameler, Osmanlıcada değirmen anlamına gelen "Asiyab" anahtar kelimesi ile incelenmiştir. Ayrıca, Osmanlı devletinde su veya rüzgâr gücü ile çalışan un değirmenleri ile zeytin değirmenlerinden alınan vergi olarak adlandırılan "Resm-i Asiyab” anahtar kelimesi de inceleme sırasında dikkate alınmıştır.

Salnamelerde yer alan bilgilere göre, 1869 yılında herhangi bir su değirmeni ile ilgili bir bilgi yer almazken 1870 yılında 28 adet su değirmeni için "Nefs-i Diyarbekir'de kain emlak-ı mütenevvi'ayı mübeyyin cetveli" şeklinde bir cetvel tutulmuştur (Salnameler, Cilt I). Benzer şekilde 1882 yılında tutulan emlak cetvelinde ise "Nefs-i Diyarbekir'de bulunan emlak ve musakkafat ve nufüsun miktarı" şeklinde belirtilerek (Salnameler, Cilt III) 28 adet su değirmeninden bahsedilmiştir (İzgöer 1999) (Şekil 4.1).

Ayrıca bunlar dışında Salnamelerde ilçeler (o tarihlerde kasaba olarak belirtilmiştir) bazında sayılara da yer verilmiştir. Buna göre, Diyarbakıra bağlı yerleşim yerlerinin (kasabaların) zamanla artıp veya azalmasına bağlı olarak toplam su değirmeni sayısında da artma ve azalma gözlemlenmiştir. Örneğin; 1873 yılında Siverek'te 1 adet, Lice'de 13 adet, Silvan'da 11 adet, Ergani'de 3 adet, Maden'e tabi Çermik'te 8 adet, Lice'ye tabi Hani'de 8 adet, Maden'e tabi Ergani kasabasında 2 adet, Nefs-i Harput'ta 3 adet su değirmeninden bahsedilirken 1875 yılında bu sayılara ek olarak Derik'te 11 adet, Silvan'a tabi Hazro'da 16 adet, Keban Madeni'de 2 adet, Çemişgezek Nahi'de 10 adet su değirmeni ile ilgili cetvel tutulmuştur (İzgöer 1999).



Dahil-i Vilayette Kâin Emlak-ı Mütenevvi'ayı Mübeyyin Cetveldir.

Vilayet Konağı 1	Harem Dairesi 1	Livâ Hükümet Konağı 1	Mahpushane 1	Karakolhane 7	İskâhane 1
Hane 4164	Han 14	Dükkan 1868	Anbar 124	Fırın 25	Kahve 23
Hamam 13	Deynek 27	Oda 4	Debbağhane 22	Samanlık 3	Bahçe 571
Tarla 203	Salhane 1	Kirişhane 1	İplikhane 6	Boyahane 7	Çömlekhane
Timarhane 1	Meyhane 4	Kelekhane 5	Bezirhane 10	Tahmishane 1	Arsa 327
Mağaza 124	Ahır 156	Değirmen 28	Böceklik 9	Morgan 5	Cami-i Şerif 28
Mescid-i Şerif 32	Medrese 4	Mektep 4	Mekteb-i Rüşdiye 1	Murahhashane 2	Zaptiye Merkezi 1

Şekil 4. 1. Salname-i Diyarbekir adlı eserde yeralan Dahil-i Vilayette Kain Emlak-ı Mütenevvi'ayı Mübeyyin Cetveline ait bir görüntü (İzgöer 1999)

Bazı farklı kaynaklardan da yararlanılarak değirmenlerin konumları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Kankal ve Cihan (2016) "Dünden bugüne Diyarbakır" adlı eserlerinde su değirmenleri ile ilgili bölümde bir kişinin ağzından değirmenler ile ilgili anılarını yazmışlardır. Bu eserde "Şehirde halk bütün unu sur dışında yer alan Hevsel ve Ben-ü Sen'deki değirmenlerde öğütürdü. Değirmenlerin tamamı sur dışında kanalla şehre gelen Haram suyu, Anzele ve benzeri büyük sular ile çalışıyordu. Ben-ü Sen'de iki tane vardı ikisi de yıkıldı. Mardin kapısında iki tane vardı. Bir de Hz. Süleyman'ın altında vardı. Elektriğin yaygınlaşması ile 1970'lerden sonra bu değirmenlerde de değişimler meydana gelmiştir" cümleleri bulunmaktadır (Kankal ve Cihan 2016). Bu da bize bazı değirmenlerin konumu hakkında bilgi vermektedir.

Bunlara ek olarak, Selçuklu Dönemi'nde 1179 yılında Fırat Nehri'nin Haburman kolu üstüne inşa edilen üç açıklı köprünün, simetrik olmayan yan açıklılıklarında günümüze kadar ulaşan ve o tarihlerde su değirmenini beslediği düşünülen su kanalı

bulunmaktadır (Öziş 1994; Öziş ve ark. 2008). Fakat günümüzde bu su değirmenine ait herhangi bir kalıntıya rastlanmamaktadır.

Daha sonra ikinci aşama olarak; tespit edilecek su değirmenlerini bulundukları konum ve yapı malzemesi göz önünde bulundurularak kodlandırabilmek için Halifeoğlu ve ark. (2019), Diyarbakır ili sınırları içerinde yer alan köprüler ile ilgili yaptığı çalışmada köprüleri isimlendirmek için kullandıkları yöntem incelenmiştir. Bu yöntemde ilk olarak köprünün yer aldığı il adı, daha sonra ilçe adı, son olarak yapı malzemesi ve bulundudğu bölgedeki sıralaması şeklinde bir uygulama kullanılmıştır. Bu isimlendirmeye göre; Diyarbakır ili, Çermik ilçesinde yer alan Çermik Köprüsünün yapı malzemesi bazalt olduğundan "DCM0101" olarak isimlendirilmiştir. Buradaki "D" Diyarbakır'ı, "CM" Çermik'i, "01" bazaltı ve son sıradaki "01" ise bölgesinde yer alan köprüler arasındaki sıralamasını ifade etmektedir (Halifeoğlu ve ark. 2019).

Bu çalışmada da tespit edilen her bir su değirmeni için de benzer bir isimlendirme yapılırken; Diyarbakır ili için "D" harfi, Sur ilçesi için "SR" harfleri, değirmenin yapı malzemesini oluşturan bazalt için "01" sayısı ve son olarak da Sur ilçesinde yer alan su değirmenleri arasındaki sıralaması için "01", "02" v.b. sayılar kullanılmıştır.

Bu yöntem kullanılarak tespit edilen su değirmenlerinin isimlendirmesi ve ayrıntılı bilgileri Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

4.1. Arazi Çalışmaları

4.1.1. Tespit Edilen Su Değirmenleri ve Özellikleri

Salnamelerde yer alan 28 adet su değirmeni bilgisi dâhilinde, çalışma kapsamında yaptığımız alan çalışmasında Diyarbakır ili sınırları içinde aktif ve pasif durumda olan, Hevsel Bahçeleri olarak adlandırılan bölgede (şehir merkezinde) 7, Dicle'ye bağlı Değirmenli Köyü'nde 12, şehir merkezine bağlı Ambar çayı üzerinde 1, şehir merkezine bağlı Satı Köyünde 3 ve Bismil ilçesine bağlı Üçtepe mevkiinde 1 adet olmak üzere toplamda 24 su değirmeninin konumu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak Türkiye Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğüne ait envanterde 2 adet su

değirmenine ait bilgiler mevcuttur. Ayrıca, Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden alınan envanter bilgisinde ise 2 adet su değirmeni yer almaktadır.

Yapılan alan çalışmaları sırasında, o bölgede yaşayan kişiler ile görüşmeler yapılmış ve bu röportajlar sonucunda da ilde çok sayıda su değirmeninin olduğu düşünülmektedir. Fakat anlatılan bazı bölgelerde incelemeler yapıldığında çoğu değirmenin tamamen yok olduğu gözlemlenmiş ve bundan dolayı bu değirmenler hakkında bilgi edinilememiştir.

4.1.1.1. Envanter Kaydı Bulunan Su Değirmenleri ve Özellikleri

Türkiye Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğüne ait "Avrupa Konseyi Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Envanteri'nde" bulunan 2 değirmen Diyarbakır-Sur'da yer almaktadır. Bu değirmenlerin birincisi çalışmalar sırasında Hevsel Bahçesi'nde tespit edilen ve "Değirmen I" olarak adlandırılan değirmendir. İkincisi ise, aynı bölgede bulunan bir değirmendir. Bu değirmen düzgün kesme bazalt ve moloz taşlarından inşa edilmiştir. Moloz taş kullanılarak onarımlar yapılmıştır. Aktif durumda olmayan değirmen bakımsız bir durumdadır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi taşıyıcı yapısı, dış yapısı ve üst yapısı orta durumda iken iç yapısı tamamen harabe haldedir.



Şekil 4. 2. Türkiye Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğü'nde envanter kaydı bulunan su değirmenleri

Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden alınan envanter bilgisinde ise Diyarbakır-Yenişehir'de Efsel ve Köşkler mevkisinde olmak üzere 2 adet Kargir Değirmen yer almaktadır.

4.1.1.2. Hevsel Bahçeleri'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri

2015 yılında UNESCO Dünya Miras listesine "Diyarbakır Surları ve Hevsel Bahçeleri Kültürel Peyzaj" alanı olarak giren bölge konum olarak 40˚ 14’ doğu boylamında ve 37˚ 55’ kuzey enleminde bulunmaktadır.

Bu bölgede bulunan su değirmenleri çoğunlukla, Mardin kapı ve Hevsel bağlantısı üzerinde yer almaktadır. Anzele’den gelen su kaynağı üzerinde kurulan bu değirmenler köylerden gelen tahıllardan un elde etmek amacı ile inşa edilmişlerdir. Kentleşme ile birlikte Anzele Su Kaynağından gelen suyun azalması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektrikle çalışan modern değirmenlerin kurulması, Hevsel bölgesinde yer alan değirmenlerin önemlerini yitirmesine ve terk edilmesine sebep olmuştur.

Hevsel Bahçeleri değirmenleri; Mardinkapı’daki Keçi Burcu’nun altında beş, Fiskaya tarafında ise iki adet bulunacak şekilde gruplanmıştır. Bunlardan sadece birinin kanal yapısı, depolama haznesi olarak bilinen kuyu ve değirmen binası gibi genel hatlarının sağlam olduğu tespit edilmiştir. Fakat diğer değirmenlerin tamamen yıkılmış durumda olduğu gözlemlenmiştir. Bu değirmenlerin envanterlerinin oluşturulabilmesi için 1'den 7'ye kadar numara verilerek adlandırılmıştır.

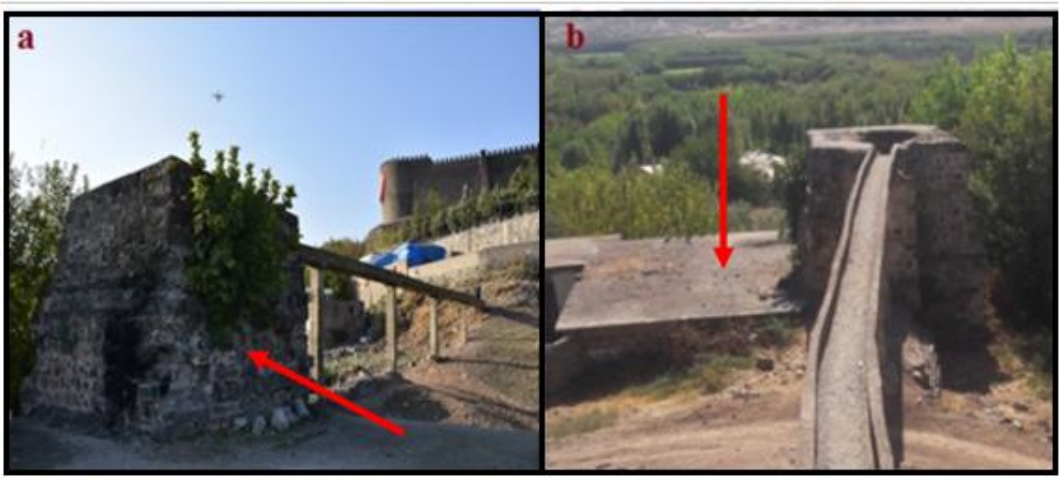
DSR0101- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni I: Bu değirmen 37° 54' 16" enlem ve 40° 14' 16" boylamlarında yer almaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te görüldüğü gibi değirmen Diyarbakır ilinde sıkça rastlanan bazalt taşından yapılmış tarihi bir yapıdır. İncelemelerde mevcut hali ile havuzun kenarından uzanan su kanalının malzemesi olarak beton kullanıldığı gözlemlenmiş fakat orijinalinin bazalt taşından yapılmış olabileceği düşünülmektedir. Bu da bize kanalın sonradan yenilenmiş olabileceğini göstermektedir. Bu kanalın yükleme havuzuna yakın kısmı ayaklar üzerindedir. Ayaklar da günümüzde betonarme malzemeden oluşmuştur. Olası orijinal halinin bazalttan su kemeri olduğu düşünülmektedir, ancak bu yönde bir kanıta rastlanmamıştır. Kullanılamaz durumda olan değirmenin, taşıyıcı yapısı ve üst yapısı kullanılabilecek bir durumda iken içyapısı nerdeyse yok olmuş durumdadır.

Yapılan ölçümlerde beton kaplama kanalın boyutlarının 0.60 m ile 0.35 m olduğu belirlenmiştir (ölçümde iç cidar esas alınmıştır). Ayrıca kanalın 4 ayak üzerine oturtulduğu gözlemlenmiş ve yapılan ölçümlerde bu ayakların yüksekliklerinin membadan mansaba doğru sırası ile 2.5 m, 3.1 m, 3.65 m ve 4.3 m olduğu tespit edilmiştir. Suyun düşü yüksekliğini oluşturan ve depolama haznesi olarak adlandırılan haznenin iç yüksekliği 6.5 m ve dış genişliği 4.8 m olarak ölçülürken, kuyu iç çapı ise 2.14 m olarak ölçülmüştür.

Ölçümlerde su değirmenine ait değirmen binasının atıl durumda olduğu ve hayvan yemi konulmak için kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı herhangi bir ölçüm alınamamıştır.



Şekil 4. 3. DSR0101 su değirmeni; a) su kanalı-ark, b) kanalı taşıyan ayaklar (Aykaç ve ark. 2018)



Şekil 4. 4. DSR0101 su değirmeni; a) depolama haznesi-kuyu (yandan görünüm), b) değirmen binası (Aykaç ve ark. 2018)

DSR0102- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni II: Konum olarak Keçi Burcunda yer alan bu su değirmeni, 37° 54' 20" enlem ve 40° 14' 11" boylamları arasında bulunmaktadır. Suriçi'nden gelen suyun ilk ulaştığı değirmen olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, değirmenin bütün bölümlerinde yapı malzemesi olarak bazalt kullanılmıştır.

Diğer kanaldan farklı olarak kanalda beton kaplama yapılmamış, kanal ve kuyu malzemesi olarak tamamıyla bazalt taşı kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde kuyu üst çapı 2.2 m olduğu tespit edilip, kanal iç genişliği 0.62 m ve kanal iç derinliği 0.84 m olarak belirlenmiştir. Kuyunun içi tamamıyla taş ve toprak dolu olduğu için su düşü yüksekliği doğru bir şekilde belirlenemeyeceği için ölçüm alınmamıştır.



Şekil 4. 5. DSR0102 su değirmeni; a) su kanalı-ark (üstten görünüm), b) depolama haznesi- kuyu (Aykaç ve ark. 2018)

Ölçümlerde su değirmenine ait değirmen binasının atıl durumda olduğu ve depolama için kullanıldığı gözlemlenmiştir. Özel mülk olarak kullanılmasından dolayı herhangi bir ölçüm alınamamıştır. Kullanılamaz durumda olan değirmenin, taşıyıcı yapısı ve üst yapısı onarım yapılarak kullanılabilecek bir durumda iken içyapısı nerdeyse yok olmuş durumdadır.



Şekil 4.6. DSR0102 su değirmeni; a) değirmen binası, b) su kanalı- ark (yandan görünüm) (Aykaç ve ark. 2018)

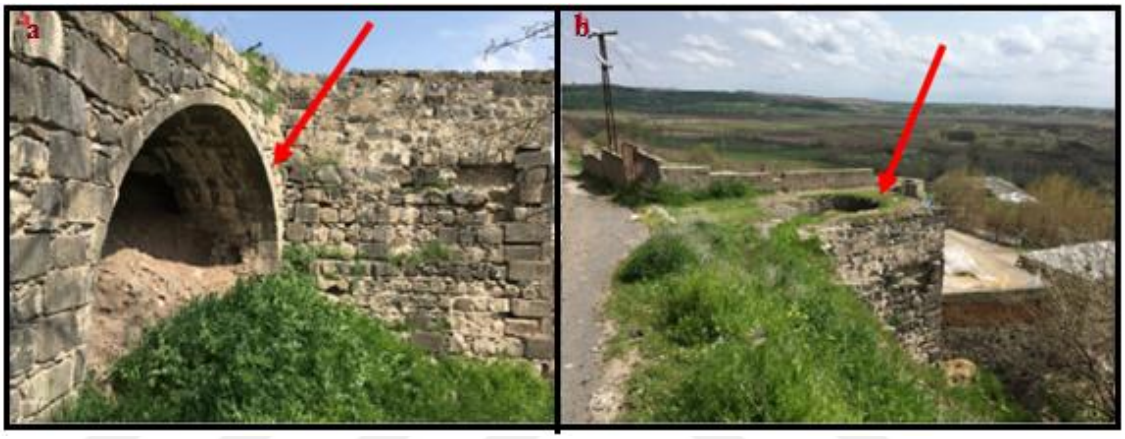
DSR0103- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni III: Keçi Burcunda bulunan diğer bir değirmen ise 37° 54' 56" ve 40° 14' 35" enlem ve boylamlarında, diğer değirmenlere göre daha aşağıda yer almaktadır. Kullanılamaz durumda olan değirmenin, taşıyıcı yapısı, üst yapısı ve içyapısı ile nerdeyse tamamen tahrip olmuş durumda olduğu için herhangi bir ölçüm yapılamamıştır. Fakat tespit edilebilen depolama haznesi ve değirmen binası fotoğraflanmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi kuyuda beton kaplama dikkat çekerken değirmen binasında bazalt taşı kullanılmıştır.



Şekil 4. 7. DSR0103 su değirmeni; a) depolama haznesi, b) değirmen binası (Aykaç ve ark. 2018)

DSR0104- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni IV: Konum olarak 37° 54' 18" enlem ve 40° 14' 14" boylamlarında yer alan su değirmenin kanal ve depolama haznesinin sağlam olduğu belirlenmiştir. Yapı malzemesi olarak bazalt taşı kullanılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, depolama haznesi iç kuyu iç çapının 2.30 m, kanal iç genişliğinin 0.57 m ve iç derinliğinin 0.53 m olduğu tespit edilmiştir. Depolama haznesinin yüksekliği (düşü yüksekliği) 5.15 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 8. DSR0104 su değirmeni; a) depolama haznesi (yandan görününüm), b) depolama haznesi (üstten görününüm) (Aykaç ve ark. 2018)

Kullanılamaz durumda olan değirmenin, taşıyıcı yapısı ve üst yapısı onarım yapılarak kullanılabilecek bir durumda iken, içyapısı nerdeyse tamamen yok olmuş durumdadır.

DSR0105- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni V: Yapılan geniş literatür taramaları sonucunda Hevsel Bahçesinde yer aldığı düşünülen bu değirmene, arazi çalışmalarında ulaşılamadığı için herhangi bir bilgi alınamamış ve ölçüm yapılamamıştır.

DSR0106- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni VI: Beylerbeyi mevkiinde bulunan iki adet değirmenden biri olarak bilinen bu değirmen 37° 53' 59" enlem ve 40° 13' 47" boylamlarında yer almaktadır. Şekil 4.9'da görüleceği gibi bu su değirmenine ait kanal ve kanal yapısını oluşturan ayaklar, değirmen taşı ve çarkı, depolama haznesi ve cebri borular gibi çalışma prensibini oluşturan yapılar günümüze kadar ulaşmıştır. Buna bağlı olarak, Fiskaya bölgesinde Hz. Süleyman Camii'nin aşağısında yer alan bu değirmenin

Hevsel Bahçelerinde bulunan diğer değirmenlere göre daha uzun süre faaliyette bulunmuş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4. 9. DSR0106 su değirmeni; a) değirmen taşı- çark, b) depolama haznesi-cebri borular (Aykaç ve ark. 2018)

Yapılan incelemelerde, değirmen kanalının 2 adet bazalt taşından yapılmış ayak üzerine oturtulduğu tespit edilmiştir. Depolama haznesini oluşturan su kuyusunun diğer değirmenlere göre daha derin olduğu için tedbir amaçlı kuyu ağzı demir mazgallarla kapatılmıştır. Bu yüzden düşü yüksekliği doğru bir şekilde ölçülememiştir. Yapılan diğer ölçümlerde de değirmen kanalı iç genişliği 0.62, iç derinliği 0.50 m ve kuyu iç çapı ise 2.1 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 10. DSR0106 su değirmeni; a) su arkı ve depolama haznesi (üstten görünüm), b) kanal ve kanalı taşıyan ayaklar (yandan görünüm) (Aykaç ve ark. 2018)

DSR0107- Hevsel Bahçeleri Su Değirmeni VII: Beylerbeyi değirmenlerinden bir diğeri olan bu değirmen, diğer değirmen ile aynı konumda 37° 53' 59" enlem ve 40° 13' 47" boylamlarında yer almaktadır. Fakat diğer değirmenden farklı olarak değirmen kanalı ve kuyusu tamamıyla yıkık halde olduğu için herhangi bir ölçüm alınamamış sadece fotoğraflanıp belgelenmiştir.



Şekil 4. 11. DSR0107 su değirmenine ait kalıntılar (Aykaç ve ark. 2018)

4.1.1.3. Değirmenli Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri

Değirmenli Köyü; Diyarbakır il merkezine 119 km, bağlı olduğu Dicle ilçesine ise 18 km uzaklıktadır. Tarihi olarak adlandırabileceğimiz 12 adet su değirmenin varlığından dolayı "Değirmenli" olarak adlandırılan köy, 38° 25′ 6.3084" ve 40° 12′ 1.4580" koordinatlarında yer almaktadır. Eski adı "Zıgır" olarak bilinmektedir.

Anadolu ajansı ile birlikte; köyde kendi değirmeninde 40 yılı aşkın çalışan Hüseyin Çınar (77) ile 25 Kasım 2017 tarihinde yaptığımız röportajda; Ergani, Hani ve Lice'den köye buğday öğütülmeye gelindiği ve o dönem 140 haneli köyde 12 değirmen olduğu belirtilmiştir. Bu su değirmenlerinin tarihi hakkında tam bilgi verilemese de yaklaşık olarak yüzyıldan fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, bu değirmenlerin önceki yıllarda köyün geçim kaynağını oluşturduğunu fakat son yıllarda şehir merkezine göç ile bu değirmenleri işletebilecek genç nüfusun kalmadığı, bu yüzdende çoğunun yıkılıp yok olmak üzere olduğu belirtilmiştir.

Değirmenli köyünde yapılan incelemelerde su değirmenlerinin, konum olarak birbirine çok yakın ve yapı olarak aynı tarzda yapıldığı gözlemlenmiştir. Anadolu ajansı

ile Kasım ayında yapılan röportaj sırasında değirmenlerin tam tespiti için drone kullanılmış fakat Şekil 3.36'da işaretlenen bölgede görüldüğü gibi değirmenlerin konum olarak ağaçlık bir bölgede yer alması görüntü alınmasına engel olmuştur. Bundan dolayı Hevsel bahçelerinde yer alan değirmenler gibi ayrı ayrı adlandırılmayıp 12 değirmen bilgisi bir arada verilmiştir. Bununla birlikte yerinde tespit edilen değirmenlerin fotoğrafları Şekil 4.12 – 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4. 12. Değirmenli Köyü google earth görüntüsü



Şekil 4. 13. DDC0101 su değirmeni haznesi (Aykaç ve ark. 2018)

Köyün genelinde incelemeler yapıldığında değirmenlerin kümelendiği bölgede su kaynağının hala aktif olduğu, hatta sulama amaçlı kullanılmaya devam edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 14. Değirmenli Köyü'nde yer alan birden fazla su değirmenine ait su kaynağı

Ayrıca Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görülebileceği gibi kullanılamaz durumda olan su değirmenlerine ait kanal, kuyu, çark ve değirmen taşı gibi yapıların tamamen

yok olmak üzere olduğu gözlemlenmiştir. Kanalların, diğerlerine göre daha derin, kaynak suyu debinsin daha yüksek olduğu ve bu değirmenlerin aynı su kaynağı üzerinde adeta seri şeklinde bağlandığı, dağlık bir bölge olması nedeniyle küçük bir alanda tüm değirmenler için yeterli düşü yüksekliğinin olduğu tespit edilmiştir. Birden fazla değirmenlerin olduğu küçük fakat yeterli düşünün söz konusu olduğu bölgelerde değirmenlerin seri bağlandığı görülmüştür. Bir sonraki alt başlıkta verilen Satı Köyü'nde de iki değirmen bu şekilde kurulmuştur.



Şekil 4. 15. Değirmenli Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait kuyu ve kanal yapıları (Aykaç ve ark. 2018)



Şekil 4. 16. Değirmenli Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait çark ve değirmen taşı (Aykaç ve ark. 2018)

4.1.1.4. Satı Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri

Diyarbakır şehir merkezine 15 km uzaklıkta bulunan bu köy 37° 51' 38" Kuzey ve 40° 21' 23" Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Satı Köyünde toplamda 3 değirmen tespit edilmiştir. Bu değirmenler sırası ile Satı Su Değirmeni I, II ve III olarak adlandırılmıştır. Satı Değirmen I ve II ard arda seri şekilde inşa edilmiş iki değirmendir (Şekil 4.17).

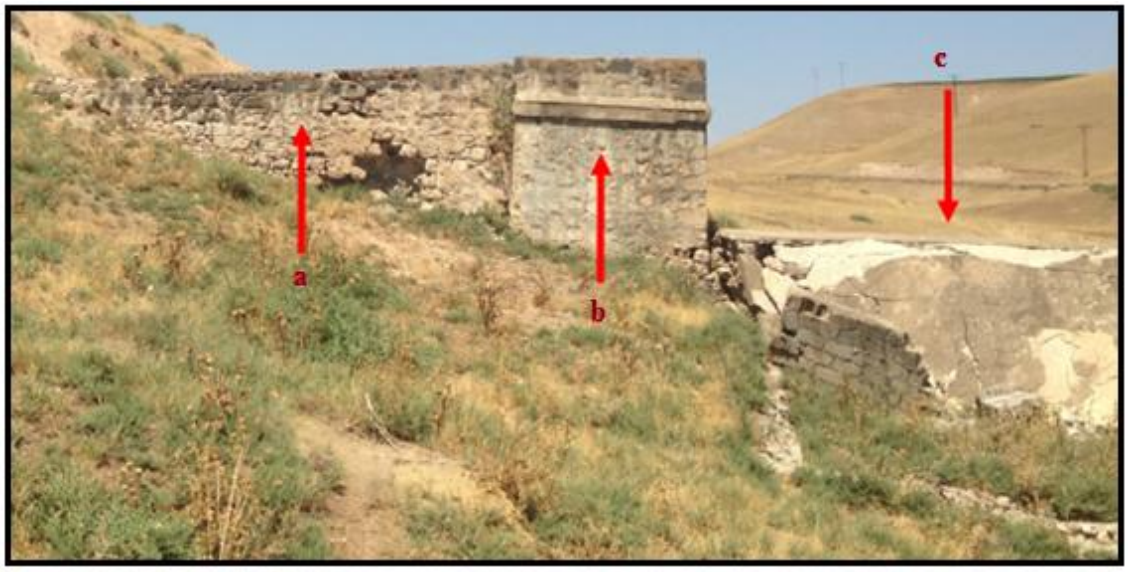


Şekil 4. 17. Su değirmenleri DSR0108 ve DSR0109'dan bir görüntü

Yeterli düşü yüksekliğini sağlamak için su, derenin yaklaşık 2 km membasından derive edilmiş ve bir kanal ile değirmenlerin başına getirilmiştir. Üçüncüsü ise ayrı bir kanaldan beslenmektedir.

DSR0108 - Satı Su Değirmeni I: Konum olarak, 37° 51' 2" enlem ve 40° 20' 56'' boylamlarında yer alan bu değirmenin, kuyu ve kanal yapısının bazalt ve kalker taşından yapıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kuyunun daha sonraki zamanlarda beton ile kaplandığı gözlemlenmiştir.

Kullanılamaz durumda olan değirmende yapılan ölçümlerde depolama haznesi koni şeklinde olduğu için sabit çaplı olmayıp iç çapının 1.95-2.00 m arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Kanal boyutları ise iç genişlik 0.63 m ve iç derinlik 0.72 m olarak ölçülmüştür. Kuyu yüksekliği yani su düşü yüksekliği ise 5.1 m olarak ölçülmüştür. Öğütme yapısı yer yer kerpiçten yapıldığı ve damının betondan olduğu görülmüştür.



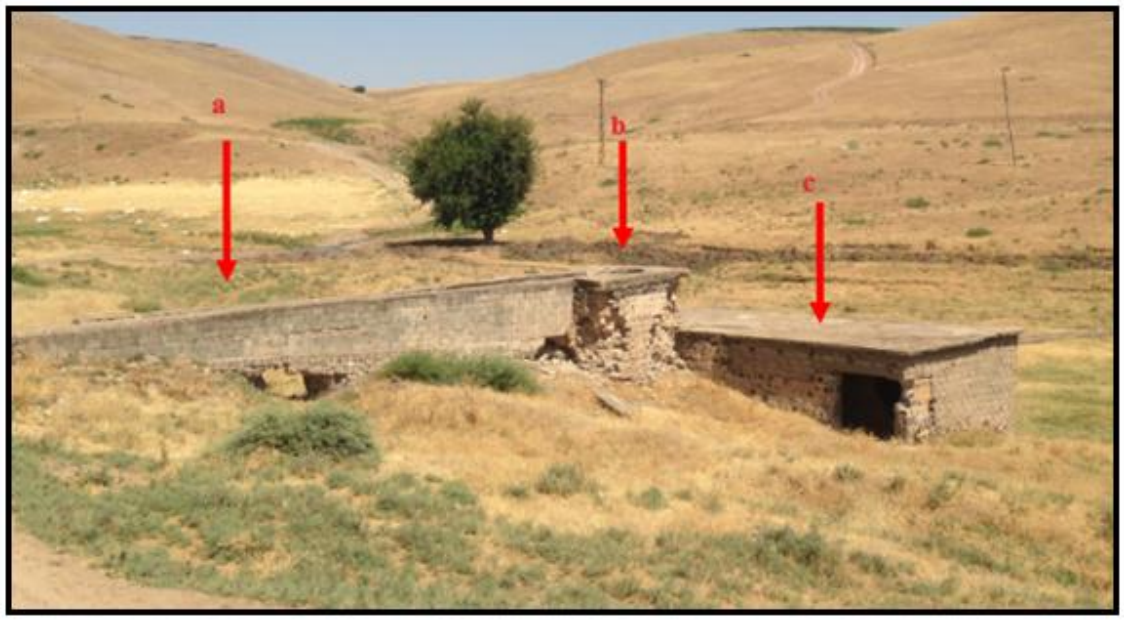
Şekil 4. 18. DSR0108 su değirmeni; a) su kanalı, b) depolama haznesi, c) değirmen binası



Şekil 4. 19. DSR0108 su değirmeni; a) depolama haznesi iç görünümü, b) su kanalı ve depolama haznesi üst görünüm (Aykaç ve ark. 2018)

Şekil 4.18'de görüldüğü gibi su değirmenine ait kanal ve depolama haznesine ait yapılar, neredeyse yıkılmış durumda olan değirmen binasına göre daha az hasar görmüştür.

DSR0109 - Satı Su Değirmeni II: Değirmen I'in hemen altında yer alan ve birincisine seri bağlanmış olan bu değirmen aynı kanaldan beslenmektedir. 37° 51' 1" enlem ve 40° 20' 56" boylamlarında yer almaktadır. Diğer değirmene göre daha az hasar aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Diğer değirmen gibi kuyusunun beton ile kaplandığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.22). Kanal iç genişliği 0.52 m ve iç derinliği 0.83 m olarak ölçülmüştür. Ayrıca kuyu koni şeklinde olduğu için sabit çaplı olmayıp ölçülen çaplar 1.75 m ve 1.85 m aralığında değişmektedir. Kuyu yüksekliği yani su düşü yüksekliği ise 4.7 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 20. DSR0109 su değirmeni a) Su kanalı, b) depolama haznesi, c) değirmen binası (yandan görünüm)



Şekil 4. 21. DSR0109 su değirmeni; a) depolama haznesi iç görünümü, b) su kanalı ve depolama haznesi üst görünüm (Aykaç ve ark. 2018)



Şekil 4. 22. DSR0109 su değirmeninin değirmen binası

DSR0110 - Satı Su Değirmeni III: Diğer iki değirmenden yaklaşık 300-400 m uzakta yer alan bu değirmen 37° 50' 47" enlem ve 40° 20' 53" boylamlarında yer almaktadır. Kanal boyutları; iç genişliği 0.60 m ve iç derinliği 0.70 m olup kuyu

derinliği 3 m iken ve çapı ise 3.5 m'dir. Değirmenin diğer iki değirmene göre kuyu çapının geniş fakat düşü yüksekliğinin az olduğu gözlemlenmiştir. Düşü yüksekliğinin düşük olması nedeni ile öğütmede kullanılacak enerjisinin üretilebilmesi için kullanılacak suyun debisinin arttırılması için çapın büyük tutulduğu yorumu çıkarılabilir. Kullanılamaz durumda olmasına rağmen, diğer iki değirmenden farklı olarak değirmen binasının yıkıntıları arasında değirmen çarkına da rastlanmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4. 23. DSR0110 su değirmenine ait çark ve depolama haznesi (Aykaç ve ark. 2018)

4.1.1.5. Bismil-Üçtepe Köyü'nde Yer Alan Su Değirmenleri ve Özellikleri

Diyarbakır-Bismil kara yolu üzerinde bulunan 37° 49' 31.8" enlem ve 40° 32' 45.2'' boylamında Dicle Nehrinin sağ tarafında yer alan bir yerleşim yeridir. Diyarbakır'ın 40 km güney-doğusunda Üçtepe Höyüğü olarak bilinen bölgenin ve çevresinin Mitani Devletinin merkez bölgesi olduğu Asur belgelerinde belirtilmektedir. Bölgedeki Mitani egemenliği M.Ö. 13. yüzyılda Asurlar tarafından sona erdirilmiş ve M.Ö. 7. yüzyılın ortalarına kadar arada kesintiye uğrasa da Asur egemenliği devam etmiştir (URL-4).

Bu bölgede tespit edilen değirmenin diğer değirmenlerden farklı olarak su kaynağına uzaklığı dikkat çekmiştir. Fakat su kaynağının getirildiği düşünülen su yolu-arkı çizgileri varlığını korumaktadır. Yapı malzemesi olarak bazalt taşının kullanıldığı

fakat sonradan yapılan onarımlarda kanalda beton kaplamanın kullanıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).



Şekil 4. 24. DBS0101 su değirmeni kanal ve depolama haznesi (sağdan görünüm)



Şekil 4. 25. DBS0101 su değirmenine ait kanal ve depolama haznesi (soldan görünüm)

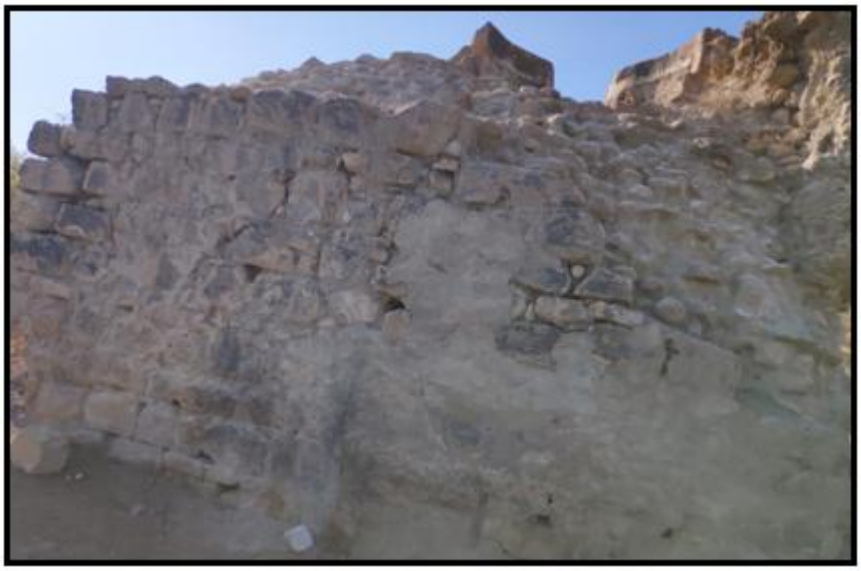
Ayrıca değirmen kanalı, depolama haznesi dibi dış yapıları da günümüze kadar ulaşmıştır (Şekil 4.26). Bunlara ek olarak değirmenin su yapılarında önemi bir yeri olan yan savağı da varlığını korumaktadır (Şekil 4.27). Fakat değirmen binası kullanılamaz bir durumdadır (Şekil 4.28).



Şekil 4. 26. DBS0101 su değirmenine ait kanal ve depolama haznesi (üstten görünüm)



Şekil 4. 27. DBS0101 su değirmenine ait yan savak



Şekil 4. 28. *DBS0101 su değirmenine ait değirmen binası*

Çizelge 4.1'de de görüldüğü gibi Hevsel Bahçeleri ve Satı Köyü değirmenleri il ve ilçe olarak aynı isimlendirmede oldukları için batıdan doğuya bir numaralandırma kullanılarak isimlendirme yapılmıştır. Ayrıca daha önce belirtilen sebeplerden dolayı Değirmenli Köyü değirmenleri 12 adet olduğu halde sadece bir isimlendirme kullanılmıştır.

Çizelge 4. 1. Diyarbakır ilinde tespit edilen su değirmenleri

Verilen Kod	Bulunduğu İl	Bulunduğu İlçe	Değirmenin Bulunduğu Bölge	Değirmen Konumu	Yapı Malzemesi	Kanal Malzemesi	Kanal Boyutları (cm)	Kuyu Derinliği (Düşü Yüksekliği) (cm)	Kuyu Çapı (m)
DSR0101	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 54' 16" 40° 14' 16"	Bazalt Taşı	Beton Kaplama	60x35	6.50	2.14
DSR0102	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 54' 20" 40° 14' 11"	Bazalt Taşı	Bazalt Taşı	62x84	Ölçüm almamıştır	2.20
DSR0103	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 54' 56" 40° 14' 35"	Bazalt Taşı	Bazalt Taşı	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır
DSR0104	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 54' 18" 40° 14' 14"	Bazalt Taşı	Bazalt Taşı	57x53	5.15	2.30
DSR0105	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 53' 59" 40° 13' 47""	Bazalt Taşı	Bazalt Taşı	62x50	Ölçüm almamıştır	2.10
DSR0106	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	37° 53' 59" 40° 13' 47""	Bazalt Taşı	Bazalt Taşı	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır
DSR0107	Diyarbakır	Sur	Hevsel Bahçeleri	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır
DDC0101	Diyarbakır	Dicle	Değirmenli Köyü (12 Adet Değirmen için)	38° 25' 6" 40° 12' 1"	Bazalt ve Kalker Taşı	Bazalt ve Kalker Taşı	Ölçü almamıştır	Ölçü almamıştır	Ölçü almamıştır
DSR0108	Diyarbakır	Sur	Satı Köyü	37° 51' 2" 40° 20' 56"'	Bazalt ve Kalker Taşı	Beton Kaplama	63x72	5.10	1.95-2.00
DSR0109	Diyarbakır	Sur	Satı Köyü	37° 51' 1" 40° 20' 56"'	Bazalt ve Kalker Taşı	Beton Kaplama	52x83	4.70	1.75-1.85
DSR0110	Diyarbakır	Sur	Satı Köyü	37° 50' 47"" 40° 20' 53"'	Bazalt ve Kalker Taşı	Beton Kaplama	60x70	3.00	3.50
DBS0101	Diyarbakır	Bismil	Uçtepe Köyü	37° 49' 31.8" 40° 32' 45.2"'	Bazalt Taşı	Beton Kaplama	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır	Ölçüm almamıştır

4.2. Hidrolik ve Teknik Potansiyel Hesaplamaları

Su değirmenlerinin, özellikle ulaşımı güç olan kırsal ve dağlık bölgelerdeki yerleşim yerlerinin enerji ihtiyacını karşılayabileceği ve bu bölgelerin sosyoekonomik ve kültürel gelişimlerine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bundan dolayı su değirmenlerinin de mini veya makro hidroelektrik sistemi olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Enerji geliştirme projelerinin planlaması ve geliştirilmesinde fizibilite analizi için ilk olarak, kaynak ve potansiyel tahminler yapılması gerekmektedir. Bunun içinde dikkate alınacak en önemli potansiyel teknik potansiyeldir çünkü bu potansiyel kaynakların bölgedeki kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Bundan dolayı tespit edilen su değirmenlerinde ilk olarak "su kaynakları" kontrol edilmiştir. İkinci olarak ise, özellikle yerleşim yerlerine yakın, enerji iletim ağının ve kurulu bir ağın bulunduğu yerlerde olan su değirmenleri seçilmiştir.

Seçimi etkileyen bir diğer teknik konu ise enerji dönüşümünü etkileyen faktörlerin dikkate alınmasıdır. Enerji kaybı tahminleri, sistemin hesaplanan kanal uzunluğu, boru hattı, su değirmeninin geometrik özellikleri gibi özellikler hedeflenen dönüşümde etkili rol oynamaktadır. Sahada yapısal ve değirmen binası durumu, işletme durumu, yapı malzemeleri, değirmen taşı sayısı, yaklaşım kanalı, su kemeri, değirmen taşı çapı ve özellikle her su değirmeninin su düşü yükseklikleri ölçülerek not edilmiştir. Bundan dolayı saha çalışmaları sırasında su değirmenlerinin potansiyellerini belirleyebilmek için bu değişkenler göz önünde bulundurulmuştur.

Belirtilen bu koşullar altında, bu çalışmada "Satı Su Değirmeni I ve II" olarak adlandırdığımız iki değirmeni "Debi ölçümü yapılabilen değirmenler" olarak değerlendirilirken, "Hevsel Bahçeleri Değirmenleri I, II, IV ve VI" olarak adlandırdığımız dört değirmeni ise" debi ölçümü yapılamayan değirmenler" olarak değerlendirip hidrolik ve analitik analizler uygulanarak üretilebilecek teknik enerji potansiyeli hesaplanmıştır.

4.2.1. Debi-Hız Ölçümü Yapılabilen Değirmenler İçin Hesaplamalar

4.2.1.1 Hidrolik Hesaplamalar

Tez çalışması kapsamında ilk olarak debi ölçümü yapılabilecek su değirmenleri belirlenmiş ve Satı Köyünde yer alan iki değirmende gerekli arazi ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4. 29. DSR0108 ve DSR0109 su değirmenlerine ait su kaynağı



Şekil 4. 30. Debi ölçümünde kullanılacak uzunluğun belirlenmesi

Arazi çalışmasında ilk olarak debisi ölçülecek su kaynağı kontrol edilip, ölçüm yapılacak bölgeye karar verilmiştir (Şekil 4.29). Daha sonra az parametreye bağlı en pratik yönteme karar verilip belirlenen kesitte debi ölçümü yapılmıştır. Bunun için hız alan yöntemi ile su yüzeyi hızını ölçebilmek için kullanılacak mesafe ölçülüp işaretlendi (Şekil 4.30).

Ele alınan kesitte ortalama hız (*V*) ve maksimum hız (*Vmax*) arasındaki oranın sabit olduğu bilinmektedir. Ayrıca, bilinen bu oran ile bir kesite ait daha kolay belirlenen maksimum hız kullanılarak debi hesaplanabilir (Chiu ve Said, 1995). Maksimum hız ise su kesitinin en derin noktasında ve su yüzeyine yakın bölgesinde oluşur (Ardıçlıoğlu ve Özdin, 2011). Bundan dolayı arazi ölçümleri yapılırken, hız ölçümü su yüzeyinden ve ağır olmayan, yüzey hızı ile aynı hızda hareket edebilecek kibrit çöpü kalınlığı ve uzunluğunda ahşap malzeme yardımı ile yapıldı. Bu cisimler yaklaşık olarak eşit büyüklükte ve ağırlıkta olacak şekilde seçildi. Bir kronometre yardımı ile aynı noktada olacak şekilde (metre yardımı ile) bu işlem 7 defa tekrarlanıp maksimum hız en hassas şekilde elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.31).

Aynı mesafe için ölçümde kullanılan parçacığın zaman aralığının 2.01 ile 2.60 saniye arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama zaman belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen bölge için başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek bu iki nokta arasındaki mesafe ölçülmüştür ve bu mesafe 1.16 m olarak belirlenmiştir. Daha sonra hesaplanan ortalama süre kullanılarak su yüzeyi hızı belirlenmiştir.

$$V_{sy}=L/t \qquad (4.1)$$

V_{sy}=1.16/2.29=0.5066 m/sn



Şekil 4. 31. Hız ölçümü yapılma anına ait fotoğraf

Burada *L* metre cinsinden mesafe, *t* saniye cinsinden bu mesafenin alındığı süre ve V_{sy} ise su yüzeyi hızını temsil etmektedir. Bu işlemler sonucunda 1.16 m'lik mesafeyi 2.29 saniyede alan parçacık için ortalama su yüzeyi hızı 0.5066 m/sn olarak elde edilmiş ve Çizelge 6.4'te verilmiştir. Yapılan bu hesaplamalar su yüzeyi için yapılmıştır. Fakat yüzey akış hızı su kesit hızından yüksek olduğu için düzeltme katsayısı (k) kullanılır. USGS tarafından doğal akarsularda yapılan çalışmalarda ortalama hız ve su yüzü hızı arasındaki oran 0.85 ile 0.86 arasında bir değerin, yapay kanallarda ise 0.90 değerinin kabul edilebileceği belirtilmiştir (Rantz, 1982a-b). Bu çalışmada bu katsayı 0.85 alınarak eşitlik 6.2'den ortalama hız (*V*) hesaplanmış ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

$$V = V_{sy} * 0.85 \qquad (4.2)$$

V= 0.5065 *0.85=0.4306 m/sn

Arazi çalışmalarında ölçüm yapılan mesafe 1.16 m olarak belirlendikten sonra akım genişliğini daha hassas ölçebilmek için bölgenin çevresi temizlenip prizmatik bir kanal (yapay bir kanal) haline getirilmiştir. Bu işlemlerden sonra düzeltilen bölgenin

genişliği ölçülmüş ve 0.90 m olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak ölçüm bölgemiz uzunluğu 1.16 m ve genişliği 0.90 m olacak şekilde belirlenmiştir.

Ölçüm yapılacak alan belirlendikten sonra, alanının en kesitinin çıkarılabilmesi için kullanılacak dilim sayısına karar verilmiştir. Dilim sayısı belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus en kesitten geçecek debinin toplam debinin % 10'unu geçmeyecek şekilde belirlenmesidir (Rantz 1982 a-b). Buna bağlı olarak 116 cm uzunluk için akış yönünde 3 nokta belirlenerek bunlar da 90 cm genişlik için 5'er cm aralıklar olmak üzere 19 dilime bölünmüştür. Her 3 nokta ve 18 derinlik için ayrı ayrı ölçülmüştür (Şekil 4.32).

Ölçümleri daha hassas yapabilmek için düz bir ahşap çubuk referans noktası olarak kabul edilmiştir. Bu ahşap ölçüm noktası ile su seviyesi arasındaki fark dikkate alınarak yapılan ölçümler Çizelge 4.2'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

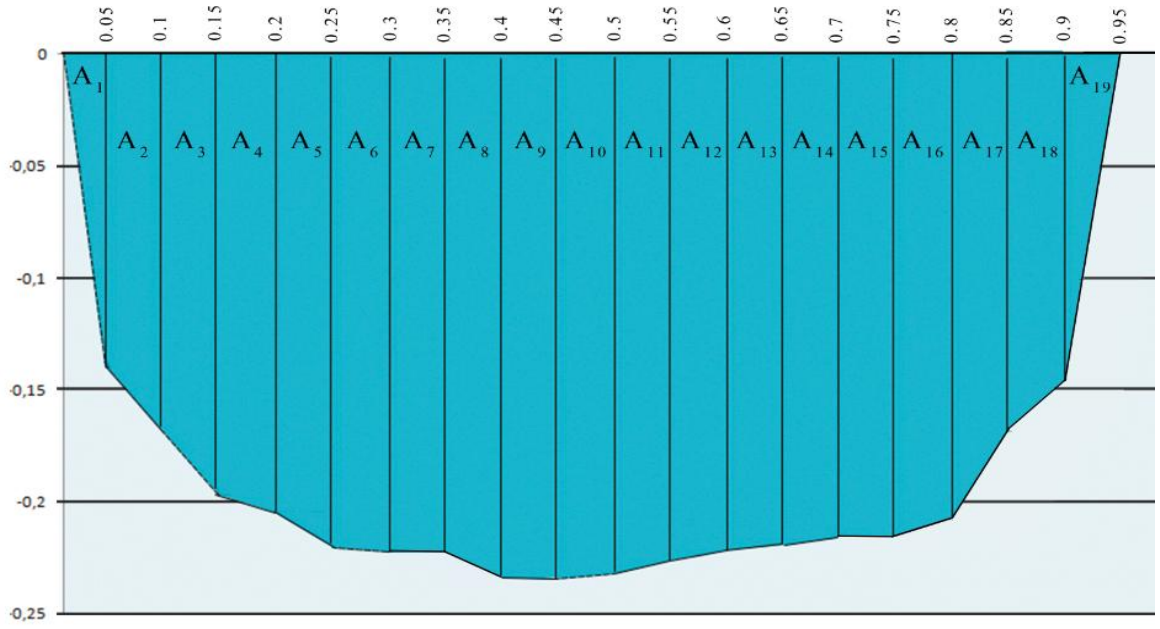


Şekil 4. 32. En kesitlerde dilim derinlikleri ölçümüne ait fotoğraf

Çizelge 4. 2. En kesit dilimlerine ait derinlik ölçümleri

Dilim Numarası	Ölçüm Tarihi	1. Nokta için derinlik (cm)	2. Nokta için derinlik (cm)	3. Nokta için derinlik (cm)	Ortalama derinlik (cm)
1	10.08.2018	13.00	12.00	17.00	14.00
2	10.08.2018	15.50	15.00	19.50	16.66
3	10.08.2018	17.00	19.00	22.00	19.66
4	10.08.2018	18.00	20.50	22.50	20.50
5	10.08.2018	21.00	22.50	22.50	22.00
6	10.08.2018	21.50	22.00	23.00	22.16
7	10.08.2018	22.00	22.50	23.50	22.66
8	10.08.2018	22.00	23.50	24.50	23.33
9	10.08.2018	22.50	24.50	22.50	23.16
10	10.08.2018	23.00	23.00	22.00	22.66
11	10.08.2018	22.00	22.50	22.00	22.16
12	10.08.2018	22.00	22.00	21.50	21.88
13	10.08.2018	21.50	22.50	20.50	21.50
14	10.08.2018	21.00	22.50	21.00	21.50
15	10.08.2018	21.50	22.50	21.00	21.66
16	10.08.2018	18.50	22.50	21.50	20.83
17	10.08.2018	14.50	19.50	16.50	16.83
18	10.08.2018	12.50	19.00	12.50	14.66
Maksimum Derinlik (cm)		**23.00**	**24.50**	**24.50**	**23.33**
Minimum Derinlik (cm)		**12.50**	**12.00**	**12.50**	**14.00**

0.05 m aralıklarla 19 dilime bölünerek yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ortalama derinlikler ve buna bağlı olarak ortaya çıkan en kesit Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4. 33. Ölçümlere ait enkesitin dilimlere bölünme şekli

Ölçüm bölgesine ait en kesit belirlendikten sonra eşitlik 6.3 kullanılarak her dilim için sırası ile bütün alanlar (A_1, A_2, A_3, A_4..... A_{19}) hesaplanarak Çizelge 4.3'te verilmiştir. Burada *b* dilim genişliği, *H* ise derinliği ifade etmektedir. Buna göre A_1 ve A_{19} birer üçgen, diğerleri ise dikdörtgen ve trapez şeklindedir. Üçgen, dikdörtgen ve trapez kesitlerin alanları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Daha sonra her dilim için hesaplanan alan ve ortalama hızın çarpılması ile her dilim için debi ayrı ayrı hesaplanmış ve bu değerlerde Çizelge 6.4'te verilmiştir.

$$qi = V.Ai \qquad (4.4)$$

Burada q_i söz konusu dilime ait debiyi, V ortalama hızı ve A_i ise söz konusu dilime ait alanı simgelemektedir. Son olarak ise eşitlik 4.5 kullanılarak en kesite ait toplam debi hesaplanmıştır.

$$\sum Q = Vx \sum A \qquad (4.5)$$

Çizelge 4. 3. En kesit dilimlerine ait hesaplamalar

Dilim Numarası	Ölçüm Yapılan Noktalar (m)	Dilim Genişliği (b) (m)	Dilimlere ait Su Derinliği (H) (m)	Dilimlere ait Alan (10^{-3} m^2)	Ortalama Hız (m/sn)	Düzeltilmiş Ortalama Hız (m/sn)	Dilimlere ait Debi (10^{-3} m^3/sn)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.05	0.05	0.1400	7	0.5066	0.4306	3.0142
3	0.10	0.05	0.1666	8.33	0.5066	0.4306	3.5869
4	0.15	0.05	0.1966	9.83	0.5066	0.4306	4.2328
5	0.20	0.05	0.2050	10.25	0.5066	0.4306	4.4136
6	0.25	0.05	0.2200	11	0.5066	0.4306	4.7366
7	0.30	0.05	0.2216	11.08	0.5066	0.4306	4.7710
8	0.35	0.05	0.2266	11.33	0.5066	0.4306	4.8787
9	0.40	0.05	0.2333	11.66	0.5066	0.4306	5.0208
10	0.45	0.05	0.2316	11.58	0.5066	0.4306	4.9863
11	0.50	0.05	0.2266	11.33	0.5066	0.4306	4.8787
12	0.55	0.05	0.2216	11.08	0.5066	0.4306	4.7710
13	0.60	0.05	0.2188	10.94	0.5066	0.4306	4.7108
14	0.65	0.05	0.2150	10.75	0.5066	0.4306	4.6289
15	0.70	0.05	0.2150	10.75	0.5066	0.4306	4.6289
16	0.75	0.05	0.2166	10.13	0.5066	0.4306	4.3620
17	0.80	0.05	0.2083	10.41	0.5066	0.4306	4.4825
18	0.85	0.05	0.1683	8.41	0.5066	0.4306	3.6213
19	0.90	0.05	0.1466	7.33	0.5066	0.4306	3.1563
TOPLAM				**183.20**			**78.88**

4.2.1.2. Teknik Potansiyel Hesaplamaları

Enerji geliştirme projelerinde planlama, fizibilite çalışmaları için ilk olarak teknik potansiyelin belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı saha çalışmaları ile su değirmenlerinden alınan ölçümler yardımıyla hesaplanan debi ve su düşü yüksekliği kullanılarak teknik potansiyel belirlenmiştir.

Brüt enerji hesaplanmasında yaygın olarak Tek Nokta (Single-Point, SP), Çift Nokta (Double-Point, DP), Alt Drenaj (Sub-Drainage, SD) ve Enerji Ağacı (Energy Tree, ET) gibi yöntemler kullanılmaktadır (Alashan ve ark. 2016). Tez çalışması kapsamında da brüt enerji hesabı için de Tek Nokta (Single-Point, SP) yöntemi kullanılmıştır. Herhangi bir hidroelektrik santralin (HES) güç hesabı için kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$P = \eta \,.\, \rho . Q \,.\, H \,.\, g \qquad (4.6)$$

Burada;

P = güç (W veya kW olarak),

Q=1 sn de geçen su miktarı/hacmi (m^3/sn)

H=Su Düşü Yüksekliği (m)

η =Hidrolik Verim

g=Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s^2)

ρ=Yoğunluk/Suyun birim hacminin kütlesi (kg/ m^3)

Hidrolik verim *(η)* en iyi türbinlerde %80 ile %90 aralığında değişirken, bu değer mikro hidroelektrik sistemler için %60 ile %80 aralığındadır (Dündar ve ark. 2019).

Seçilen Satı Köyü'nde yer alan ardışık iki değirmen olan DSR0108 ve DSR0109'a ait teknik potansiyeller Çizelge 4.4'de verilmiştir. İki değirmende aynı kaynaktan beslendiği için debi değeri ve hidrolik verim katsayısı aynı değer olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4. 4. Satı Köyü'nde yer alan su değirmenlerine ait teknik güç potansiyelleri

Değirmen Adı	Düşü Yüksekliği (m)	Debi (m^3/s)	Yerçekimi İvmesi (m/s^2)	Hidrolik Verim	Potansiyel Güç (W)
DSR0108	5.10	0.0788	9.81	0.80	3153.95
DSR0109	4.70	0.0788	9.81	0.80	2906.58
TOPLAM	-	-	-	-	6060.53

Seçilen Satı Köyü'nde yer alan iki değirmene ait potansiyel güç sırası ile 3.2 kW ve 2.9 kW olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda 10 kW'ın altında bir değer elde edildiği için, bu iki su değirmeninin "mikro hidroelektrik santral"

sınıflandırmasında yer aldığını gösterir. Toplamda bu iki değirmenden teknik potansiyel olarak yaklaşık 6.1 kW'lık enerji elde edilebilir.

4.2.2. Debi-Hız Ölçümü Yapılamayan Değirmenler İçin Hesaplamalar

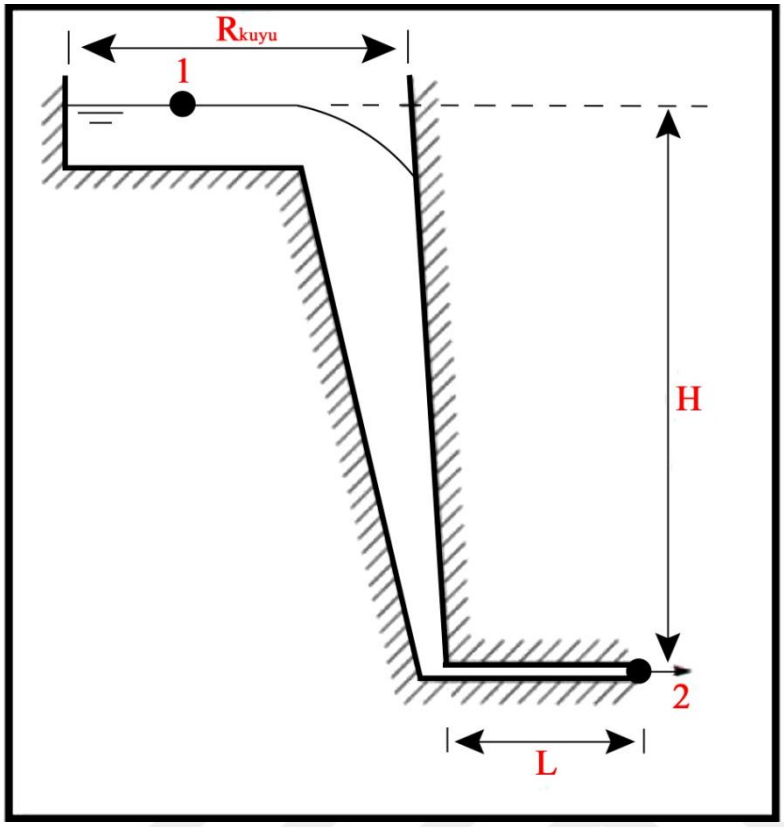
4.2.2.1. Hidrolik Hesaplamalar

Bu bölümde klasik matematiksel analizler yapılarak açısal hızın bir fonksiyonu olan, su çarklarına ait güç elde edilmeye çalışılmış ve yapılacak restorasyonlarda dikkate alınabilecek şekilde etkisi gösterilmiştir.

İlk olarak bu hesaplama yönteminin uygulanacağı su değirmenleri belirlenmiş ve bu değirmenlere ait kanal boyutları, su düşü yüksekliği ve kuyu çapı (depolama hanesi çapı) gibi hesaplamalarda kullanılacak ölçümler alınmıştır. Su kaynağına uzaklığı ve değirmenleri oluşturan yapıların kullanabilir durumda olup olmadığı göz önünde bulundurularak Hevsel Bahçelerinde yer alan dört değirmen için bu yöntem seçilmiştir.

Şekil 4.34 üzerinde belirlenen suyun hazneye ulaştığı nokta olan kuyunun (depolama haznesi) üst sınırı (1.nokta) ile suyun çarklara ulaştığı ve su jeti oluşan nokta (2.nokta) arasında Bernoulli Denklemi (Eşitlik 4.7) kullanılmıştır.

Burada; R_{kuyu} ; kuyu çapı, H; suyun düşü yüksekliği ve L;suyun boşaldığı kanal uzunluğu olarak açıklanabilir.



Şekil 4. 34. Suyun hazneye ulaştığı nokta ile su jeti oluşan noktayı gösteren su değirmenlerine ait şematik görünüm

Bir akım çizgisi boyunca daimi, sürtünmesiz, sıkıştırılamaz akış için herhangi iki farklı kesitte Bernoulli denklemi aşağıdaki gibidir. Bernoulli denklemi sürtünmesiz bir akışta kesitsel ortalama akım hızı, basınç ve kot farkı arasındaki ilişkiyi verir (Şekerdağ 1993; Çengel ve Cimbala 2006; Sümer ve ark. 2015).

$$\frac{V_1^{\,2}}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^{\,2}}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \mathrm{h}_{12} + \mathrm{h}_{12}^{\mathrm{l}} \qquad (4.7)$$

Burada;

P_1= 1. noktadaki akışın basıncı

P_2= 2. noktadaki akışın basıncı

$\frac{V^2}{2g}$= Hız yüksekliği/yükü

$\frac{P_1}{\gamma}$= Basınç yüksekliği/yükü

$\frac{P_1}{\gamma} + z_1$= Piyezometre çizgisi yüksekliği

h_{12}= Sürekli enerji kaybı

h_{12}^1 = Yerel enerji kayıpları

olarak açıklanabilir.

Gerçek sıvıların boru içindeki hareketinde oluşan yük kaybı, akıma ters yöndeki sürtünme kuvvetlerinin neden olduğu enerji kaybının birim kütleye düşen değeridir. Sürekli enerji (yük) kaybı borunun uzunluğu boyunca sürtünmeden dolayı meydana gelen enerji kaybıdır ve Darcy- Weisbach formülü (Eşitlik. 4.8) ile ifade edilir (Şekerdağ 1993; Çengel ve Cimbala 2006; Sümer ve ark. 2015).

$$h_{12} = f.\frac{L}{4R_H}.\frac{V^2}{2g} \quad (4.8)$$

Burada;

h_{12}= Sürekli enerji/yük kaybı

f= Sürtünme katsayısı

L= Boru boyu

R_H= Hidrolik yarıçap

V= Ortalama akım hızı

g= Yerçekimi ivmesi

olarak açıklanır.

Buradaki hidrolik yarıçap (Eşitlik.4.9) ıslak alanın ıslak çevreye oranı ile hesaplanır.

$$R_H = \frac{A}{Ç} \tag{4.9}$$

Yerel kayıplar; borunun geometrisinden dolayı meydana gelen enerji kaybıdır (Eşitlik 4.10). Bu kayıplar vanalar, hazne giriş ve çıkışları, dirsekler, kesit değişimleri gibi yerlerde meydana gelmektedir. Yerel kayıplar genellikle kayıp katsayısı ile ifade edilir (Şekerdağ 1993; Çengel ve Cimbala 2006; Sümer ve ark. 2015).

$$h_{12}^{1} = \xi . \frac{V^2}{2g} \tag{4.10}$$

Sürekli enerji kaybı boru boyuna bağlı iken, yerel enerji kaybı ise yerel değişikliğin bir fonksiyonudur. Toplam kayıp hesabı ise sürekli yük kaybı ile yerel yük kaybının toplamından elde edilir (Eşitlik 4.11).

$$h_{12} + h_{12}^{1} = f . \frac{L}{4R_H} . \frac{V^2}{2g} + \xi . \frac{V^2}{2g} \tag{4.11}$$

Hevsel Bahçesi Değirmen DSR0101 için yapılan ölçümlerde elde edilen kanal boyutları (60x35 cm), düşü yüksekliği (6.5 m) ve kuyu çapı (2.14 m) kullanılarak restore edilip kullanılması durumunda elde edilebilecek potansiyel enerji hesaplanmıştır.

İlk olarak hidrolik yarıçap için Eşitlik 6.9 kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

$$R_H = \frac{A}{Ç} = \frac{0{,}60\ .0{,}35}{2\ .0{,}60+2\ .0{,}35} = 11{,}05\ .\ 10^{-2}\ \text{m}$$

Daha sonra Eşirlik 4.11'de yer alan ve toplam yük kaybını ifade eden Darcy-Weisbach bağıntısı kullanılarak hız elde edilir (Eşitlik 4.12).

$$V = \sqrt{\frac{2g.H}{1+\frac{f.L}{4\,R_H}+\xi}} \tag{4.12}$$

Boyutsuz f parametresine Darcy sürtünme faktörü veya direnç katsayısı denir. Boyutsuz f sürtünme faktörü eğer akım laminer veya akım türbülanslı ve cidar hidrolik

cilalı ise Reynolds sayısının fakat akım türbülanslı ve cidar pürüzlü ise etkin pürüzlülük olarak adlandırılan e/D'nin bir fonksiyonudur (Sümer ve ark. 2015).

Su değirmenleri için kuyularda pürüzlülük oldukça yüksektir çünkü iç yüzeyleri düzeltmek için herhangi bir özen gösterilmemiştir. Pujol ve ark. (2010)'un, su değirmeni ile ilgili yaptıkları çalışmada bu pürüzlülük değerini e=0.005 m kabul etmiştir (Pujol ve ark. 2010). Bunun sebebi yüksek yüzey pürüzlülüğünde Reynold sayısından bağımsız bir sürtünme faktörü oluşturarak Karman-Prandtl denklemini (Eşitlik. 4.13) uygulanıp sürtünme faktörünü belirlemektir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\frac{e}{D}}{3{,}71}\right) \tag{4.13}$$

Buna göre, $D=4xR_H$ eşitliği kullanılarak $f = 0.0395$ olarak hesaplanır.

Sürtünme faktörü de belirlendikten sonra Hevsel Bahçesi Su Değirmeni I için, $H=z_1-z_2=6.5$ m, $\xi=1$ (çıkış bölgesi olduğu için), $R_H=11.05x10^{-2}$ m ve kuyunun çapı (2.14 m) göz önünde bulundurularak tahmini değer olarak güncel literatürde genellikle L =1.5 m alınmaktadır (Pujol ve ark. 2010). Bu yüzden burada bu değer 1.5 olarak alınmıştır. Daha sonra 4.12 eşitliği ile akımın hızı hesaplanır. Yapılan hesaplama ile V=7.73 m/s olarak elde edilmiştir.

Elde edilen akım hızı kullanılarak Reynolds sayısı hesaplanabilir ve akımın şekline karar verilebilir. Reynolds sayısı; 1883 yılında Osborne Reynolds tarafından geliştirilen ve akımın, akışkanın ve akım ortamının özelliğine bağlı olarak değişen ve akımın şeklini belirleyen bir katsayıdır. Tabiatta ve laboratuarda yapılan gözlemler birbirinden çok farklı iki akımın varlığını göstermiştir. Bunlar laminer ve türbülanslı akımlardır. Pratikte karşımıza çıkan akımların çoğu türbülanslıdır (Sümer ve ark. 2015). Fakat Reynold sayısına bağlı olarak yorumlamak gerekirse boru akımları için;

Re≤2000 ise akım laminer

Re>2000 ise akım türbülanslı olarak isimlendirilir (Sümer ve ark. 2015).

Reynolds sayısı boyutsuz bir büyüklüktür ve belirlemek için aşağıdaki formül kullanılır.

$$R = \frac{VxD}{v} \quad (4.14)$$

Burada; *v*= kinematik viskozite (15 ^{o}C'deki suyun kinematik viskozitesi 101x10^{-8} m^2/s olarak alınabilir (Pujol ve ark. 2010), *V*= akışkanın hızı (7.73 m/s) ve *D*= çap ($4xR_H$) alınarak 3.38x10^6 olarak hesaplanmıştır.

Hevsel Bahçesinde yer alan diğer üç su değirmeni için de aynı işlemler tekrarlanmış ve akıma ait hız ve Reynolds sayıları hesaplanarak Çizelge 4.5''te verilmiştir.

Daha sonra su kaynaklarının planlanmasında ve elde edilecek enerji tahmini için ana parametreden biri olan debinin hesaplanması için süreklilik denklemi (Eşitlik 4.15) kullanılmıştır.

$$Q = V.A \quad (4.15)$$

Burada Q; debi, V; akım hızı ve A ise; en kesit alanı belirtmektedir.

$$A = \pi D^2/4 \quad (4.16)$$

Eşitlik 4.12 kullanılarak hesaplanan hız su jeti hızı olduğu için debi hesaplanırken dikkate alınacak alan da bu bölgeye ait alan olmalıdır. Bundan dolayı su değirmenin çarkının beslendiği yuvanın çapı bilinmelidir. Fakat tespit edilen değirmenlerin genelinde bu bölüm tamamen tahrip olduğu için herhangi bir ölçüm alınamamıştır. Bundan dolayı yapılan literatür taramalarında ülkemizdeki değirmenler için alınan ölçüm esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Dündar ve ark. (2017), tespit ettikleri su değirmenlerinde değirmen besleme yuvası çapını 6 cm ve 10 cm aralığında belirlemişlerdir (Dündar ve ark. 2017). Tez kapsamında da bu bölümde yapılacak hesaplamalar için besleme yuvası çapı 10 cm kabul edilmiştir. Daha sonra yapılacak yenilemelerde bu değer dikkate alınarak besleme yuvası çapı belirlenebilir.

İlk olarak Eşitlik 4.16 ile kesit alanı $7.85x10^{-3}$ m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bütün değirmenler için sabit tutulmuş ve hız değişkeni kullanılarak debi hesaplanmıştır. Hevsel Bahçeleri değirmen I için hız 7.73 m/s ve kesit alanı $7.85x10^{-3}$ m^2 alınarak eşitlik 4.15'ten debi hesaplanmıştır.

$Q=7,73 . 7,85 . 10^{-3}= 6,07.10^{-2}\ m^3/s$

Bu işlem diğer üç değirmen (DSR0102, DSR0104, DSR0105) için tekrarlanmış ve sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Hevsel Bahçeleri'nde yer alan su değirmenlerinin ölçülen ve hesaplanan özellikleri

Değirmen Adı	Kanal Boyutları (m)	Düşü Yüksekliği (m)	Kuyu Çapı (m)	Belirnen L uzunluğu (m)	Su Jeti Hızı (m/s)	Reynolds Sayısı (10^6)	Debi $m^3\ s^{-1}$ (10^{-2})
DSR0101	0.60x0.35	6.50	2.14	1.50	7.73	3.38	6.07
DSR0102	0.62x0.84	6.00	2.20	1.50	7.53	5.32	5.91
DSR0104	0.57x0.53	5.15	2.30	1.50	6.99	3.80	5.48
DSR0105	0.62x0.50	6.00	2.10	1.50	7.48	4.10	5.87

4.2.2.2. Teknik Potansiyel Hesaplamaları

Teknik potansiyel hesaplanırken daha önceki bölümde söz edilen 4.6 eşitliği kullanılmıştır. Hevsel Bahçeleri Değirmenlerinin konumlarının farklı olmasından dolayı Satı Köyü Değirmenleri gibi toplam değil 4 farklı enerji miktarı hesaplanmıştır. Kullanılan veriler ve hesaplanan teknik enerji potansiyeli Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Hevsel Bahçeleri'nde yer alan su değirmenlerine ait teknik potansiyeller

Değirmen Adı	Düşü Yüksekliği (m)	Debi $m^3 s^{-1}$ (10^{-2})	Yer çekimi İvmesi (m/s^2)	Hidrolik Verim Katsayısı	Potansiyel Güç (W)
DSR0101	6.50	6.07	9.81	0.80	3093.27
DSR0102	6.00	5.91	9.81	0.80	2782.90
DSR0104	5.15	5.48	9.81	0.80	2214.86
DSR0105	6.00	5.87	9.81	0.80	2764.06

Çizelge 4.6 incelendiğinde Hevsel Bahçelerinde yer alan dört değirmene ait potansiyel güç sırası ile 3.1 kW, 2.8 kW, 2.2 kW ve 2.8 kW olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda 10 kW'ın altında değerler elde edildiği için, bu değirmenler "mikro hidroelektrik santral" sınıflandırmasında yer aldığı gözlemlenmiştir. Toplamda bu dört değirmenden teknik potansiyel olarak yaklaşık olarak 10.9 kW'lık enerji elde edilebilir.

4.3. Finansal Hesaplamalar

Finansal potansiyel açısından, dağlık veya yayla yerleşim bölgelerinde, daha yüksek dağıtım ve bağlantı maliyetleri gerektiren uzak ve izole yerlerde fizibilite konusu oldukça önemlidir. Bundan dolayı su değirmenlerinin enerji potansiyeli hesaplandıktan sonra bu enerjinin üretilebilmesi için belirli bi bütçenin kurulum maliyeti olarak harcanması gerekmektedir. Bu gerekli maliyet kırsal bölgelere yönelik yenilenebilir enerji sektöründeki enerji üretim maliyeti hesabı (Çizelge 4.7) baz alınarak yapılabilir. Çizelge incelendiğinde Mikro-Hidro enerji için tesis kapasitesi 1-100 kW aralığında olan sistemlerin maliyeti kWh bazında 7-30 dolarsent arasında değişmektedir (URL-7).

Çizelge 4. 7. Kırsal bölgelere yönelik yenilenebilir enerji sektöründeki enerji üretim maliyeti hesabı

Teknoloji	Karakteristik Bilgi	Maliyet (dolarsent/kWh)
Mini- Hidro	Tesis Kapasitesi: 100-1000 kW	5-12
Mikro-Hidro	Tesis Kapasitesi: 1-100 kW	7-30
Pico-Hidro	Tesis Kapasitesi: 01-1 kW	20-40
Küçük Rüzgar Türbini	Türbin Boyutu: 3-100 kW	15-20
Ev Rüzgar Türbini	Türbin Boyutu: 0.1-3 kW	15-35
Güneş Ev sistemi	Sistem Boyutu: 20-100 W	40-60

Yüksek dağıtım ve teknik maliyetleri ile geleneksel sistemlerin aksine, bu mikro sistem daha ucuz bir çözümdür. Maliyet belirlendikten sonra su değirmenlerinden üretilecek enerjinin katkısı belirlenebilir. Değirmenlerin bulunduğu konumun özelliklerine göre maliyet değerlendirmeleri yapılabilir ve elektrik fiyatları geleneksel enerji üretim sistemlerine göre hesaplanabilir. Elektrik fiyatlandırması ülkeler bazında hatta şehirler bazında farklılık gösterebilir, fakat kullandığımız elektriğin ölçüm birim maliyeti genel olarak kWh (saatte Kilowatt) üzerinden fiyatlandırılır ve dünyanın her yerinde yukarı yönlü bir artış içerisindedir.

Aktif enerji bedeli EPDK tarafından belirlenen ve tek zamanlı ve üç zamanlı olarak gruplandırılan; ticarethane, mesken, sanayi ve aydınlatma gibi abonelik çeşitleri ile değişiklilik gösteren bedeldir. Elektrik şebekelerinde sayaca iletilen kullanılmış aktif güç ile zamanın çarpımından elde edilen kilowatt/saat birimindeki enerjinin birim elektrik fiyatı ile çarpılması sonucunda aktif enerji bedeli elde edilmiş olur (URL-8).

Dağıtım bedeli ise harcama dışında elektriğin iletilmesi ile ilgili tüm masrafların toplandığı kalemdir. Dağıtım şirketi tarafından yapılan işletme ve bakım bu bedelde yer alır. Aktif enerji tüketim miktarı ile dağıtım birim fiyatının çarpılması ile elde edilir (URL-8).

Çizelge 4. 8. Mesken aboneleri için elektrik birim fiyatları

Tüketim Miktarı		**1 kWh (TL)**
Elektrik Ücreti	(a)	0.392701
Dağıtım Bedeli	(b)	0.212381
Enerji Fonu (a,%1)	(c)	0.003927
TRT Payı (a,%2)	(d)	0.007854
BTV (a,%5)	(e)	0.019635
KDV Matrahı	(f)	0.813213
KDV (f,%18)	(g)	0.146378
Elektrik Fiyatı (f+g)		**0.959591**

Vergi ve Fonlar kaleminde yer alan bedeller ise TRT payı (% 2), ETV (Elektrik Tüketim Vergisi, meskenler için % 5, ticarethaneler için % 5, ve sanayi için % 1), Enerji fonu (% 1) ve KDV'den (% 18) şeklinde yeralır. Bu bedeller hesaplanırken aktif enerji bedeli ile yüzdelikleri çarpılır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından açıklanan Ekim 2020 tarife tabloları kullanılarak elde edilen birim fiyatlar Çizelge 4.8'de verilmiştir (URL-8).

Çizelge incelendiğinde, hesaplanan birim maliyet, diğer iletim maliyetleri ve vergiler dahil olmak üzere toplam 1 kWh enerji tüketimi için olduğu anlaşılabilir. Ayrıca üretilen enerjinin meskenlerde kullanımı göz önünde tutularak hesaplamalar sadece mesken için yapılmış olup benzer işlemler ticarethane, sanayi ve aydınlatma için de yapılabilir.

Su değirmenlerinin dönüştürülmesi ile elde edilebilecek gelir, bölgeki kullanıcıların doğrudan kullanımı veya elektrik dağıtım şebekesine satışı ile farklı değerler alır. Bu çalışmamızda doğrudan kullanım amacı hedeflendiği için gelir ve karlar buna göre hesaplanmış ve Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9'da yer alan son sutun "Lisanssız Yenilenebilir Enerji Geliri" hesaplanırken Mikro sistemlerde belirli bir dereceye kadar olan kamu destekleri göz

önünde tutulmuştur. 12 Mayıs 2019 tarihi itibariyle EPDK Elektrik Piyasası Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Madde 11 (1)'e göre "10 kW'a (10 kW dahil) kadar tip proje hazırlanması uygun görülen, yenilenebilir enerji kaynağına dayalı ve kendi tüketim tesisinin bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücüne kadar, üretimi ve tüketimi aynı noktadan bağlı üretim tesisleri için başvuru ve ihtiyaç fazlası enerjinin değerlendirilmesinde kurum tarafından belirlenen usul ve esaslara bağlı olarak" enerji üretimi yapılabilir ve bu enerji kullanılabilir. Ayrıca EPDK 12 Aralık 2019 tarihli kararlarında Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 36. maddesinin ikinci fıkrası gereğince 2020 yılı için 0-250 kW aralığındaki enerji için başvuru bedeli, sistem işletim bedelinin olmayacağı bunlara ek olarak 0-10 kW aralığındaki enerji için de işletim bedelinin tahsil edilmeyeceği belirtilmiştir.

Çizelge 4. 9. Su değirmenlerinin mesken tarifesine göre gelirleri

Değirmen Adı	Potansiyel Enerji (kW)	Yıllık Enerji Miktarı (kWh)	Gelir (TL/yıl)	Lisanssız Yenilenebilir Enerji Geliri (TL/yıl)
DSR0101	3.1	20088	19276.26	3589.82
DSR0102	2.8	18144	17410.82	3242.42
DSR0104	2.2	14256	13679.93	2547.61
DSR0105	2.8	18144	17410.82	3242.42
DSR0108	3.2	20736	19898.08	3705.62
DSR0109	2.9	18792	18032.64	3222.52

Çizelge 4.9'un ikinci sutununda yer alan "Yıllık Enerji Miktarı" belirlenirken arazi çalışmaları sırasında köylüler ile yapılan roportajlar dikkate alınarak su değirmenlerinin dokuz aylık kullanımı göz önünde tutularak 270 gün üzerinden hesaplama yapılmıştır.

DSR0101 için; "Yıllık Enerji Miktarı" 270 gün, 24 saat ve potansiyel güç çarpımı ile hesaplanmıştır. Aynı çizelgede yer alan "Gelir" sutunu ise elektrik fiyatı olan 0.959591 katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. " Lisanssız Yenilenebilir Enerji

Geliri " ise EPDK tarafından onaylanan vergi, fon, ve pay hariç yeşil tarifesindeki meskenler için tek terimli orta gerilim için kullanılacak dağıtım bedeli katsayısı olan 0.178705 ile hesaplanmıştır. Aynı işlemler diğer su değirmenleri için tekrarlanmıştır.

Bu değirmenlerden hesaplanan yıllık enerji miktarları 14200 kWh ile 20800 kWh aralığında değişmektedir. Bu değirmenler bölgesel olarak bir arada kullanımı ile bu enerji miktarı arttırılabilir. Örneğin Satı Köyü'nde yer alan DSR0108 ve DSR0109 değirmenleri ard arda inşa edildikleri için enerjileri toplam enerji olarak kullanılabilir ve bu değer 39528 kWh saat olarak elde edilebilir. Bu enerjilerden elde edilecek gelirler incelendiğinde ise değerlerin 13600 TL/yıl ile 19900 TL/yıl aralığında değiştiği gözlemlenmektedir.

Yenilenebilir enerji gelirleri incelendiğinde ise en düşük değere sahip değirmen yaklaşık olarak 2547 TL/yıl geliri ile Hevsel Bahçesi'nde yer alan DSR0104 değirmeni iken, en yüksek gelire sahip değirmen ise yaklaşık olarak 3705 TL/yıl geliri ile Satı Köyü'nde yer alan DSR0108 değirmenidir. Daha önce de belirttildiği gibi Satı Köyü değirmenler tek değirmen kabul edilip toplam gelir yaklaşık olarak 6832 TL/yıl olarak elde edilebilir. Bu değirmenler elektrik enerjisi üretim amacı ile kullanılırsa ve üretici bu enerjiyi kendisi kullanmayı tercih ederse bu miktarlar ödenmez. Hatta üretilen enerji tüketilecek enerjiden fazla ise bu miktar şebeke sistemine dahil edilip satılarak gelir elde edilebilir. Buda bize, Mikro hidro sistemlere dönüştürülen tarihi su değirmenleri kullanımının yerel ekonomileri güçlendireceğini ve bu kesimde yaşayan halkın kendi enerji sistemlerinin sahibi, yöneticisi ve tüketicisi olarak güçlendireceğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda artan çevre bilinci, enerji üretim tesislerinin doğaya zarar vermeyen ve doğa şartlarına daha uygun tesisler olarak yapılabilmesinin önemini gittikçe arttırmıştır. Bundan dolayı yenilenebilir enerjiye bir yönelim olmuş ve son yıllarda enerji üretme tesislerinin çoğu hidro, güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal gibi yenilenebilir enerji tesisleri olarak kullanıma sunulmuştur. Temiz enerji ihtiyacı ve sürdürülebilir elektrik üretimi amacıyla hidroelektrik santraller, enerji talebinin karşılanmasında diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre ön plana çıkmıştır.

Özellikle mini ve mikro hidroelektrik santrallerinin kullanımı, büyük hidroelektrik santrallerine göre daha temiz, güvenilebilir ve çevreci bir enerji olmasının yanı sıra kırsal alanların gelişmesi için de fırsat oluşturmaktadır. Bundan dolayı, mini ve mikro hidroelektrik santrallerinin son yıllarda önemi ve uygulanabilirliği dünya çapında artmıştır. Son yıllarda özellikle Asya ülkelerinde ve İngiltere, İtalya gibi Avrupa ülkelerinde temiz ve ucuz alternatif enerji için mini ve mikro hidroelektrik santraller tercih edilmiştir.

Ülkemizde de elektrik üretiminde kullanabilecek zengin bir mini ve mikro hidroelektrik potansiyeli mevcuttur. Ancak bu potansiyel henüz yeterince değerlendirilememiştir. Sürekli artan nüfus ve enerji ihtiyacı düşünüldüğünde, bu potansiyelin değerlendirebileceği bütün kaynakların belirlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle farklı ülkelerde (Çin, Hindistan, Letonya, İtalya, İngiltere vb.) ve bölgelerde tarihi su yapılarının enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile kullanımı yaygınlaşmaktadır. Su yapıları tarihten bu yana medeniyetlerin ekonomik ve sosyal kalkınmasının anahtarı olmuştur. Bu bağlamda ülkemizde de tarihi su yapılarının envanterleri hazırlanıp sosyal, kültürel ve ekonomik kalkınma amacı ile kullanıma sunulabilmelidir.

Bu tez çalışması benzer bir amaç doğrultusunda hazırlanmış ve Diyarbakır ili için tarihi su değirmenlerinin konumları tespit edilip hidroelektrik enerji üretiminde kullanılması durumunda verebileceği katkı belirlenmiştir. Tarihi su değirmenlerinin

tekrar kullanıma açılması, sosyal yaşamın ve istihdamın canlanmasını sağlayabileceği ve bununla birlikte küçük değişikliklerle elektrik enerjisi üretme amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Tez çalışması için ilk olarak, Diyarbakır iline ait çalışmalar ve tarihi kaynaklar (Salnameler) incelenmiş, su değirmenlerinin yer alabileceği potansiyel konumlar belirlenmiş ve bu bilgiler ışığında arazi çalışmalarına başlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında yapılan arazi çalışmalarında;

- Diyarbakır Merkez ilçesi Sur'a bağlı Hevsel Bahçeleri ve Satı Köyü'nde sırası ile 7 ve 3 adet, Dicle İlçesine bağlı Değirmenli Köyü'nde 12 adet, Bismil ilçesine bağlı Üçtepe Köyü'nde 1 adet ve Merkez ilçesine bağlı Ambar Köyü'nde 1 adet olmak üzere toplamda 24 adet su değirmeni tespit edilmiş ve tespit edilen su değirmenlerinden yapısal olarak varlığını koruyanların koordinatları belirlenmiştir.

- Ölçüm alınacak durumda olanların tamamında ölçüm alınmış ve bu değirmenlere ait kanal boyutları, depolama hazne çapı ve su düşü yükseklikleri belirlenmiştir.

- İncelenen değirmenlerin hepsinde yapı malzemesi olarak Diyarbakır ilinde fazlaca yer alan bazalt taşının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Fakat sonradan yapılan iyileştirme çalışmalarında özellikle su kanalı yenilemelerinde beton kaplama kullanıldığı gözlemlenmiştir.

- Değirmenlerin inşa şekli incelendiğinde; Değirmenli Köyü, Satı Köyü ve Hevsel Bahçeleri'nde yer alan değirmenlerde de tespit edildiği gibi su kaynağından daha fazla faydalanabilmek için değirmenlerin ardışık olarak inşa edildikleri belirlenmiştir.

- Yapılan çalışmalarda ve tarihi kaynaklardan çark sistemleri incelendiğinde; Anadolu'da inşa edilen tarihi su değirmenlerinin çark sisteminin ahşap malzemeden yapıldığı gözlemlenmiştir. Fakat tespit edilen Değirmenli Köyü ve Satı Köyü'nde yer alan değirmenlere ait günümüze kadar ulaşabilen çarkların çelikten yapıldığı gözlemlenmiştir. Bunun ana sebepleri arasında çelik malzemesinin ahşaba göre daha dayanıklı ve imalat kolaylığının olması sayılabilir.

Su değirmenlerine ait koordinatlar belirlendikten sonra, su değirmenlerinin envanter kaydını oluşturabilmek için bulunduğu il, ilçe, yapı malzemesi ve bulunduğu ilçedeki sıralaması dikkate alınarak birer numara (kod) verilmiştir. Böylece daha sonraki ulusal ve uluslararası çalışmalarda bu kodlama rahatlıkla kullanılabilecektir.

Tez çalışması kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise pilot bölge olarak belirlenen 6 adet su değirmenin hidrolik verilerinin belirlenmesidir. Yapılan çalışmalarda;

- Satı Köyü'nde yer alan iki değirmen için su kaynağı belirlenmiş ve bu kaynak üzerinde ölçümler alınmıştır.

- Hevsel Bahçeleri'nde yer alan dört su değirmeni için ise arazi ölçümlerinden yararlanılmayıp matematiksel hidrolik analizler kullanılarak su jeti hızı hesaplanmıştır. Su jeti dört değirmen için 6 m/s ile 8 m/s arasında değişen ayrı ayrı değerler olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan su jeti hızları kullanılarak değirmenlere ait debiler $5x10^{-2}$ m^3/s ile $6x10^{-2}$ m^3/s aralığında belirlenmiştir.

Pilot bölgede yer alan değirmenlere ait hidrolik veriler belirlendikten sonra bu değirmenlerin üretebileceği potansiyel enerji hesaplanmış ve değirmenlerin yapabileceği finansal katkı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda;

- Satı Köyü'nde yer alan değirmenlerden ayrı ayrı 3.2 kW ve 2.9 kW'lık enerji, ardışık olarak inşa edildikleri için toplamda ise 6.1 kW'lık bir enerji üretebilecekleri belirlenmiştir. Hevsel Bahçelerinde yer alan dört adet su değirmenlerinde ise 2 kW ile 3.1 kW arasında enerji üretilebileceği belirlenmiştir. Hesaplanan yıllık enerji miktarlarının 14200 kWh ile 20800 kWh aralığında değiştiği belirlenmiştir.

- Yıllık enerji miktarlarına bağlı olarak finansal hesaplama yapılmış ve gelir açısından; en düşük gelire sahip değirmenin Hevsel Bahçesi'nde yer alan DSR0104 değirmeni, en yüksek gelire sahip değirmenin ise Satı Köyü'nde yer alan DSR0108 değirmeni olduğu belirlenmiştir.

Tespit edilen su değirmenlerinin yenilenme sonrası üretebileceği enerjinin kullanım ve finansal gelir açısından yeterli olduğu düşünülmektedir.

Tespit edilen su değirmenlerine ek olarak Diyarbakır ilinin farklı bölgelerine yayılmış ancak henüz envanterlenmemiş çok sayıda su değirmeni olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı bu çalışmanın devam ettirilip bütün değirmenlerin tespiti, tespit edilen su değirmenlerinin yenilenme sonrası üretebilecekleri potansiyel enerjinin belirlenmesi ve kültürel miras olarak kazandırılması için, araştırma ve geliştirmeyi destekleyen ulusal veya yerel kurumların bazı teşvikler sağlayarak çalışmaları teşvik etmesi gerekmektedir.

Su değirmenleri ve küçük ölçekli hidroelektrik santraller için inşa aşamasında, yerel iklim, rölyef ve toprak malzemesini dikkate almak önemli ve temel bir kuraldır. Özellikle elektrik üretimi için oluşturulan alt yapılarda kapasite geliştirme ve yatırım süreci iki önemli konudur.

- Su değirmenlerinin çalışma prensibini etkileyen ana elemanlarının tasarımı (özellikle su çarkı ve su alma yapısının tasarımı) ve suyun akış hızı, üretilecek enerji miktarını çok büyük ölçüde etkilemesinden dolayı kapasite geliştirme ve yatırım aşamasında dikkat edilmesi gereken bir

konudur. Ülkemizde su değirmenlerinin çoğunda kullanılan çark sistemi yatay çarklı sistemlerdir. Yapım aşamasında; yatay çarklı bir su değirmeni, dikey çarklı su değirmeninden daha maliyetlidir, fakat yatay çarklı sistemlerin en büyük avantajlarından biri düşey çarklı sistemlere göre verim oranının yüksek olmasıdır. Bir diğer avantaj ise, sistem gücünün öğütülecek malzemeye zarar vermemesi için ayarlanabilmesidir. Bundan dolayı bu bölgelerde de olası bir su değirmeni restorasyonu ve yeniden kullanımı söz konusu olduğunda yatay çark kullanılarak sisteme verilecek debi sabit tutulabilir ve ortaya çıkacak enerji miktarındaki verim arttırılabilir.

- Bunlara ek olarak, üretilen elektriğin nakil ve dağıtım hattı ağının üretim alanına yakınlığı enerji kayıplarını önleyip verimi arttırmak için önemlidir. Bundan dolayı, su değirmenlerinin hidrolik enerji üretiminde kullanılması, temiz enerjinin yanı sıra enterkonnekte şebeke bağımlılığından da kurtararak iletim tesisleri masrafları ile hatlardaki enerji kayıplarının önlenmesinde büyük katkısının olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, su değirmenlerini coğrafi özelliklere göre gruplandırarak peyzaj çalışmalarında ve planlamalarında restoran, otel, sağlıklı yaşam için besin üretim tesisi, müze gibi yeni işlevler kazandırılarak kırsal alanların sosyal ve kültürel gelişimine de katkısı sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

Abay O., Yaşar M., Baykan N.O., 2011, Türkiye'nin Mikro Su Kuvveti Potansiyelinin Belirlenmesi, 2011, II. Su Yapıları Sempozyumu - 16-18 Eylul, Diyarbakır

Acar, Ş., Bir, A., Kaçar, M., 2010. Datça'nın su ve yel değirmenleri, ***Yapı Dergisi,*** 341, 94-102.

Alashan, S., Şen, Z., Toprak, Z.F. 2016. Hydroelectric Energy Potential of Turkey: A Refined Calculation Method. ***The Arabian Journal for Science and Engineering,*** DOI 10.1007/s13369-015-1982-5.

Alashan, S., 2016. Nehir Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım (Enerji Ağacı Yöntemi) Ve Murat Nehri Örneği, , Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Ardıçlıoğlu, M., Özdin, S., 2011. Determining Agricultural Water Demand From Natural Streams Using The Entropy Concept, ***African Journal of Agricultural Research, AJAR***, 6 (6), 1330–1336.

Ardıçlıoğlu, M., Gemici, E., Özdin, S., 2011. Doğal Akarsularda Debinin Belirlenmesi, ***Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi,*** ISSN:1308-3945, 4(2):73-77.

Ardıçlıoğlu, M., Özdin, S., Gemici, E., 2013. Küçük Akarsu Debilerinin Belirlenmesinde Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması, ***Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi,*** (2013/1), 46-64.

Aykaç Z, Karakaya D, Toprak ZF, 2017***,*** Su Değirmenlerinin Hidrolik Enerji Potansiyelinin Araştırılması: Diyarbakır Örneği, 9. Ulusal Hidroloji Kongresi, Dicle Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi, 04 – 06 Ekim 2017, Diyarbakır.

Aykaç, Z, Karakaya, D, Toprak Z.F., 2018, Su Değirmenlerinin Hidrolik Enerji Potansiyelinin Araştırılması- Diyarbakır Örneği, ***DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi,*** Cilt: 9, Sayı: 1, 515 - 527, Ocak 2018.

Aytek A., ve Toprak Z.F., 2001, Fresh Water-Saltwater Distribution and Freshwater Potential of Turkey, Proc. International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment, pp 233 – 238, Istanbul – Turkey.

Balakrishnan L., 2006, Women & Mıcro-Hydro Systems, Himalayan Small Hydropower Summit (October 12-13, 2006), Dehradun.

Balkan, K., 1970. Ani'de İki Selçuklu Hamamı, ***Anatolia Dergisi***, Sayı: VII, Ankara, s. 39-57.

Bakış R., Demirbaş A., 2004, Sustainable development of small hydropower plants (SHPs), ***Energy Sources*** 26 (12): 1105-1118 OCT 2004.

Basalla, G., 1996. Teknolojinin Evrimi (Çev., C.Soydemir), Tübitak Yayınları,Ankara.

Bayazıt, M., 1974. Hidroloji Kitabı, İstanbul, Birsen Yayınevi.

Bektaşoğlu, M., 2013, Anadolu Şehrinin Su Yapıları, Aski Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, s:149

Belmont, A., 2006. La Pierre a Pain. Les Carrieres De Meules De Moulins En France, Du Moyen Age A La Revolution Industrielle, 2 Vol, Presses Universitaires de Grenoble, Paris.

Beysanoğlu, Ş., 1961. Diyarbakır coğrafyası, Şehir Matbası, İstanbul.

Beysanoğlu, Ş., 1997. Hamravat suyunun şehre getirilmesi, anıtları ve kitabeleri ile Diyarbakır tarihi Akkoyunlu'lardan Cumhuriyete kadar, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sanat Yayınları, 540-543, Diyarbakır.

Bildirici M., 2001. Historical dams of Anatolia (Turkey) . Siegburg, Cura Aquarum in Israel , 2001 (eds.: C. Ohlig, Y. Peleg, T. Tsuk), 2002, s.137-143.

Bir, A. ve Kayral, M.,1998, Osmanlı döneminde Anadolu'da kullanıldığı bilinen alttan çevirmeli su değirmenleri ve su kaldırma düzenleri. http://istanbul-universitesi.beta.dergipark.gov.tr/download/article-file/13370

Bir, A., Acar, M.Ş., Kaçar, M., 2012. Anadolu'nun Değirmenleri, YEM Yayın, İstanbul.

Birici, S., 2007. Klasik Türk Edebiyatında Asiyâ, ***Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,*** Elazığ. C: 17, Sayı: 1, Sayfa: 99.

Brun, J.P., 2004. "Archeologie Du Vin et De L'huile Dans L'empire Romain", Editions Errance, Paris.

Cengel, Y.A., Cimbala, J.M., 2006, Fluids Mechanics: Fundamentals and Application, First Edition in SI Units, McGraw-Hill Higher Education.

Ceylan, S., 2014, Kaybolmakta Olan Bir Kırsal Maddi Kültür Örneği: Su değirmenleri (Ağlasun Örneği), ***Doğu Coğrafya Dergisi***, Cilt 19, Sayı 31. s. 65-82.

Cezeri El, 1972. Kitab-ı hiyel. İstanbul, Topkapı Sarayı Arşivi & (Facsimile 1990) Olağanüstü mekanik araçların bilgisi hakkında kitap. Ankara, Kültür Bakanlığı N.1207, Bilim ve Teknoloji Dizisi N.2, 1196, Kopyası 1206, 356 s. & Hill R., The book of knowledge of ingenious mechanical devices. Holland, Reidel,

Chiu, C.L., 1989. Velocity Distribution in Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 576-594.

Chiu, C.L., Said, C.A., 1995. Modeling of Maximum Velocity in Open-Channel Flow, ***Journal of Hydraulic Engineering, ASCE***, Vol. 121, No. 1, pp. 26-34.

CRT/N, 014Centre for Rural Technology, Improved Water Mill in Nepal- A Status Review, 2014 , Nepal, Bhanimandal, Lalitpur- January.

CII , 2004, Godrej GBC Publication , Small Hydro – Potential & Prospects, RES - Fact Sheet - No.2.

Çelikkaya, A., 2018, Dünyada Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Sağlanan Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi, ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*** / Cilt: 20, Sayı: 1, Haziran 2018, 357-384.

Çengel, M.A., 2019, Safranbolu Köylerindeki Tarihi Su Değirmenlerinin Koruma Sorunları ve Akkışla, Hızar, Hacı Abdullah Değirmenlerinin Sürdürülebilirliği için Restorasyon Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Çorapçıoğlu, G.Ö., 2015. Doğu Karadeniz Örneğinde Su Değirmenlerinin Belgelenmesi ve Korunması Konusunda Bir Yöntem Araştırması, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Çorapçıoğlu, G.Ö., Binan, D.U., 2017. Su Değirmenlerine Yönelik Bir Belgeleme ve Koruma Yöntemi, ***Megaron:*** 12(2):228-248.

Danışman, G., 1997. A Survey of turbine-type water-mills in the Bolu Region of the Central Anatolian Plateau, ***ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara,*** 1/3, 17-37.

Demirhan, A.Y., 2006, *K*üçük hidroelektrik santrallerinde türbin tasarımı, Yüksek Lisansa tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Diyarbakır ÇED Raporu, 2016, Diyarbakır İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu, Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü.

DSİ, 2013, Gap Raporu.

DSİ, 2018, Su ve DSİ 1954-2018 raporu.

Durmuşoğlu, S., 2016. 21. Yüzyılın enerji Denklemi ve Türkiye, ***İstanbul ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,*** Yıl:15, Sayı:29/2, 283-303.

Dündar, O., Polat, M., Özölçer, İ., Tanış, M., Adal Dündar, R. ve Sekmen, F. , 2017. Water Mills and Their Technical Specifications-Zonguldak Province. Uluslararası Katılımlı 6.Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu Bildiri Kitapçığı, Trabzon, 2-4 Kasım.

Dündar, R., Dündar, O., Polat, M., Tanış, M., Özölçer, İ., 2019, The Socıo-Economıc Analysıs Of Usıng Hıstorıcal Water Mılls For Electrıcıty Productıon: Zonguldak Case, ***Globalization, Poverty, Inequality, & Sustainability,*** IJOPEC Publication No: 2019/16, ISBN: 978-1-912503-76-6

Eminoğlu, M., 2012, Kezer Çayı'nın Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Engin, N., 2013, Nükleer Enerji Gelecekteki Enerji İhtiyacına Çözüm Olabilir mi?, ***Marmara Coğrafya Dergisi***, Sayı 27, Ocak-2013, S.575-591. http://www.marmaracografya.com.

Erdem, M., 2006, Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tasarım Ölçütleri, Yüksek Lisans Tezi**,** Pamukkale Üniversitesi**,** Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Ersoy, O., 1963. 18. ve 19. Yüzyıllarda Türkiye'de Kağıt, Ankara Üniversitesi Dil Tarih Coğrafya Fakültesi, Ankara.

ETKB, 2012, "Hidroelektrik Enerjisi Nedir?". http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx

Eurelectric, 1997, Study on the importance of harnessing the hydropower resources of theworld,Union of the Electric Industry (Eurelectric), Hydro Power and other Renewable Energies Study Committee, Brussels

Eyice, S., 1997. Hamam, TDV İslam Ansiklopedisi, İstanbul, s.402-434.

Franco, W., Ferraresi, C., Revelli, R., 2019, Power Transmission and Mechanisms of an Old Water Mill, G. ***Carbone and A. Gasparetto (Eds.): IFToMM ITALY,*** MMS 68, pp. 29–37.

Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ., Evcimen, T.U., 2012, Türkiye'de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış, ***TMH***-471-2012/1.

Gürbüz, A.,Yılmaz, O., 2007, Sustainable Energy Supply Studies In Turkey and The Role of Eie, International Congress On River Basin Management 333-345, 22 to 24 March, 2007 in Antalya.

Gürses, R. ve Taşkın, E. B., 2007, Anadolu'da Kaybolmakta Olan Bir Maddi Kültür Unsuru: Su Değirmenleri (Beypazarı Örneği). Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi Bildirileri (38: 2007: Ankara) Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Yayınları: 4/2) ISBN 978-975-16-2103-0

Halifeoğlu, F.M., Toprak, Z.F., Kavak, O., 2011, Tarihi Diyarbakır Köprülerinin Mimari, Hidrolojik ve Jeolojik Açıdan Değerlendirilmesi, Su Yapıları Sempozyumu, September 16 – 18, 2011, Diyarbakir – Turkey. Bildiri Kitabı, pp. 25 – 42, II.

Halifeoğlu FM, Toprak ZF, and Kavak O., 2016, "Architectural and Hydrological Features of The Historical Basalt Bridges in Diyarbakır-Turkey" Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics, 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-57-5 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book 1 Vol. 3, 51-62 pp

Halifeoglu M, Toprak ZF, Kavak O., 2019, The Ancient Bridges Detected in Diyarbakir - Turkey, Baltic Conference Series (4. BCS), Water Technology, 13 -16 May, 2019, Stockholm, Sweden and Helsinki, Finland.

Hassan, A.Y. ve Hill, D.R., 1986. Islamic Technology, s.36-59, BAS Printers Ltd., Great Britain.

Hassani, T.S., 2007. 1001 Inventions Muslim heritage in Our World, s.114-119, FSTC Ltd., UK.

Hazen, T. R., 1996. Millstone Dressing, Part 1.16-17 , Part 2.8-9, Part 3. 11.

Hodgson, M.E., Piovan, S.E., 2019, Modelling and Mapping Elusive Locations of Historic Water-Powered Grist Mills, 29th International Cartographic Conference (ICC 2019), 15–20 July 2019, Tokyo, Japan | https://doi.org/10.5194/ica-abs-1-115-2019

IEA, 2019. Market Analysis and Forecasts to 2024 Renewables 2019. İstanbul –4 Aralık.

IHA, 2018. International Hydropower Association, Hydropower Status Report.

Irimie,C. Bucur,C. Ruşdea,H., 1981. Istorie A Civilizatiei Populare Din Romania, ***Consiliul Culturii Şi Educatiei Socialiste***, Sibiu

İzgöer, A.Z., 1999, Diyarbakır salnameleri 1286-1323 (1869-1905). 5 cilt takım, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Yayınları .

Jiménez, F.J., González, J.A., 2018, Watermills: The Origin of the Use of Renewable Hydraulic Energy in Spain, ***Industrıal Archaeology Revıew***, 2018 VOL. 40, NO. 1, 2–10.
Kankal, A., Cihan, A., 2016. Dünden bugüne Diyarbakır, Akademik Kitaplar, ISBN 978-605-9786-10-2, 23, İstanbul, s. 186.

Karaca, S., 2018, Trabzon Ağasar Deresi Üzerinde Sayvançatak Köyü-Karadeniz Arasında Bulunan Su Değirmenlerini Koruma Projesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karadoğan, S., Alökmen, M., Buluş, K., 2015. Diyarbakır Eski Kent Yerleşmesinde Tarihi Dönemler Boyunca Suyun Temini Ve Kaynakları, Taşınması, Dağıtımı ve Kullanımına İlişkin Yapılar, Kent İçi ve Kent Civarı (Hevsel Bahçeleri) Kullanım Sistemine Ait Tespitler. Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi, Diyarbakır Kalesi ve Hevsel Bahçeleri Kültürel Peyzajı, ***Alan Yönetimi Başkanlığı Yayınları:*** 4, 167-182, Diyarbakır.

Karadoğan, S., Kuzucuoğlu, C., 2017, Diyarbakır Hevsel Bahçeleri ve Dicle Nehri: Arazi Değişimlerinin Jeomorfolojik Kayıtları, ***Türkiye Jeoloji Bülteni***, Cilt 60, Sayı 1, Ocak 2017. 63-76.

Karadoğan, S., 2018, River Landscape around Diyarbakır City, formed geomorphological Land forms and related Issues concerning this Ecosystems conservation, Les jardns de l'Hevsel, parads ntranqulles, https://books.openedton.org/feagd/2275

Karakaya, D, Aykaç, Z, Toprak, Z.F., 2017a, Hydraulic and Hydrological Investigation on the Ancient Fountains of Hz Suleyman Mosque, IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment, March 22 – 24, 2017, Çesme – Izmir – Turkey.

Karakaya D, Aykaç Z, Toprak ZF., 2017b, Suriçi'nde yer alan Tarihi Hz. Süleyman Camii çeşmelerinin hidrolik ve hidrolojik özellikleri, ***DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi***, SUR Özel Sayısı, Cilt: 8, Sayı: 2, 403-412, 3-9, Mayıs 2017.

Karal, E.Z., 1976. Osmanlı Tarihi, Türk Tarih Kurumu Yayınları,cVI, Ankara.

Kavak O, Halifeoğlu FM, and Toprak ZF., 2016a, Architectural and Hydrological Features of the Historical Limestone bridges in Diyarbakir, Turkey. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering. Dec. 2016, Vol. 5 Iss. 4, PP. 177-188.

Kavak O, Halifeoğlu FM, and Toprak ZF., 2016b, Features of the Historical Limestone bridges in Diyarbakir-Turkey. International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2016), July 23 – 26, 2016, Shanghai – China.

Kaygusuz, K., 1999, Hydropower potential in Turkey, ***Energy Sources*** 21 (7): 581-588 AUG-SEP 1999.

Kaygusuz, K.,2001, Hydropower and biomass as renewable energy sources in Turkey, ***Energy Sources*** 23 (9): 775-799 OCT 2001.

Keçeli, V., 2016, Tarihi Değirmen Yapılarının Endüstriyel Miras olarak Koruma Sorunları ve Öneriler: Çeşme Yarımadası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kılıç, R., Urgun, N., 2016, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelmenin Ülke Ekonomisine Etkileri ve Türkiye'nin Enerjideki Dışa Bağımlılığının Azaltılmasına Yönelik Katkıları, ***Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,(***47),148-166.

Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ., 2018. Dünyada ve Türkiye de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirlmesi. ***Mühendis ve Makina***, cilt 59, sayı 692, sayfa 84-112.

Koç, C., Kejanlı D.T.,2018. Geçmişten Günümüze Diyarbakır'da Su Yapılarının Gelişimi, ***DÜMF Mühendislik*** Dergisi 9:2: 983-998.

Köroğlu, K., 1998, Üçtepe I- Yeni Kazı ve Yüzey Bulguları Işığında Diyarbakır/ Üçtepe Ve Çevresinin Yeni Asur Tarihi Coğrafyası, Türk Tarih Kutumu Basımevi, Ankara.

Kurucu A.A., 2016, Yenilebilir Enerji Örneği Üzerinden Ekolojik Modernleşme Kuramı Tartışması, ***Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi***.

Landels, J.G., 1996. Eski Yunan ve Roma'da Mühendislik, Tübitak Yayınları.

Lavryk O., 2018 Water Mills' Role in Transformation of Valley-river Landscapes of the Right-Bank Ukraine, РОЗДІЛ І. Загальна теоретична, фізична та конструктивна географія. 10 (383), s. 26-32

Layiktez, C.. 1998. Ortaçağın Aydınlığı, Tukan Yayınları, İstanbul.

Lazdane, L., 2011. The Historical Development of Watermills and small-scale Hydroelectric Power Plants Landscape in Latvia, in Researchfor Rural Development 20II. Annual 17th International Scientific Conference Proceedings. Vol. 2: 200-206. Latvia, Jelgava: Latvia Utiiversity of Agriculture.

Lazdane, L., 2013, Watermıll And Small-Scale Hydroelectrıc Power Plant Landscapes Assessed Accordıng To Ecologıcal Aspects, ***Mokslas - Lıetuvos Ateıtıs Scıence -*** Future Of Lıthuanıa, ISSN 2029-2341 print / ISSN 2029-2252 online, 2013 5(3): 266-274.

Lewis, M.J.T., 2000, Theoretical hydraulics, automata and water clocks' in Wikander (ed.), Handbook of Ancient Water Technology (Technology and Change in History 2). Leiden, Boston, Koln: 343-70.

Maşalı, D., 2006. Boyabat'ın Geleneksel Mimarisinde Endüstri Yapıları: Değirmenler ve Şamlılar Çeltik Fabrikası . Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.

Medioli, A., Özkan, S., Plunz, R., 1997. The grain cycle and a windmill at a village on the Aegean, ***ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 1/3 ,39-62.

Moritz, L.A., 1958, Grain-mills and Flour in Classical Antiquity. Oxford.

Müller, G., Kauppert, K., 2002, Old watermills Britain's new source of energy?, ***Proceedings of ICE,*** Civil Engineering 150 November 2002 Pages 178–186 Paper 12738.

Müller, G., Kauppert, K., 2004, Performance characteristics of water wheels, ***Journal of Hydraulic Research,*** Publication details, including instructions for authors and subscription information: http://www.tandfonline.com/loi/tjhr20

Ozan, C., 2018, Anadolu'daki Tarihi Su Yapıları ve Hitit Dönemi Karakuyu Barajı'nın Hidrolik Açıdan İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Ögel,, B.1988, İslâmiyet'ten Önce Türk Kültür Tarihi. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları: 89.

Önge, Y., 1997. Türk Mimarisinde Selçuklu Ve Osmanlı Dönemlerinde Su Yapıları, Ankara

Özbay, E., Gençoğlu, M.T., 2009. Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Diyarbakır, 108-115.

Özcan, R., 2016. Arşiv Belgeleri Diliyle Su Değirmenleri (Asiyab). ***OTAM,*** 40/Güz 2016, 195-203.

Özdemir, M.T., Dağhan, İ.H., Orhan, A., Cebeci, M., 2007. Türkiye'nin Enerji Politikasında Küçük ve Çok Küçük Hidroelektrik Santrallerin Yeri Ve Önemi, 38.Uluslararası Asya Ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi 10-15.09.2007 Ankara / Türkiye Sayfa 1135.

Öziş, Ü., 1999. Historical dams in Turkey. Ankara, Turkish National Committee of International Commission on Large Dams (TRCOLD), 100 s.

Öziş, Ü., Arısoy, Y., Alkan, A., Özdemir, Y., 2008. Türkiye'de Tarihi Su Yapılarının Evrensel Önemi, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, 20-22 Mart 2008. Ankara.

Özkök, V., 2006, Hidroelektrik Potansiyel Belirleme Metotları ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk, H.K., 2004, Present status and future prospects of hydroelectric energy in Turkey, ***Energy Sources*** 26 (9): 829-840 JUL 16 2004

Peker, S.H., 2014, Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliği Ve Ölçülmesi: Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliği Endeksine Yönelik Bir Uygulama, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Punys, P., Kvaraciejus, A., Dumbrauskas, A., Silinis, L., Popa, B., 2019, .An assessment of Micro-Hydropower Potential at Historic Watermill, Weir, and Non-Powered Dam Sites in Selected EU Countries. ***Renewable energy*** 133 (2019), 1108- 1123.

Pujol, T., Sola, J., Montoro, L., Pelegri, M., 2010, Hydraulic performance of an ancient Spanish watermill, ***Renewable Energy,*** 35 (2010) 387–396.

Quaranta, E., Revelli, R., 2018, Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations, ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** 97 (2018) 414–427

Rantz, S.E., 1982a-b. Measurement and Computation of Streamflow, Vol. 1-2, Measurement of Stage and Discharge. ***Geological Survey Water-Supply Paper*** 2175, U.S. GPO, Washington, DC.

Reynolds, T.S., 1983. Stronger Than A Hundred Man – A History of the Vertical Water Wheel, s:324-341, Johns Hopkins Universiry Press, London.

Rijal K (2000), Mini- and Micro- Hydro Power Development: Status, Issues and Strategies for the Hindu Kush Himalayan Region, ***A Journal of Engineering (Publication of NESS***), Vol. 9. Institute of Engineering, Kathmandu, Nepal.

Serencam, U., 2019, Küçük Hidrolik Santrallerde Kapasite Faktör Analizi ve Giresun Özelinde Bir Uygulama, ***GÜFBED/GUSTIJ (2019)*** 9 (4): 691-698 , DOI: 10.17714/gumusfenbil.552125

Sica, C., Dimitrijevic, A., 2019, Water Mılls In Basılıcata Regıon – a Hertıage To Be Preserved, 47th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, 2019.

Singh, S.P., Goel, A.K., Vatsa, D. K., 2001, Evaluation of water mills as a source of renewable energy, ***Energy sources,*** 23: 235-243.

Soyel, N.T. ve Ahunbay, Z., 2011. Kuzey Kıbrıs'taki tarihi su değirmenlerinin koruma ve yeniden kullanım önerileri, ***İTÜ Dergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım,*** 10:1, 105-115.

Sözen, M., 1971. Diyarbakır'da Türk Mimarisi, İstanbul.

Süme, V., Koçyiğit, N., 2012. The Determination Of Energy Production Potential of Traditional Water Mills in The District of Kalkandere in Turkey, ***Energy Education Science and Technology Part A: Energy science and Research,*** Volume Special Issue: 661-666.

Süme, V., 2014, Salarha Vadisi Civarındaki Geleneksel Su değirmenlerinin Enerji Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi, ***Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergis***i, Sayı 01, Cilt 0. www.hmfdergisi.com, İstanbul.

Süme, V., 2018, Micro Water Structures as A Renewable Energy Source: A Case Study in Maçka Trabzon in Turkey, ***GÜFBED/GUSTIJ***, 8(2): 325-334. DOI: 10.177714.

Süme V., 2019, Derepazarı Civarındaki Geleneksel Su Değirmenlerinin (GSD), Enerji Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi, ***Türk Hidrolik Dergisi*** Cilt 3, Sayı 1, Sayfa 31-36.

Sümer, B. M., Bayazıt M., Ünal, İ.,2015, Hidrolik, Birsen Yayınevi, Ankara.

Szabo, Z., Sallay, A., 2019, Assets of Water Mills in Hungary, ***Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning,*** Vol. 6, No. 1 [2019], Art. 18.

Şekerdağ, N., 1993, Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Problemleri, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ.

Şen, Z., 2006, Su'ya Sahip Cıkmalıyız, http://www.suvakfi.org.tr/zsen_tgrt.asp

TDK ,2005, Türkçe Sözlük, 484.

TEİAŞ, 2016. Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2016 Yılı İstatistikleri

TEİAŞ, 2020. Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2020 Yılı İstatistikleri

Toprak Z.F., 2011, Su Yapıları Çalıştayı (Work-Shop on Water Structures), İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi (The Chamber of Civil Engineering, Turkey (TMMOB), 23 April 2011, Sealife Hotel-Antalya, Turkey.

Toprak, Z.F., Eriş, E., 2011. Biriktirmesiz Hidroelektrik Santraller: Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Durumları, II. Su Yapıları Sempozyumu, 16-18 Eylül 2011, Diyarbakır, 89-95.

Toprak Z.F., 2014, Türkiye'de ve Dünyada Hidrolik Enerji Potansiyeli, ***Mimar ve Mühendis Grubu Dergisi,*** 75 (Ocak-Şubat), 60-64.

Toprak ZF., Halifeoglu M., Kavak O., 2017, An investıgatıon on ancient bridges located in Diyarbakır province, WMESS 2017, 11 – 15 september 2017, Prague, Czech Republic.

Tosun Soyel, N., 2009. Kuzey Kıbrıs"taki Tarihi Su Değirmenleri ve Kırsal Peyzajın Parçası Olarak Korunmaları İçin Öneriler, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tuncer, O.C., 1999. Diyarbakır Evleri, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sanat Yayınları, Diyarbakır.
Türkiye Proje Grubu, Türkiye 31 Mart 2015 Sistem çökmesi Raporu, 21 Eylül 2015

Tütüncü, Z.Ö., 2016, Burdur Kurna Çayı Çevresi Geleneksel Su Değirmeni Yapıları, Kabacalı Değirmeni Koruma Sorunları Ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL-1: http://www.iea.lht.se/sed/L1_03 (Erişim Tarihi: 31.05.2020)

URL-2: Demirci, E., Şenlik, İ., & Atalay, T. Hidroelektrik enerji üretimi için bir uygulama çalışması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, available online at: www. emo. org. tr:/ekler/65f16a07047 ae1c_ek. doc. (Erişim Tarihi: 30.07.2019)

URL-3: Kurtuluş A.B., Yılmaz, E., Atmaca, M., Diyarbakır İlinin Enerji Durumunun İncelenmesi https://www.researchgate.net/publication/273823481_Analyzing_of_the_Energy_Situation_of_Diyarbakir (Erişim Tarihi: 30.07.2019)

URL-4: https://vanedremit.bel.tr/ilce-4-menua-samran-kanali.html (Erişim Tarihi: 05.07.2020)

URL-5:www.diyarbakir.gov.trdiyarbakir-tarihi (Erişim Tarihi: 31.05.2020)

URL-6: www.dpt.gov.tr/bgyu/seg/iller2003.html (Erişim Tarihi: 30.07.2019)

URL-7:Elektrik İstatistikleri (2019) https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri (Erişim Tarihi: 25.01.2019)

URL-8: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari

Versaci, A., Cardaci, A., Fauzia, L.R., 2016, Recovery and conservation of old water mills in Central Sicily, ***Procedia - Social and Behavioral Sciences*** 225 (2016) 15 – 26.

Vitruvius, 2005. Mimarlık üzerine on kitap (4). (S. Güven, Çev.). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları.

Water Measurement Manual, 2001. A Water Resource Technical Publication, U.S. Department of the Interior, Washington, DC 20402.

Wikander, Ö., 2000, "The water-mill" in Wikander (ed.), Handbook of Ancient Water Technology (Technology and Change in History 2). Leiden, Boston, Koln: 371- 400

Yeşilbaş, E., 2007. Diyarbakır'da Su Mimarisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Konya

Yılmaz, M., 2010. Aydın İli Tarihi Su Yapıları, Yüksek lisans Tezi, Selçuklu Üniversitesi Sanat Tarihi Anabilim Dalı.

Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, ***Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi,*** 4(2), 33-54.

Yılmaz, E.A. ve Öziç H.C., 2018. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri-Renewable Energy Potential and Future Aims of Turkey. ***Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi,*** 8(3), 525-535.

Yılmaz, G. ve Öztürkmen, B.S., 2018. GAP Bölgesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri. ***Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi.*** 03. p. 52-58.

Yiğit, A.. 2007. XIV-XVI. yüzyıllarda Menteşe Livasında Değirmenler, ***M.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (İlke),*** Muğla, 18, 97-149.

Zimny, J., Michalak, P., Bielik, S., Szczotka, K., 2013, Direction in Development of Hydropower in the World, in Europe and Poland in the Period 1995-2011. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 21 (2013) 117-130