



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İÇMESUYU ŞEBEKELERİNDEN ENERJİ ELDE EDİLMESİNDE
CBS KULLANIMI; TRABZON-KARAKAYA ÖRNEĞİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali KERİM

**Danışman
Doç. Dr. Veli SÜME**

**RİZE
2022**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Veli SÜME danışmanlığında, Ali KERİM tarafından hazırlanan *İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesinde CBS Kullanımı; Trabzon-Karakaya Örneği* adlı bu tez çalışması, 07.10.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan :	Prof. Dr. Ömer YÜKSEK	
Üye :	Doç. Dr. Veli SÜME	
Üye :	Doç. Dr. İlker USTABAŞ	

ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesinde CBS Kullanımı; Trabzon-Karakaya Örneği” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

07 /10/2022

Ali KERİM

ÖN SÖZ

“İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesinde CBS Kullanımı; Trabzon-Karakaya Örneği” adlı çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı su kaynaklı elektrik enerjisi üretebilmenin farklı yollarından biri sunulmaya çalışılmıştır. İçmesuyu şebekelerinde var olan potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye ve kinetik enerjiyi de mekanik enerjiye dönüştürmek suretiyle elektrik enerjisi üretme amacı güdülmüş ve bu amaçla hidrolik verilerin değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılmıştır.

Bu Yüksek Lisans tezimin danışmanlığını üstlenen, teşvik edici yönetimi ve olumlu eleştiriler sunan hocam, Sayın Doç. Dr. Veli SÜME’ye ve yine tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen CBS konusunda yol gösteren değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Ali Erdem ÖZÇELİK’e yön gösterici ve olumlu eleştirileri ile tezin olgunlaşmasına katkı sunan jüri üyelerimden Sayın Prof. Dr. Ömer YÜKSEK, Doç. Dr. İlker USTABAŞ ve yedek jüri üyelerine öncelikle teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca öğrenimim süresi boyunca, özverili bir şekilde beni destekleyen aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ali KERİM

2022/RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Literatür Özeti.....	3
1.2. Hidroelektrik Enerji ve Hidrolik Türbinler.....	7
1.2.1. Hidroelektrik Enerji	7
1.2.2. Hidrolik Türbinler.....	9
1.2.2.1. Hidrolik Türbinlerin Tarihsel Gelişimi	10
1.2.2.2. Hidrolik Türbinlerin Sınıflandırılması	12
1.2.3. Hidroelektrik Sistemlerde Kullanılan Türbinler	13
1.2.3.1. Reaksiyon (Tepki) Tipi Türbinler	13
1.2.3.1.1. Francis Türbini	13
1.2.3.1.2. Kaplan Türbini.....	14
1.2.3.2. Aksiyon Tipi (Etki) Türbinler	15
1.2.3.2.1. Pelton Türbini.....	15
1.2.3.2.2. Turgo Türbini	16
1.2.3.2.3. Banki (Cross-Flow) Türbini	17
1.2.4. Hidroelektrik Sistemlerde Türbin Seçim Kriterleri	19
1.2.4.1. Düşü.....	19
1.2.4.2. Debi	20
1.2.4.3. Özgül Hız.....	20

1.3. Su Dağıtım Şebekeleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	22
1.3.1. İçmesuyu Dağıtım Sistemleri.....	22
1.3.1.1. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Basınç Düşürücü Vanalar	24
1.3.1.2. Su Dağıtım Hatlarında Elektrik Enerjisi Üretimi	26
1.3.2. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	26
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	30
2.1. Çalışma Alanı	30
2.2. Yöntem.....	33
2.2.1. Türbin Seçim Kriterleri.....	33
2.2.2. İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde CBS Kullanımı	38
2.3. Bulgular	41
2.3.1. Şebeke Hattında Türbin Seçimi	41
2.3.2. CBS İle Şebeke Hattının Değerlendirilmesi	49
3. TARTIŞMA VE SONUÇ	54
KAYNAKÇA.....	56

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Türü : Tezli Yüksek Lisans

Danışman : Doç. Dr. Veli SÜME

Hazırlayan : Ali KERİM

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 59

ÖZET

İÇMESUYU ŞEBEKELERİNDEN ENERJİ ELDE EDİLMESİNDE CBS KULLANIMI; TRABZON-KARAKAYA ÖRNEĞİ

Su, canlılar için vazgeçilmez bir yaşam kaynağıdır. İnsanoğlu tarih boyunca yerleşim yerlerini su kaynağının yakınına kurmaya çalışmıştır. Suyu uzak olduklarında veya suyun yetersiz kaldığı durumlarda çeşitli yöntemlerle suyu yaşam alanlarına taşımışlardır. Günümüzde içmesuyu şebeke hatlarıyla beraber modern tekniklerle evlere kadar su taşınabilmektedir. Taşıma işlemi için boru hatlarının güzergâhları uygun yerlerden geçirilmesi gerekir. Bu nedenle CBS ile altlıklar oluşturularak içmesuyu tasarımı diğer altyapı hizmetleri (kanalizasyon, doğalgaz, elektrik vs.) ile beraber enerji elde edilmesi gibi konular uyumlu bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Elektrik enerjisi, su kadar olmasa da hayatımızın olmazsa olmazları arasında önemli bir yere sahiptir ve ulaşım, aydınlatma, ısınma, soğutma vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple her ülke yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak çeşitli üretme yöntemlerini araştırmakta, geliştirmekte ve kullanmaktadır.

Tez çalışmasında, Trabzon ili Maçka ilçesi Armağan Köyü'nde yer alan mevcut su dağıtım şebekesi proje verileri değiştirilmeden, türbin seçim kriterleri ile türbin seçimi yapılmıştır. Araştırma sonucu yapılan hesaplamalar neticesinde Basınç Kırıcı Vanalar (BKV) yerine Pelton Türbini kullanılarak 84,12 kW'lık elektrik üretilebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca sorgulama, tematik harita gibi CBS'nin fonksiyonları kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, İçmesuyu Şebekesi, Pelton Türbin, Elektrik Üretimi, CBS.

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Department of Civil Engineering
Thesis Type : Master with Thesis
Supervisor : Assoc. Dr. Veli SUME
Author : Ali KERİM
Year : 2022
Pages : 59

ABSTRACT

**USE OF GIS IN OBTAINING ENERGY FROM DRINKING WATER
NETWORKS; TRABZON-KARAKAYA CASE**

Water is an indispensable source of life for living things. Throughout history, human beings have tried to establish settlements close to the water source. When they were far from water or when water was insufficient, they carried water to their habitats with various methods. Today, with drinking water network lines, water can be transported to homes with modern techniques. For the transport process, the routes of the pipelines must be passed through the appropriate places. For this reason, by creating bases with GIS (Geographical Information Systems), drinking water design and other infrastructure services (sewage, natural gas, electricity, etc.) together with energy acquisition issues can be carried out harmoniously.

Electrical energy, although not as much as water, has an important place among the sine qua non of our lives and is used in many areas such as transportation, lighting, heating, cooling, etc. For this reason, each country is researching, developing and using various production methods using renewable energy sources.

In the thesis study, turbine selection criteria and turbine selection were made without changing the existing water distribution network project data in Armağan Village of Maçka district of Trabzon province. As a result of the calculations made as a result of the research, it was revealed that 84.12 kW of electricity could be produced by using the Pelton Turbine instead of the Pressure Breaking Valves (BKV). In addition, functions of GIS such as inquiry, thematic map were used.

Keywords: Renewable Energy, Drinking Water Network, Pelton Turbine, Electricity Generation, GIS.

KISALTMALAR

BKV	: Basınç Kırıcı Vana
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GIS	: Geographical Information Systems
PAT	: Türbin Pomba (Pump as Turbine)
TİSKİ	: Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi
D	: Boru çapı (m)
g	: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)
H_0	: Net düşü (m)
H_g	: Bürüt düşü (m)
L	: Boru boyu (m)
n	: Türbinin anma hızı (dev/dk)
n_j	: Jeneratörün anma hızı (dev/dk)
P_0	: Brüt güç (W)
Q	: Suyun debisi (m^3/s)
V	: Suyun hızı (m^2/s)
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
η	: Verimlilik
ρ	: Suyun yoğunluğu ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Türbinlerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması	12
Tablo 2. Dünyanın Su Bütçesi	22
Tablo 3. Su kaynaklarının şematik gösterimi.....	22
Tablo 4. Projeye ait şebekenin hidrolik hesap tablosu	34
Tablo 5. Özgül hızı (n_s) göre türbin tipleri	37
Tablo 6. Özgül hızı (n_s) göre türbin tipleri	37
Tablo 7. Özgül hızı (n_s) göre türbin tipleri	37
Tablo 8. Özgül hızı (n_s) göre türbin tipleri	37
Tablo 9. Türbinlerin verimlilikleri	37
Tablo 10. Hidroelektrik tesislerde kullanılan türbin ve jeneratörlerin tipleri	38
Tablo 11. Düşü ve Debi değerlerine göre belirlenen türbinler.....	41
Tablo 12. Türbin seçimi için hesaplanan özgül hızlar	42
Tablo 13. n_s eşitlikleri (4, 5, 6, 7 ve 8) ile seçilebilecek türbinler	43
Tablo 14. Türbin ağırlıkları ve seçilebilecek türbin.....	45
Tablo 15. BKV noktalarındaki Net Güç değerleri	46
Tablo 16. BKV'lerin bulunduğu yüzeylerin eğim değerlerinin yüzdeleri	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Su Döngüsü	8
Şekil 2. Hidroelektrik enerji üretimi.....	8
Şekil 3. Bir hidroelektrik tesiste toplam güç girişi çıkışı ve kayıplar.....	9
Şekil 4. İlk su makinaları	10
Şekil 5. İlkel su türbinleri	11
Şekil 6. Francis türbini ve çarkı.....	14
Şekil 7. Kaplan türbin çarkı ve çalışma prensibi	15
Şekil 8. Pelton türbini ve Pelton düzesi basit prensip şeması.....	16
Şekil 9. Pelton türbin çarkı ve çalışma ilkesi.....	16
Şekil 10. Turgo türbini ve kepçesi.....	17
Şekil 11. Banki türbini ve parçaları	18
Şekil 12. Net-Brüt düşülerin şematik gösterimi	20
Şekil 13. Net düşü miktarına bağlı n_s değerleri	21
Şekil 14. (a) Cazibeli isale hattı ve (b) Terfilisale hattı şematik gösterimi	24
Şekil 15. Basınç kırıcı vana	25
Şekil 16. Bir şebeke hattına yerleştirilmiş basınç kırıcı vana.....	25
Şekil 17. CBS Bileşenleri	27
Şekil 18. CBS Katmansal yapısı.....	28
Şekil 19. Çalışma alanının şehir merkezine uzaklığını gösteren Google Earth uydugörüntüsü	31
Şekil 20. Plandaki BKV dağılımları ve 386 nolu düğüm noktası (BKV-3).....	32
Şekil 21. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri	33
Şekil 22. ArcGIS'te BKV noktalarına ait plan verisi	39
Şekil 23. ArcGIS'te BKV noktalarına ait öznetelik tablosu	40
Şekil 24. Proje ve hesaplanan parametrelerle net gücün ilişkisi.....	48
Şekil 25. Çalışma alanına ait DEM verisi.....	49
Şekil 26. Eğim analizi.....	50
Şekil 27. BKV noktalarındaki Net Güç dağılımı.....	52
Şekil 28. BKV noktalarındaki proje ve hesaplanan parametrelerle grafik oluşturma	53

GİRİŞ

Dünyada enerji sorununun yanında artan maliyetler, sanayileşen ve sanayileşmekte olan ülkeleri mal üretiminde zor durumda bırakmaktadır. Enerji maliyetlerinin artırmasının yanında siyasi olaylar da ülkeleri yenilebilir enerji kaynaklarıyla enerji üretimi arayışına itmiştir. Son olarak, 2022 Ukrayna-Rusya savaşı bu duruma örnek olarak verilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, kentsel veya kırsal alanların enerji talebini karşılamak için az maliyetli, temiz, kurulumu kolay ve güvenilir enerji sağlar. Dünyada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en verimli elektrik enerjisi kaynağı sudur ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Su dağıtım şebekelerinde basınç kırıcı vanaların (BKV) veya maslakların yerine su türbinlerinin kullanılması, bu yolla enerji elde edilmesi ve ayrıca su kayıplarının azaltılması düşüncesi son yıllarda araştırma konusu olmuştur. Böylelikle BKV'ler enerjiyi dağıtarak basıncı azaltırken, hidrolik türbinler bunların görevlerini üstlenmiş olacak yani su şebekesinde basıncı kırarken aynı zamanda da elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Küçük hidroelektrik tesislerinin su temini sistemlerinde kullanılması düşük maliyetli olması nedeniyle de tercih nedenleri arasına girecektir.

Su dağıtım şebekelerinde BKV'ler yerine kullanılan su türbinlerinin çalışma prensibi temelde suyun potansiyel enerjisini kinetik enerjiye ve kinetik enerjiyi de mekanik enerjiye dönüştürerek türbinin şaftıyla jeneratöre aktarır. Şaft ise jeneratör milini döndürerek elektrik enerjisi üretir. Bu enerji elektrik şebekesine bağlanabilir veya depolanabilir.

Kentlerin hızla büyümesi altyapı sorunlarını beraberinde getirmiştir. Bu durum şehir altyapısının klasik yöntemlerle yönetilmesini zorlaştırmıştır. Altyapı sistemleri, çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından farklı yöntemlerle yapıldığından ortak bir standardizasyon yoktur. Altyapı hatlarının uzunluğu düşünüldüğünde özellikle büyük şehirlerde karmaşık bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum zamanla klasik yöntemlerin yerine, çağımız teknolojisine uygun, hızlı ve etkin olarak yönetilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bundan dolayı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin kullanılması önemli bir konu haline gelmiştir. Şehir altyapılarının belirli bir bilgi

sistemi ile modellenmesi ve yönetilmesi şehirlerin sürdürülebilir olarak yönetilmesi için çok önemlidir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Özeti

Literatür araştırması sonuçlarına göre dünyada, içmesuyu dağıtım hatlarında BKV'ler yerine türbinler konularak elektrik üretimi için birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Aşağıda bu çalışmalara ait bilgiler verilmiştir.

İlk araştırma Williams (1998), tarafından İngiltere Blackpool'de yapılmış olup, içmesuyu dağıtım şebekelerindeki hidroelektrik üretimi için küçük türbin pompalar (PAT - Pump as Turbine) kullanmış, PAT, BKV'ye paralel olarak onların montajını yaparak enerji üretimi gerçekleştirmiştir.

Giugni ve ark. (2009), tarafından yapılan bir çalışmada su dağıtım şebekesinin uygun yerlerinde yenilenebilir enerji üretimine olanak sağlamak için BKV'lerin yerine PAT'ları kullanmışlar ve basıncın düşürülmesi ve enerji elde edilmesinde PAT'lardan yararlanmışlardır. Böylece maddi gelir ve kısa sürede amorti sağlayabileceğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca Fontana ve ark. (2012) İtalya'da da benzer bir çalışma yapmışlardır.

Corcoran ve ark. (2013) tarafından İrlanda ve İngiltere'de su dağıtım şebekeleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. 95 potansiyel alan belirlenen çalışmada sistem verimini %65 kabul ederek yıllık üretilen enerji miktarını hesaplamışlardır. Bunun için Kaplan, Francis ve sabit pervane türbinleri arasında Kaplan türbininin debi değişimleri için en verimli türbin olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada su dağıtım şebekelerinde 100 kW'tan fazla enerji elde etmişlerdir.

McNabola ve ark. (2014) İrlanda'da yaptıkları çalışmada su dağıtım şebekelerinde maslaklarla beraber türbinlerin kullanılmasıyla enerji üretiminin ekonomik ve teknik olarak araştırmışlardır. 13 kW'lık enerji üretilen bu çalışmada mali açıdan faydalı olduğunu savunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında 10 tane maslak ve türbin kullanılarak yıllık 1350 ton CO₂ emisyon tasarrufu elde edilebileceğini göstermişlerdir.

İtalya'nın Campania bölgesindeki bir belediyenin içmesuyu hattındaki enerji potansiyeli araştırılmıştır. İçmesuyu hattına konulan 108kW'lık Pelton türbinin

verimli olduğunu bulmuşlardır. Bilgisayar simülasyonlarıyla isale hatlarının daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Coğrafi Bilgi Sisteminde (CBS), ArcGIS programı yardımıyla Kriging Interpolasyon yöntemi, Ters Ağırlıklandırma Enterpolasyon Yöntemi, Çok Ölçütlü Karar Analizi yöntemi gibi yöntemler kullanılarak enerji üretimlerinde yer seçimler ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalara ait bazı örnekler verilmiştir.

Nişancı R., vd. (2010) yaptıkları çalışmada Trabzon ili için ArcGIS yazılımı ile Piksel Tabanlı Uygunluk haritası üretmişlerdir. Rüzgâr tribünleri için yer seçimi çalışması sürecinde de, uygun yer seçimi için karar vericiler, birçok konumsal veriye (koruma alanları, sit alanları, arazi örtüsü, topoğrafya vb.) ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma kapsamında, rüzgar tribünleri alanı yer seçimi sürecinin hangi aşamalardan oluştuğu, veri ihtiyacı, temel kısıtlayıcılar, yer seçimi kararını etkileyen temel faktörlerin neler olduğu ortaya koymuşlardır.

Arslan E., vd. (2015) yaptıkları çalışmada, ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi ışıyım şiddetini belirlemek için ArcGIS programı yardımıyla Kriging Interpolasyon yöntemi kullanılarak özgün bir güneş enerji potansiyeli atlası oluşturmuşlardır.

Güney G. (2017) yaptığı çalışmayla ArcGIS yazılımı kullanarak, Porsuk Havzadaki bütün yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımları, Ters Ağırlıklandırma Enterpolasyon Yöntemi ile belirlemiştir. Porsuk havzasının yıllık ortalama yağış değeri ve yıllık ortalama su potansiyeli havzanın büyük ölçekli hidroelektrik potansiyeline sahip olmadığını göstermiştir. Fakat bu çalışmayla küçük ölçekli hidroelektrik potansiyelli tesisler için uygun olduğunu göstermiştir.

Memduhoğlu A. vd. (2014); Can G. (2019); Kırcalı Ş. (2019); Mwanza, M. (2019); Altınışik A. (2020); Aydın, İ. vd. (2021). Çok Kriterli Karar mekanizmalarından olan Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini çalışmalarında kullanmışlardır. Veri katmanları önem derecesine göre yapılan ağırlıklandırma işleminde çok kriterli karar verme analizi ile uygun yer seçiminde etkili olduğu çıkarımında bulunulan birçok kıstas birlikte analiz edilebildiğini ortaya koymuşlardır.

Memduhoğlu, A. vd. (2014), yaptıkları çalışmada rüzgâr santrallerinin teknik ve ekonomik açıdan başarıya ulaşmasının temelinde sağlıklı verilere dayalı olarak hesaplanan enerji üretim miktarlarının ve buna bağlı olarak yer seçiminin önemi üzerinde durmuşlardır. Radarlara, havaalanına, şehir merkezine, akarsulara, enerji nakil hatlarına uzaklık ve güç yoğunluğu gibi ağırlıklı ölçütler ve binaların bulunduğu yerler gibi ağırlıklandırma yapılarak ele alınan ölçütler CBS ortamında değerlendirilmiş, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde rüzgar türbini için en uygun yer kampüsün orta kesimi olarak belirlenmiştir. Sonuca, ağırlığı yüksek olan güç yoğunluğu ölçütü en fazla etkiyi yapmıştır. Uygun ağırlıklı ölçütler belirlenerek hedeflenen başarıya ulaşmak için güçlü bir karar aracı elde etmek amacıyla Çok Ölçütlü Karar Analizi yöntemini kullanmışlardır.

Can, G., (2019), çalışmasında Çanakkale il sınırları içinde rüzgâr türbini kurulumu için uygun alanları belirlemiştir. ArcGIS yazılımında işleyerek kullanıma hazır hale getirmiş ve tüm ortak veri tabanında birleştirmiştir. Uygulamada Rüzgâr türbin kurulumu için uygun olmayan alanlar, belirlenen uygulama alanından çıkartılmış ve türbin kurulamayacak alanlar elenmiştir. Mekânsal analiz için belirlenen kriterlere ağırlık oranlarına göre katmalara çakıştırma işlemi uygulanarak net sonuç haritası elde edilmiştir.

Kırcalı, Ş., (2019), Antalya ili ile ilgili yaptığı çalışmada, sürdürülebilirlik esasına dayalı olarak yenilenebilir kaynakların başında gelen güneş enerjisinden yerel ölçekte yararlanabilmek üzere güneş enerji tarlalarına uygun yerlerin tespit edilmesi amaçlamıştır. Çalışma sonunda elde edilen bulgular, Antalya il bütününde güneş enerji tarlaları için çok yüksek bir potansiyel olduğunu göstermiştir.

Mwanza, M., (2019), çalışmasında, Zambiya'da CBS ile sürdürülebilir yenilenebilir enerji hasadı için güneş ve rüzgâr enerjisinin ulusal enerji karışımına sistematik ve sürdürülebilir entegrasyonu için stratejik düzeyde karar verme, politika oluşturma ve planlama konularında temel bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, herkese enerji erişimini sağlamak ve ülke genelinde hem kırsal hem de kentsel alanların elektrifikasyonu için güneş ve rüzgâr enerjisinin dâhil edilmesi için somut hedefler koymaktadır.

Altınışık, A., (2020), İzmir olarak belirledikleri çalışma bölgesinde yaptığı çalışmada güneş enerjisi santrali yer seçiminin uygulanmasında ilk adım olarak 6 yer seçimi kriteri belirlenmiştir. Bunlar; güneş enerjisi potansiyeli (güneş ışınımı ve güneşlenme süresi), eğim, bakı, arazi kullanımı, enerji nakil hatlarına uzaklık ve yola olan uzaklıktır. Bu kriterler; topografik, ekonomik, arazi kullanımı, iklimsel ve çevresel olarak farklı alanlara aittir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlık yüzdelerini hesaplamıştır. Ağırlıklar elde edildikten sonra ilgili veriler toplanmış ve CBS yazılımı ArcGIS yardımıyla gerekli analizler yapılmış ve İzmir ilinde fotovoltaik güneş santrali için en uygun yerler bulunmuştur. Çalışmada her bir sınıf farklı yüzdeye sahip olup, elde edilen net sonuç haritası elverişsiz, kötü, orta, iyi, çok iyi, mükemmel olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır.

Aydıner, İ. vd. (2021), yaptıkları çalışmada Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçim kriterleri olarak; rüzgâr hızı, belirgin dalga yüksekliği, deniz derinliği, trafo merkezlerine uzaklık, limanlara uzaklık, kıyıya uzaklık ve deniz tabanı çökel tipleri seçmişlerdir. Veriler CBS ortamında işlenmiş, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde ve ölçütlerin alt kategorilerinin/gruplandırılmış seçeneklerinin puanlandırılmasında ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulabileceği uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir.

1.2. Hidroelektrik Enerji ve Hidrolik Türbinler

Güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkisiyle enerji kaynakları oluşur. Hidrolojik döngü kapsamında sonsuz bir kaynağa sahip olan suyun enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmek yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ekonomik ve çevrecidir. Hidroelektrik sistemler de suyun enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üreten sistemlerdir.

Bir barajda veya içmesuyu şebekeleri için depolarda depolanan su, borularla türbine verilerek türbin çarkını döndürmeye başlar. Suyun potansiyel enerjisini kinetik enerjiye ve oradan da mekanik enerji olarak dönme hareketine çevrilmesini hidrolik türbinler sağlar. Türbin çarkı, türbinin şaftı ile bağlı bulunduğu dişli kutusu veya doğrudan jeneratör şaftını döndürerek de mekanik enerjiyi jeneratör elektrik enerjisine dönüştürür.

1.2.1. Hidroelektrik Enerji

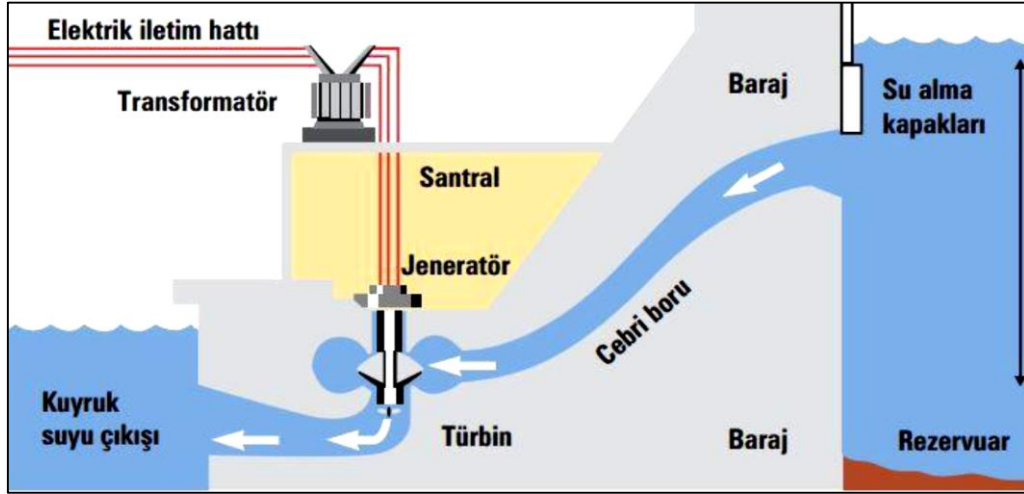
Elektrik tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösterir. Talebi karşılamak amacıyla sürekli artış gösteren enerji üretimleri, alternatif kaynaklar olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi önemlidir. Ülkelerin sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerinin sebebi fosil kaynakların hızla tükeniyor olmasıdır. Fosil yakıtların azalması ve artan enerji talebi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Yenilebilir kaynaklar içerisinde su enerjisi dünya ve ülkemiz için en önemli kaynaklardan biridir.

Hidrolojik çevrim içerisinde yeryüzündeki su, güneş enerjisi ile buharlaşır. Buharlaşan su rüzgârla beraber taşınır ve soğuk bölgelerde yoğunlaşarak yağış olarak yağmur, kar ya da bileşenleri şeklinde tekrar yeryüzüne düşer, yeraltı sularını ve akarsuları besler. Buna su döngüsü (hidrolojik çevrim) denir ve sürekli devinim halindedir. Şekil 1’de örnek bir su döngüsü verilmiştir (<https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=4>).



Şekil 1. Su Döngüsü

Suyun üst kotlarındaki potansiyel enerjinin, alt kotlara düşmesiyle oluşan kinetik enerjiyle türbinlerin dönmesi sağlanmaktadır. Türbinlere bağlı olan jeneratörle de elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 2’de örnek bir gösterim verilmiştir.

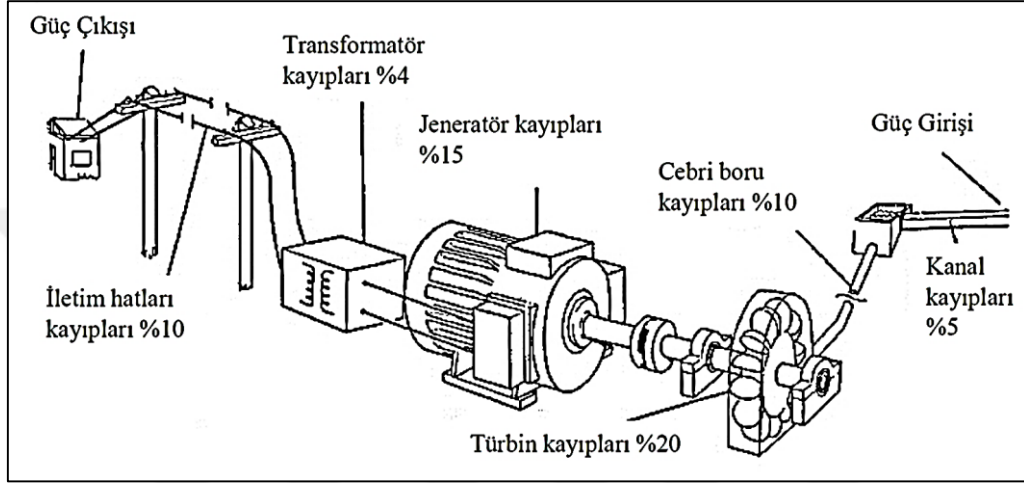


Şekil 2. Hidroelektrik enerji üretimi

Barajlar rezervuar alanına ve gövde yapılarına gereksinim duyarlar. İsale veya şebeke hatları üzerine yapılacak olan su tesislerinin kurulumu, baraj yapımına göre

göre daha cazip bir seçenek olabilmektedir. Çünkü teknik ekipmanlar, kullanım ömrünün uzun olmasının yanında doğaya zarar vermeyen, işletme ve bakım giderleri bakımından ekonomik ve avantajlıdır.

Sudan enerji elde etme potansiyel enerjiden başlayıp elektrik enerjisine çevrilene kadar birçok süreçten geçer. Bu süreçlerde kayıplar oluşur. Şekil 3'te bir hidroelektrik tesisteki gücün giriş ve çıkışı ile kayıpların oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3. Bir hidroelektrik tesiste toplam güç giriş çıkışı ve kayıplar

1.2.2.Hidrolik Türbinler

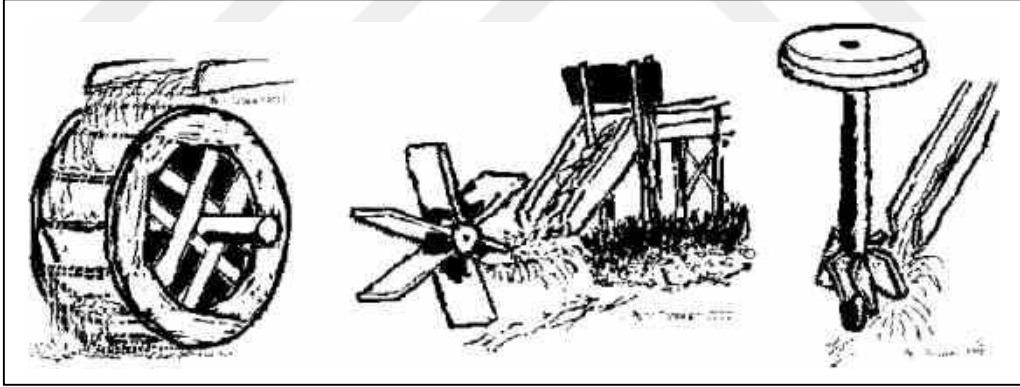
Suyun enerjisini türbinin shaftı yardımıyla mekanik enerjiye çeviren döner hidrolik makinalara hidrolik türbin denir. Hidrolik türbinlerde türbin çarkından geçen suyun hızı ve basıncı, dönen türbin shaftını mekanik enerjiye dönüştürmüş olur. Hidrolik türbinler; işletme şekillerine, yapılış tarzlarına, su yüksekliğine (düşü) ve su akımının shafttaki yönüne göre farklı sınıflara ayrılabilir. Bazen de hidrolik türbinler, yüksek basınçlı türbinler ve serbest püskürtmeli türbinler olarak ikiye ayrılabilirler. Yüksek basınç türbinlerin giriş-çıkış ortamlarında basınçları farklıdır. Yani türbine gelen su, kinetik ve potansiyel enerji taşır. Türbin çıkışı atmosfer basıncından fazla olabilir veya verimi artırmak için atmosfer basıncından daha düşük bir basınçta sahip de olabilir. Serbest püskürtmeli türbinlerde ise, türbine gelen basınçla, çıkan basınç atmosfer basıncına eşittir. Burada sadece suyun taşıdığı potansiyel enerji kinetik enerjiye ve ardından mekanik enerjiye çevrilmektedir.

Türbinlerde verimlilik tasarımıyla ilgili olup düşü ve debiye göre tasarlanırlar. Her türbin tipi, çok farklı gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanabilir. Bu kriterler yalnızca hangi tür türbinin nerede kullanılacağını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda tüm türbin sisteminin tasarımı için kritik öneme sahiptir. Tasarımdaki herhangi bir değişiklik, enerji iletim verimliliğini önemli oranda etkileyebilir. Yolluğun çapı, kovalarının veya bıçaklarının ön ve arka eğrilikleri, döküm malzemeleri, nozul (kullanılıyorsa), türbin muhafazası ve bileşenlerin kalitesi, tümü verimliliği ve güvenilirliği etkiler.

Tüm türbinlerde elektrik üretimi hemen hemen aynı mantıkta çalışır. Türbinlerle üretilen mekanik enerji, türbine şaftla bağlı olan jeneratör üzerindeki mıknatısların yönü sürekli olarak belirli devirlerde çevrilmesi ile elektrik üretir.

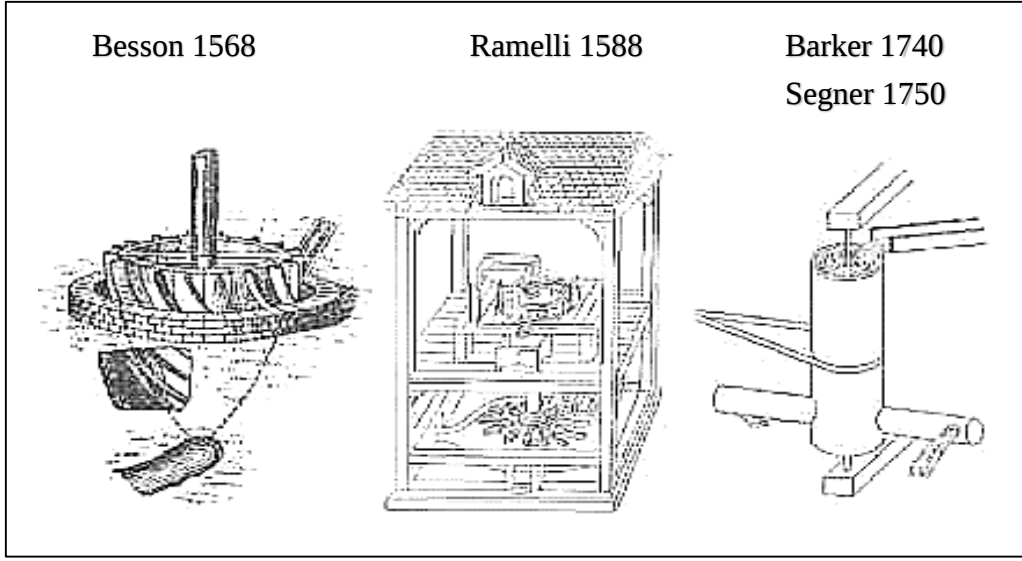
1.2.2.1. Hidrolik Türbinlerin Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlunun suyun gücünden faydalanması binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Sudan faydalanma ilk önce değirmenlerin çalıştırılmasıyla başlamıştır. Üstten veya alttan beslemeli makinalar ve Norse değirmeni olarak iki çeşidi vardır.



Şekil 4. İlk su makinaları

Su makinalarında Rönesans ve reformlar hareketinden sonra büyük gelişmeler olmuştur. Avrupa’da 18.yy’da su makinalarının etkin kullanılmasına yönelik çalışmalar artmıştır. Bunun neticesinde Euler 1750-54 yıllarında türbin denklemini geliştirmiştir.



Şekil 5. İlkel su türbinleri

Burdin 1824’de ilk defa türbin terimini kullanmıştır. Poncelet 1826’da içe akışlı radyal (inward-flow radial) türbini geliştirmiştir. Fourneyron tarafından 1827’de geliştirilen dışa akışlı (outward-flow) türbinden %75-80 oranında verim elde etmiştir. Ancak türbinin stabilite sorunları vardı. Samuel Howd ise 1838’de inward flow turbine (içe akış türbini) için patent almıştır.

Schwamkrug 1840’da bir aksiyon türbini tasarlamıştır. Türbini verimi %80 civarındadır ve 1900’lere kadar bu tip türbinler üretilmiştir.

Thomson 1850’de İngiltere’de patentini aldığı vorteks türbinin ayarlanabilir yönlendirici kanatları vardı. Fakat bu türbin İngiltere dışında pek kullanılmamıştır.

Fink 1854’de ayarlı yönlendirme kanatçıkları olan türbin için patent almıştır. Diagonal türbin dizaynlarının ortaya çıkmasında Girard türbinin de aynı yıl patentini aldığı türbinin verimi %80 dolaylarındadır.

Francis 1855’de yeni bir inward-flow (içe akış) türbin için patent almıştır. Sonrasında bu türbin Francis türbin adında anılmıştır. 1873’de Voith ve Kankelwitz bu türbine ayarlanabilir yönlendirici kanatlar eklemiştir.

Pelton 1880’de Doble kepçe tasarımına ara boşluk ve eliptik bir şekil vererek kendi adıyla anılan türbini geliştirmiştir. Doble aynı zamanda ayarlanabilir bir lüle tasarımı da yapmıştır.

19. yüzyılda basit ve düşük güçteki su türbinleri çok yaygınlaşmış ve Oskar Von Miller tarafından 1891 yılında su türbinlerinin döndürdüğü jeneratörlerle üretilen elektrik, enerji iletim hattı ile uzak yerlere nakledilmiştir.

1920’de ise ilk defa Boru tipi türbin fikri ortaya atılmış ve bugüne kadar birçok değişiklik göstermiştir. Çıkış noktası Kaplan Türbinleri olan Boru Türbinleri, türbin çıkışından girişine kadar suyun genel akışı aksenal bir durum gösterir.

1.2.2.2. Hidrolik Türbinlerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik tesisleri değişik kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bu değişikliğin sebebi ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları ve su enerjisinin potansiyellerindeki özelliklerin değişiklik göstermesidir. Bu yüzden ülkeler için standart bir sınıflandırma sistemine olamamaktadır. Örnek olarak, su ve enerji ekonomisi yönünden, teknik özellikler ve topoğrafik duruma göre gibi sınıflandırma olabilir.

Bu sınıflandırmalara ek olarak daha detaylı sınıflandırmaya Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Türbinlerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması

Düşü	Türbin Çıkış Gücü	Türbin Şaftı	Suyun Akış Doğrultusu	Suyun Etki Şekli
Yüksek basınçlı su türbini (> 300 m)	Yüksek güçlü hidrolik türbinler (> 100 MW)	Yatay aksenal	Eksenal akışlı türbinler (Kaplan, Uskur)	Aksiyon tipi türbinler (Pelton, Turgo, Banki)
Orta basınçlı su türbini (400 m – 20 m)	Orta güçlü hidrolik türbinler (20 – 100 MW)	Dikey aksenal	Radyal akışlı türbinler (Francis)	Reaksiyon tipi türbinler (Francis, Kaplan, Uskur, Boru)
Düşük basınçlı su türbini (< 50m)	Küçük güçlü hidrolik türbinler (1 – 20 MW)	Eğik aksenal	Diyagonal akışlı türbinler (Yüksek Hızlı Francis)	
	Mini Hidrolik türbinler (100 KW – 1 MW)		Teğetsel akışlı türbinler (Pelton, Banki)	
	Mikro hidrolik türbinler (5 KW – 100 KW)		Saptırılmış akışlı türbinler (Turgo)	
	Piko hidrolik türbinler (< 5 KW)			

1.2.3. Hidroelektrik Sistemlerde Kullanılan Türbinler

Hidroelektrik sistemlerde iki çeşit türbin tipi kullanılmaktadır. Bunlar reaksiyon ve aksiyon türbinlerdir. Genel olarak reaksiyon türbinler su içinde, aksiyon türbinlerse hava ortamında çalışır.

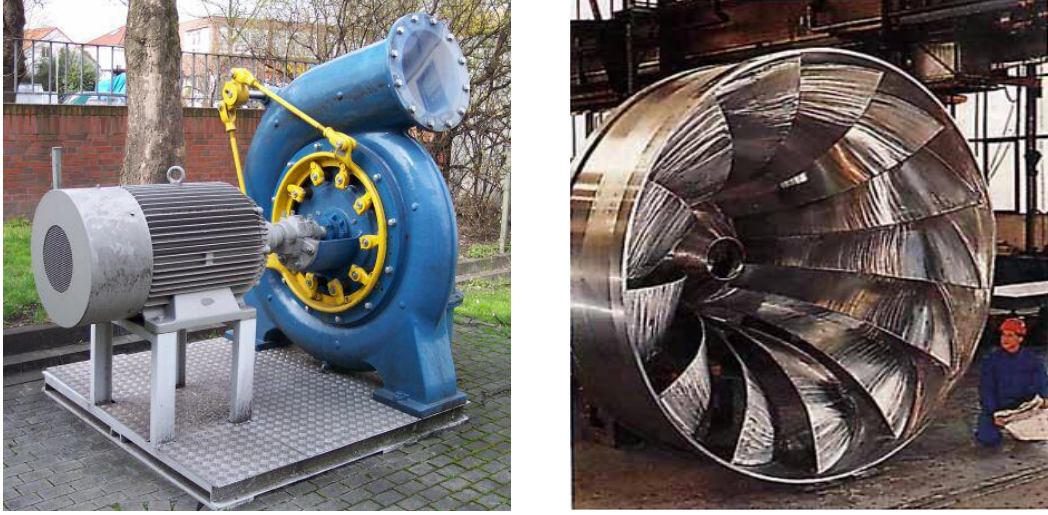
1.2.3.1. Reaksiyon (Tepki) Tipi Türbinler

Fourneyron (1826) reaksiyon tipi ilk türbin çarkını üretmiştir. Suyun içinde tamamı olan reaksiyon türbinlerin gövdeleri basınca dayanıklıdır. Bu yüzden sağlam malzemelerle üretilir. Basınç farkı türbinin çarkını döndürmesini sağlar. Su, basınç altında türbine girmeden tamamen hıza çevrilir. Düşük düşülerde kullanılabilirler. Francis ve Kaplan türbinler bu tip türbinlere örnektir. Kaplan tipi türbinler, büyük su debilerinde ve küçük düşülerde kullanılırlar. Francis tipi türbinler ise orta yükseklikteki su düşülerinde ve orta değerlerdeki su debilerinde kullanılırlar.

1.2.3.1.1. Francis Türbini

1838 yılında Howd tarafından icat edilmiş, 1848 yılında da Francis tarafından geliştirilmiştir. Suyun basıncı ile türbinin çarkını döndürür. Bu sebeple girişteki su basıncı yüksek, çıkıştaki düşüktür. Türbini radyal (teğetsel) olarak çalıştıran su, yöneltici çarktan türbin ortasındaki çarka girip, çark hareketi ile aşağı doğru hareket ederek türbini terk eder. Bu nedenle türbinin kanatlarında radyal (teğetsel) akış oluşarak türbin çalışır. Değişken debilerde verimliliği düşmektedir.

Francis türbinler yatay eksenli olarak düşük güçlü, dikey eksenli olarak büyük tesislerde tercih edilirler. Düşü yüksekliği 2 ila 600 m arasında ve gücü de 2 ila 600 MW kullanılırlar. Şekil 6'da Francis türbini ve çarkı verilmiştir.

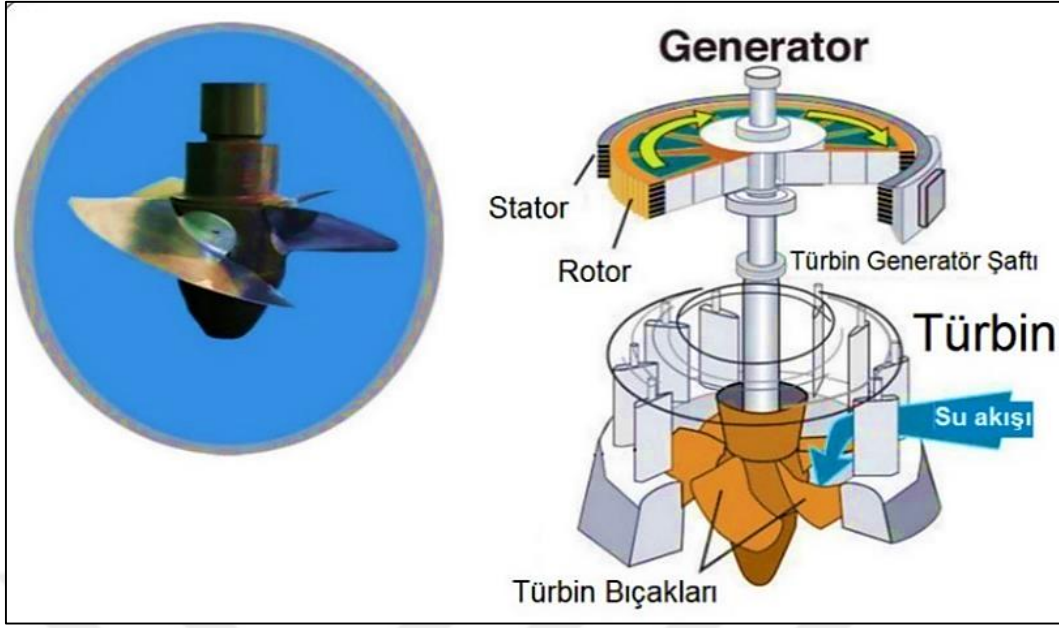


Şekil 6. Francis türbini ve çarkı

1.2.3.1.2. Kaplan Türbini

Victor Kaplan 1912 yılında Kaplan tipi türbinler geliştirmiştir. Gemi pervanesinin çalışma prensibinin tersi biçimde çalışan bir çarkı vardır. Bu türbinlerde suyun girişi ile çıkışı arasında basınç farkı olduğundan su giriş ve çıkışı aynı eksendedir.

Kaplan türbinleri yüksek debilerde ve 2 - 50 m düşüye sahip tesislerde tercih edilirler. Kanatları sabit ve ayarlanabilir türbinlerdir. Çark kanatlarının hareketli olması üretilmesinde avantaj sağlamaktadır. Çark üzerindeki kanatlar işletme esnasında ayarlanabilmekte ve böylece düşünün sabit olmadığı durumlarda düzensizliği ortadan kaldırabilmektedir. Dişli veya kayış kasnak olmadan jeneratöre direkt bağlanabilmektedir. Kaplan tipi türbinlerde ve 2 - 1000 MW güçler için üretilmektedirler.



Şekil 7. Kaplan türbin çarkı ve çalışma prensibi

1.2.3.2. Aksiyon Tipi (Etki) Türbinler

Pelton (1880) aksiyon tipi ilk türbin çarkını üretmiştir. Aksiyon türbinlerde çarklar hava ortamındadır ve su jeti ile çalışmaktadır. Gelen su kepçelere ya da çarka hava ortamında girip çıkmaktadır.

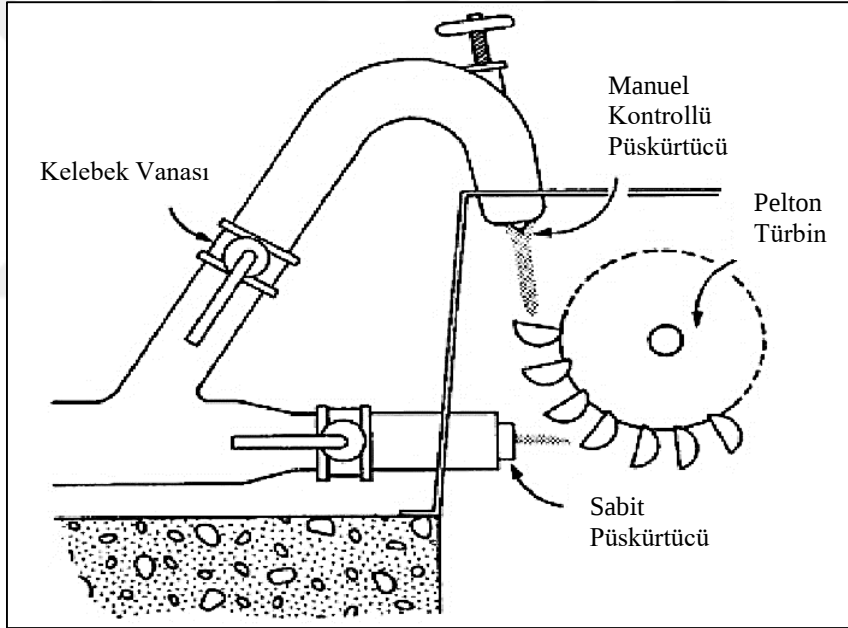
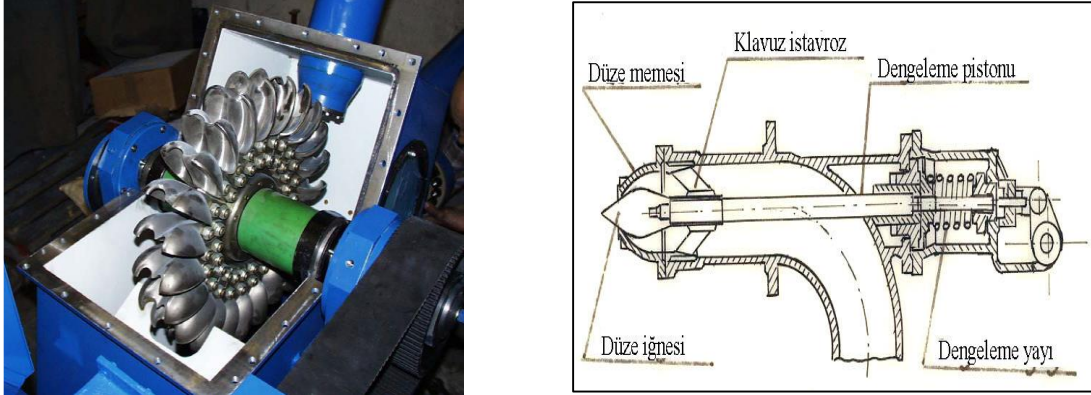
Bu tip türbinler, alçak düşümlü tesislerde tercih edilmemesinin nedeni düşük hızlarda verimli değildir. Bağlanmaları durumunda dişli kutusu ile hızlarının yükseltilerek jeneratöre bağlanmalıdır. Küçük tesislerde Banki türbinleri 4 m'ye kadar, Turgo veya Pelton türbinleri 20 m'ye kadar düşük düşüler tercih edilebilirler.

1.2.3.2.1. Pelton Türbini

Kendi adıyla anılan, Pelton'un 1879 yılında icat ettiği türbinler yüksek düşü ve küçük debiler için tercih edilirler. Düşük özgül hıza sahip olan bu tip türbinler su jeti ile kepçeler döndürülür ve %78-%92 civarında verimleri vardır.

Pelton türbinlerin yatay veya dikey tipleri vardır. Yatay Pelton türbinler genelde püskürtücü sayısı ikidir ve düşük güçlerde tercih edilirler. Dikey Pelton türbinler ise genelde püskürtücü sayısı dört veya daha fazla olabilmekte ve yüksek güçlerde tercih edilmektedir. Püskürtücü sayısının artırılması ile gücü artırılabilir.

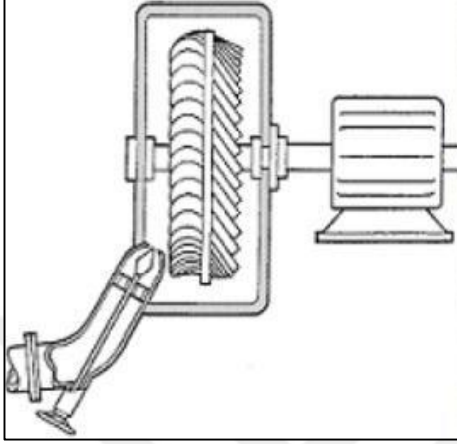
Pelton türbinleri 60 - 1000 m hidrolik düşülerde ve düşük debili santrallerde kullanılan türbinlerdir. 2 - 300 000 kW güçler için üretilmektedirler.



1.2.3.2.2. Turgo Türbini

Turgo türbinler 1919 yılında Gilkes tarafından geliştirilmiştir. Genellikle 50-250 m'lik su düşüleri için uygun olan bu türbinler, Pelton türbinlere benzemektedir. Turgo türbinlerin Pelton türbinleri ile farkı dairesel hareket kısmındaki kepçelerin farklı olmasıdır. Çalışma prensipleri Pelton türbine benzer ama Turgo türbini daha yüksek devirlerde çalışabilmektedir. Bu tip su türbinlerinin küçük, orta ve büyük

boyutta türbin tipleri üretilmektedir. Ayrıca daha ucuz maliyet, daha hızlı devir sayısı ve aynı boyuttaki bir Pelton türbinden daha fazla su tutabilme gibi üstün özellikleri de vardır. Aynı güçteki bir Pelton türbininin çark çapının yaklaşık bir buçuk katıdır. Bu durum daha yüksek devir sayılarına çıkmasını sağlamaktadır.

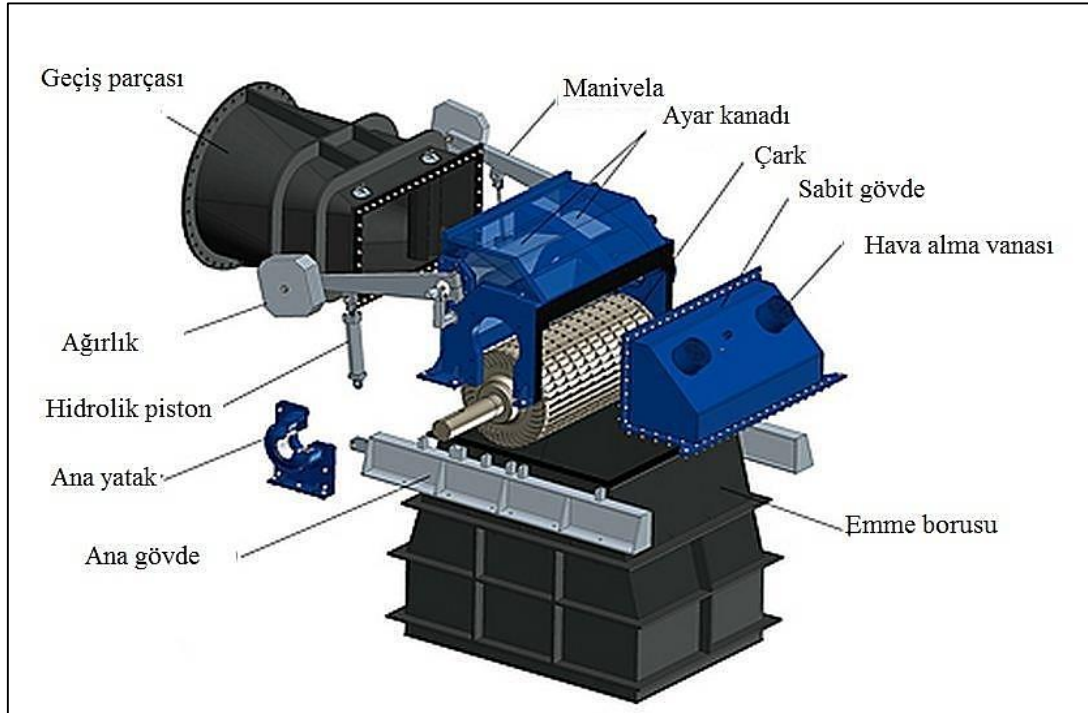


Şekil 10. Turgo türbini ve kepçesi

1.2.3.2.3. Banki (Cross-Flow) Türbini

Bu türbini Banki bulmuş ve Michell-Ossberger geliştirmiştir. Nehir ya da akarsulardan enerji elde edilmesi için tasarlanmıştır.

Banki türbininin çarkındaki kanatların sayısı 25-30 adet olabildiğinden çarkın içi, su akımının geçebileceği şekilde boşlukludur. Bu yüzden Banki türbinlerine içten akımlı türbin de denmektedir. 20 lt/s ile 9 m³/s debiler için 1 m ile 200 m düşülerde 1000 kW güç üretebilirler. %80 civarında verimlilik söz konusudur. Devir sayıları ise 50 ile 200 d/dk arasında değişmektedir. Banki türbini, gövde, tambur tipi dönel çark ve ayar kanatlarından oluşmaktadır. Banki türbininin önemli özelliği, suyun çarktan iki kez girip çıkmasıdır. Şekil 11’de Banki türbine ait parçalar verilmiştir.



Şekil 11. Banki türbini ve parçaları

1.2.4. Hidroelektrik Sistemlerde Türbin Seçim Kriterleri

Hidrolik düşünün ve türbinden geçecek su debisinin değerlerine göre türbinlerin kullanılma alanları değişir. Bunun yanında hidroelektrik tesislerin kurulumunda türbin seçimi yapılırken ünitenin brüt düşüsü, türbine gelen su debisi ve devir sayısı gibi değerlerin fonksiyonu olan özgül devir sayısına bakılır. Ardından bu değerlerin kesiştiği noktayla türbinden elde edilecek güç miktarını gösteren doğrunun kesiştiği veya yaklaşık olarak kesiştiği nokta hangi türbin bölgesinde kalıyorsa, kurulacak hidroelektrik güç tesisinde o türbinin kullanılması verimlilik ve işletme şartlarının iyileştirilmesi bakımından en uygun seçimdir.

Aşağıda maddeler halinde türbin seçim kriterleri verilmiştir.

- Düşü ve Debiye göre
- Özgül hızlarına göre

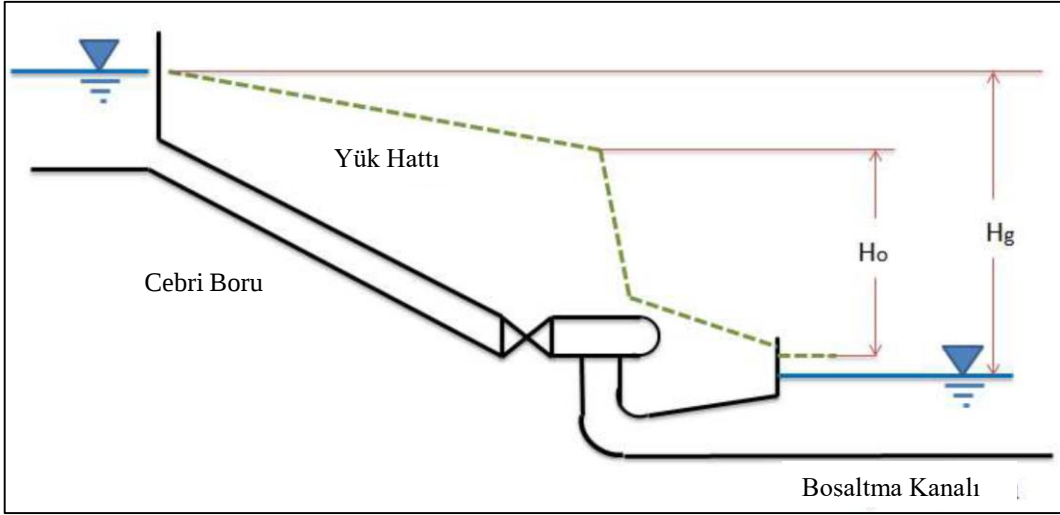
1.2.4.1. Düşü

Bir su türbininin yükleme odasındaki serbest su seviyesi ile suyun türbinden çıktığı nokta arasındaki yükselti farkına türbinin Brüt (Geometrik) düşüsü denir.

Suyun kaynağından türbine gelen düşey mesafenin hidrolik kayıplarında çıkartılmasıyla net düşü elde edilir. Bu kayıplar boru içindeki akıştan, dirseklerden ve vanalardan kaynaklanan kayıplardır. Ayrıca enerji hesabında kullanılır.

$$H = H_g - \Sigma \xi = H_g - (0.5 + k_1 + k_2 + k_3 + \lambda \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

(1) nolu denklemde H net düşüyü, H_g brüt düşüyü, $\Sigma \xi$ ise toplam kayıpları temsil eder. k_1 , k_2 , k_3 kayıp katsayılarını, λ sürtünme katsayısını, L boru boyunu, D boru çapını, V suyun hızını ve g yerçekimi ivmesini ifade eder. Şekil 12’de net ve brüt düşünün şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 12. Net-Brüt düşülerin şematik gösterimi

1.2.4.2. Debi

Suyun akarsu yatağı ya da boru kesitinden birim zamanda geçen hacmine debi denir ve Q harfi ile gösterilir.

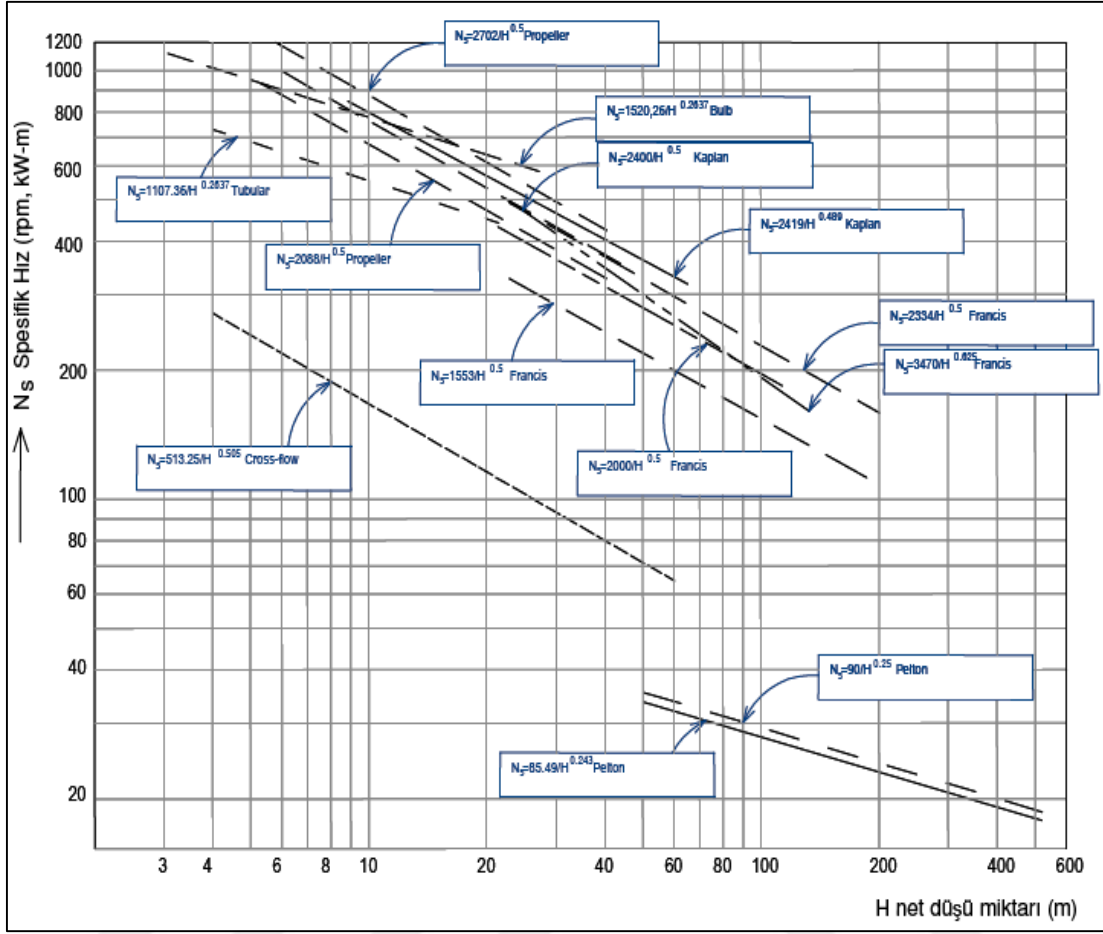
$$Q = V.A \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (2)$$

Burada; V, suyun hızını (m/s) ve A, kesit alanını (m²) ifade eder.

1.2.4.3. Özgül Hız

Bir türbinin geometrik benzerinin 1 m düşü altında 1kW güç üretebilmesi için dakikada yapması gereken devir sayısına türbinin özgül hızı denir ve n_s ile gösterilir. En uygun türbin tipinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan özgül hız, hidrolik makinelerde sıkça kullanılır. Özgül hız debi ve düşü parametrelerine göre belirlenir. Düşük debi, yüksek düşüye sahip türbinler düşük özgül hıza ve yüksek debi, düşük düşüye sahip türbinlerse yüksek özgül hıza sahiptir.

Türbinlerin sınıflandırılmasında kullanılan özgül hız alanı, her türbin tipinin uygun şekilde gerçekleştirildiği bir alandır. Şekil 13'te türbin tiplerinin kullanılma alanları özgül hıza bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 13. Net düşü miktarına bağlı n_s değerleri

Özgül hızın artmasıyla türbin üzerinde oluşan değişiklikler;

- Genel akış radyalden eksenele kayar.
- Kanat sayısı, çap ve kanat boyları küçülür.
- Distribütör yüksekliği ve giriş açısı büyür.
- Türbinin özgül gücü büyür, özgül hacmi küçülür.
- Kavitasyon tehlikesi artar, dolayısıyla maksimum düşü azalır.
- Farklı özgül hızlar meridyenel profillerin oluşmasını sağlar.

1.3. Su Dağıtım Şebekeleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

1.3.1. İçmesuyu Dağıtım Sistemleri

Canlılar için önemli olan suyun güvenilirliği ve kalitesi önemli bir unsurdur. Dünyanın 4'te 3'ünün suyla kaplı olmuş olsa da kullanılabilir miktarı oldukça düşük seviyededir. Bu duruma dünya nüfusunun hızla artması, teknoloji ve sanayinin aşırı kullanılması, doğal kaynakların bozulması gibi etkiler eklenince suyun kullanımındaki kaynak yönetimi önemli hale gelmiştir.

Dünyada yaklaşık 1,36 milyon km³ suyun yaklaşık % 95,5'lik kısmı tuzlu su ve yaklaşık % 2,2'si de buzullardadır. Dolayısıyla dünyadaki kullanılabilir suyun miktarı % 2,3 civarındadır. Bu suyun 13000 km³'ü göl ve bataklıklarda, 13000 - 15000 km³'ü atmosferde, 4000 km³'ü toprak altındadır. Yılda 100000 km³ su nehirler ile deniz ve okyanuslara doğru akmaktadır. Tablo 2'de su kaynakları ile ilgili genel bilgi verilmiştir.

Tablo 2. Dünyanın Su Bütçesi

Su Kaynağı	Hacim (km ³)	Toplam Su (%)
Tatlı su gölleri	125.000	0,009
Tatlı su gölleri ve içdenizler	104.000	0,008
Nehirler	1.250	0,0001
Zeminde ve yer altı su tabaksı üzerinde bulunan sular	67.000	0,005
Yeraltı suyu (4000 m derinliğe kadar)	8.350.000	0,61
Buz ve buzullar	29.200.000	2,14
Atmosfer	13.000	0,001
Büyük denizler (okyanuslar)	1.320.000.000	97,3
Toplam (rakamlar yuvarlatılmıştır)	1.360.000.000	100

Yerleşim yerleri için su ihtiyacını temin edilebilecek su kaynakları Tablo 3'te şematik olarak gösterilmiştir.

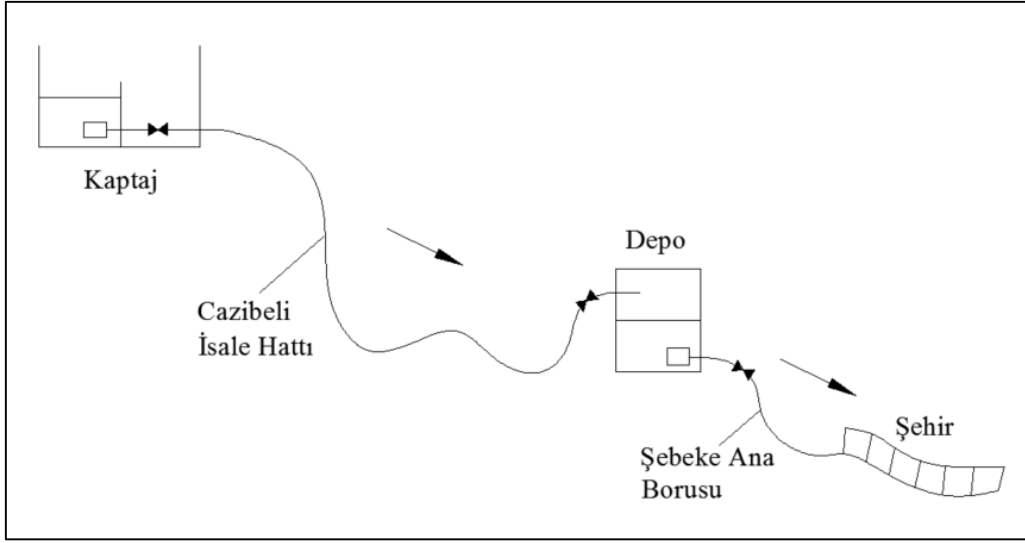
Tablo 3. Su kaynaklarının şematik gösterimi

Yüzey Suları	Yer Altı Suları	Yağmur Suları
Büyük Göller	Sığ ve Basit Kuyular	Sarnıçlar
Küçük Göller	Derin Borulu Kuyular	
Baraj Gölleri	Yatay Drenli Kuyular	
Nehirler	Sızdırma Boruları	
Membalar	Sızdırma Galerileri	

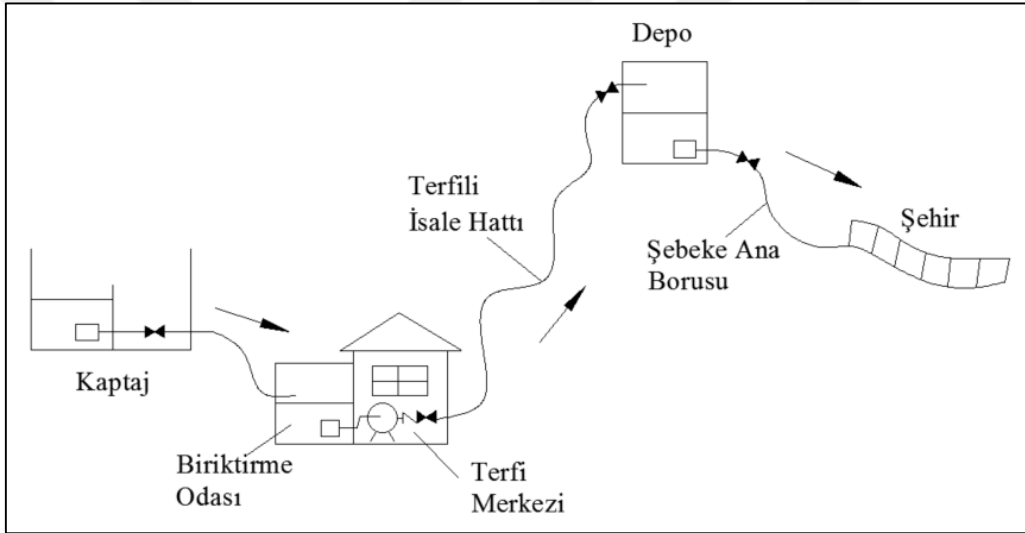
Suyu kaynağından veya depolardan istenilen yere götüren yapılara iletim (isale) hattı denir. İletim hattı ile depolara getirilen suyu yerleşim yerlerine dağıtan boru hatlarına, su dağıtım şebekesi denir. Bir su dağıtım sisteminde ana ve tali dağıtım boruları, basınç artırıcı pompalar, vanalar, vanalar, yangın muslukları, basınç kırıcı tesisler ve servis bağlantılarından oluşur.

İçmesuyu şebekeleri yeterli miktarda, istenen basınçta ve kullanılabilir özelliklere sahip suyu sağlıklı bir şekilde tüketiciye ulaştırılması hedeflenir. İçmesuyu hatlarının tasarımında su kaynaklarının durumu, bölgenin topoğrafik yapısı, yerleşim yerinin gelişimi, suyun şebeke borularında oluşturacağı akış hızı ve işletme basıncı, maliyeti ve benzer etmenler dikkate alınmalıdır.

Cazibeli ve terfili olmak üzere ikiye ayrılan basınçlı isale hatlarında cazibeli isalede su, deponun kötü şebeke hattından fazladır. Dolayısıyla su kendi enerjisi ile akar. Terfili isalede ise tüketiciye iletilmek istenilen yerin kötü depo kotundan fazla olması durumunda su iletilemeyeceğinden bir pompa yardımıyla depoya ulaştırılır. Şekil 14-a’da cazibeli isale hatlarının, Şekil 14-b’de ise terfili isale hatlarının şematik gösterimi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 14. (a) Cazibeli isale hattı ve (b) Terfili isale hattı şematik gösterimi

1.3.1.1. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Basınç Düşürücü Vanalar

İçmesuyu dağıtım hatlarında güzergah boyunca veya belirli noktalarında yüksek basınçlar oluşabilir. Yüksek basınç boru hatlarına zarar verdiği gibi kullanılan ekipmanlara da zarar verebilir. Ayrıca yüksek basınç boru hatlarında sızıntıya da sebep olabilir. Basınç düşürücü vanalar, boru hatlarında oluşan yüksek basıncı kullanıcıya ulaşmasını engellemeyecek basınca düşürerek verimin yükselmesini sağladığından hidrolik denge sağlanmış olur. Bu durum su dağıtım şebekelerinde sistem verimi için

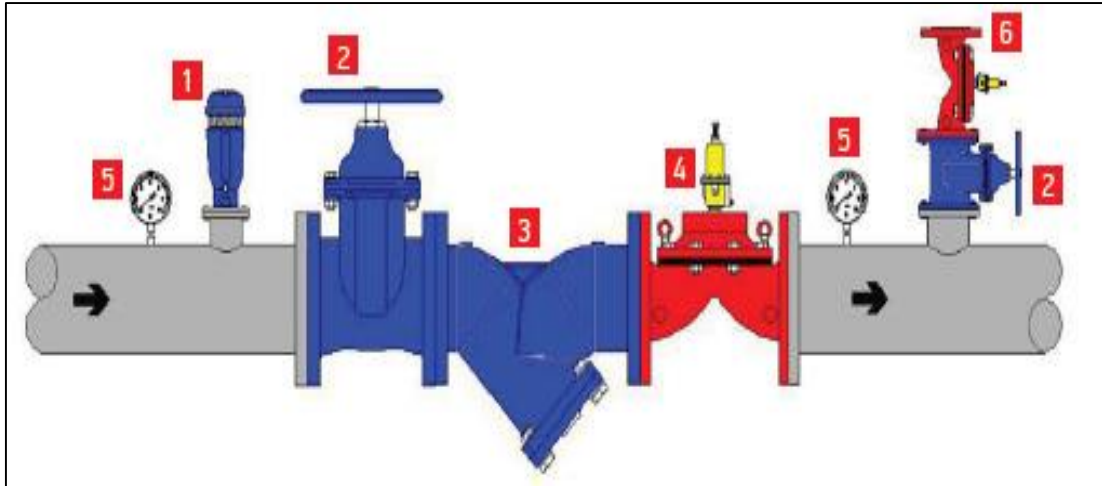
önemlidir. Bundan dolayı basınç düşürücü vanalar su şebekelerinde en çok kullanılan kontrol vanalarıdır.

Şebeke hattında yapılabilecek hesaplama hatalarında eğitimli teknik personel tarafından basınç kırıcı vana yeniden kalibrasyon yapılabilir.

Basınç kırıcı vana Şekil 15’de, şebeke hattı üzerine yerleştirilmesi Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 15. Basınç kırıcı vana



Şekil 16. Bir şebeke hattına yerleştirilmiş basınç kırıcı vana

1. Hava Tahliye Vanası (Vantuz), 2. İzolasyon Vanası (Sürgülü Vana, Kelebek Vana v.b.), 3. Pislik Tutucu Vana, 4. Basınç Düşürücü Kontrol Vanası, 5. Manometre, 6. Basınç Tahliye (Relief) Kontrol Vanası

1.3.1.2. Su Dağıtım Hatlarında Elektrik Enerjisi Üretimi

Arazinin yapısı itibariyle su iletim hatlarında oluşan kot farkından kaynaklı suda kinetik enerji oluşur. Türbinle beraber bu kinetik enerji mekanik enerjiye dönüşür ve jeneratör ile de elektrik enerjisi elde edilir. Su dağıtım hattında sürtünme kayıpları brüt düşüden çıkartılarak bulunan net düşü ile ve suyun debisine bağlı olarak güç hesaplanır.

Hidroelektrik tesislerinin haricinde su dağıtım şebekelerinde de enerji potansiyeli bulunmaktadır. Basınç kırıcı yapılar yerine (BKV, maslak vs.) konulacak türbinler vasıtasıyla bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

BKV yerine su türbinlerinin kullanılmasının bazı avantajları şu şekilde özetlenebilir;

- İnşa edildiğinde malzemelerin yaklaşık yarısı yerinde olduğundan ayrıca masrafa gerek yoktur.
- Doğaya zararı yoktur.
- Yer altında yıl boyunca sürekli bir akışı vardır ve çevreden etkilenmez.
- Basıncı azalttığından su kaybı azalır.
- Elde edilen enerji sistem ihtiyacı için kullanılabilmesi gibi elektrik şirketlerine de satılabilir. Dolayısıyla ithal edilecek enerji kaynaklarına gereksinim azalır ve enerji üretim maliyetlerini düşürür.
- Mevcut su dağıtım üzerine yapılacağından ayrıca masrafa gerek yoktur.

1.3.2. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

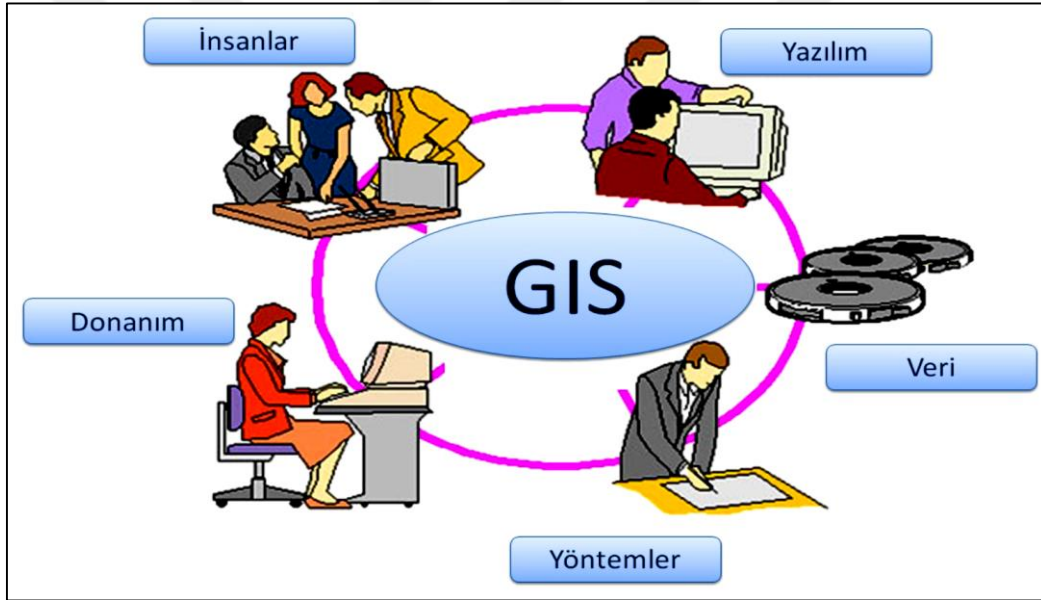
Ülkemizde çarpık kentleşmeye sebep olan hızlı nüfus artışı altyapı sorununu meydana getirmiştir. Kentlerin altyapısının tek tek çözüm üretmek yerine her bir altyapı unsurunun (içmesuyu, atıksu, doğalgaz, elektrik hattı vs.) birbirleri ile ilişkili vardır. CBS ile bu ilişkiler kontrol edilebilir, sorgulamalar yapılabilir, güncellenebilir ve depolanabilir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri güçlü araçlarıyla projelerin optimizasyonunu, simülasyonunu yapabilir, dinamik grafik yapısıyla güvenilirliği sağlanabilir. Yönlendirme gibi web tabanlı CBS uygulamalar ve altyapı, üstyapı gibi kamu ve özel sektörde takibin yapılması sağlanabilir. Böylece birçok uygulamada kullanılabilir.

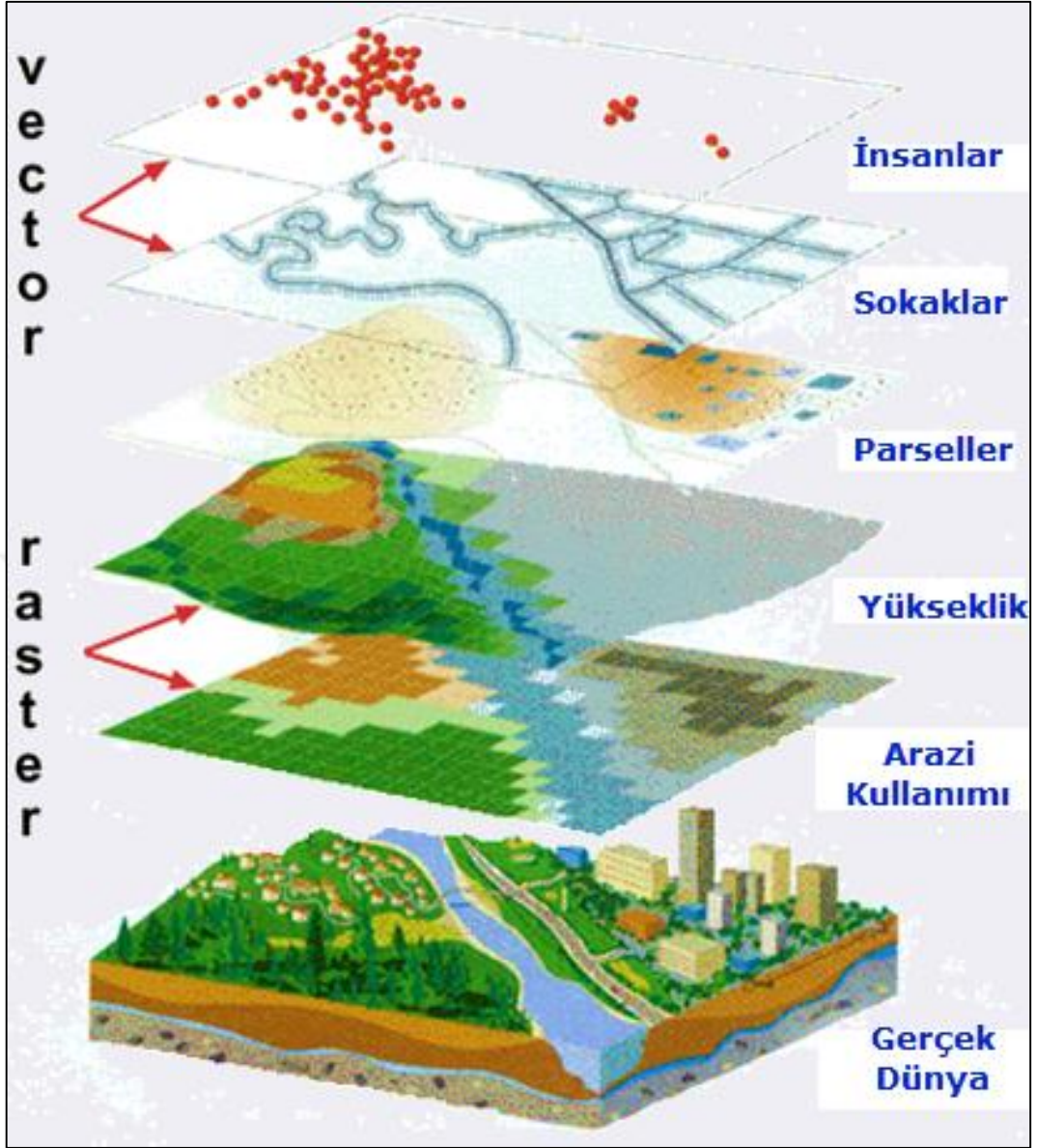
Coğrafi veri yapısı iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar vektörel ve öznitelik bilgilerdir. Vektörel bilgiler grafik olarak konumu ve vektörel verilerin birbirleriyle olan ilişkilerini belirlemekte, öznitelik bilgiler ise vektörel bilgilere ait özellikleri veri tabanında tutulması anlamına gelmektedir.

Vektörel veriler; nokta, çizgi ve çokgen olarak ifade edilirler. Nokta verisi tepe noktaları, elektrik direkleri, kuyu gibi detayların sadece yerini belirtir. Çizgi verisi ardışık noktalar olup elektrik ve içmesuyu hattı, nehir, yol, gibi veriler için hat belirtir. Çokgen verisine sahip vektörel verilerse yerleşim sınırları, göller gibi çizgilerin kapalı bir alan oluşturmalarına denir. Vektörel verilerin her birinin özellikleri veri tabanı saklanır ve bu veriler harita üzerinde harita üzerinde farklı bilgiler gösterir.

Şekil 15’te CBS’nin ana bileşenleri ve şekil 16’da katmansal yapısı verilmiştir.



Şekil 17. CBS Bileşenleri



Şekil 18. CBS Katmansal yapısı

CBS ile ilgili aşağıda maddeler halinde verilen bilgiler tespit edilebilir.

- Konuma dayalı bir sistemdir.
- Sayısal veriler ile sözel veriler birlikte kullanılır.
- Verilerin depolandığı, sorgulandığı, ilişkilendirildiği, analiz edildiği bir sistemdir.
- Veri tabanı sistemleri, CAD, bilgisayar destekli kartoğrafya ve uzaktan algılama disiplinlerinin ortak paydasında buluşur.

- Standart bir sisteme kavuşturur.
- Coğrafi bilgiye ulaşmada hızlı, kolay ve güvenilirdir.
- Çeşitli konularda hazırlanmış veriler ile bağlantı kurarak daha doğru sonuçlar elde edilir.

Konuma dayalı verilerle analizler ve bu analizlerle verilecek kararların en doğruya ulaşmada verilerin doğruluğu, güncelliği, standardı ve kolay ulaşılabilir olmalıdır. Bu doğrultuda altyapı çalışmalarında kullanılacak CBS'nin getireceği yararlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Altyapı hat verilerinin sistemde anlık ve zamansal takibinin yapılabilir. Böylece su kayıpları engellenebilir, maliyet analizi, raporlama ve mobil cihazlarda güncellemede kullanılabilir.
- Altyapı hatlarında imalat yılı, boru çapı, debimetre, depo, vana ve vana gibi ekipmanların bilgileri ile etkin yönetmede kullanılabilir.
- Altyapı bilgilerinin sistem üzerinden sorgulanıp istatistiksel analizler yapılabilir.
- Eğer altyapı sistemlerinde arıza oluşmuşsa hangi bölgenin etkilenebileceği ya da hangi ekipmanın sorunlu olduğunu tespit edilebilir.

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

Trabzon Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (TİSKİ) tarafından 2020 yılında ihale edilen “İçme, Kullanma, Endüstri Suyu Temini ve Dağıtım Şebekesi Proje Yapım İşİ” kapsamında Karakaya Grubu İçmesuyu uygulama projesi yaptırılmıştır. Hazırlatılan projede mevcut durumdaki içmesuyu şebeke hatlarındaki enerji potansiyelinin hat üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan projede verilen debi ve BKV'lere gelen ve çıkan basınçlara göre değerlendirilmiştir. Projedeki BKV'lerin yerine türbin konulabilmesi için düşü-debi ve özgül hız türbin seçim kriterleri uygulanmıştır.

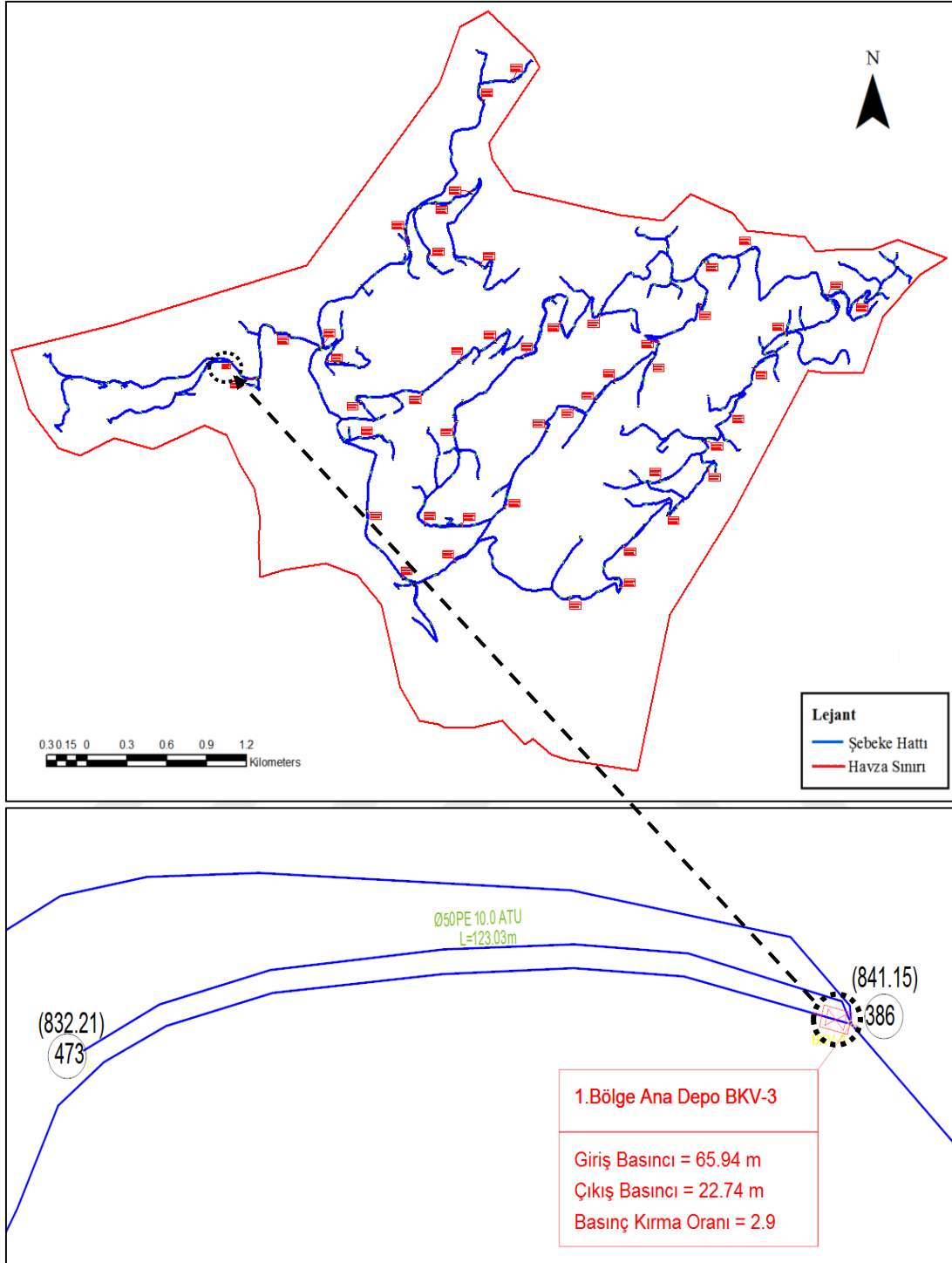
Sonrasında CBS çalışmalarında kullanılan ArcGIS yazılımı ile tematik harita, sorgulama ve analizler yapılmıştır.

2.1.Çalışma Alanı

Tez çalışmasında TİSKİ'den temin edilen Karakaya Grubu İçmesuyu uygulama projesindeki proje altlıklarından sadece 1. Bölge Ana Depo havzasını kapsayan şebeke hatları kullanılmıştır ve bu kısım Trabzon ili Maçka ilçesi Armağan Köyü'nde yer almaktadır.

Arazi şartları elverişli olmadığından çalışma alanında maslak kullanılmamış olup tüm şebekede oransal basınç kırıcı vana kullanılmıştır. Ayrıca şebeke hatlarında kullanılan her bir basınç kırıcı vananın öncesinden ana şebeke hattına paralel hat planlanarak basıncın 30 m.'nin altına düşmemesi sağlanmıştır.

Uygulama projesinde söz konusu alana ait 48 adet Basınç Kırıcı Vana (BKV) konulmuş olup hesap tablosu ile plandaki verilerde 1 tane BKV uyumsuz olduğundan çalışmadan çıkartılmıştır. Bu yüzden 47 adet BKV için çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı, Trabzon şehir merkezinden yaklaşık 15 km uzaklıkta olup Şekil 19'da şebeke hattına ait Google Earth uydu görüntüsü verilmiştir. Şekil 20'de planda BKV dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 20. Plandaki BKV dağılımları ve 386 nolu düğüm noktası (BKV-3)

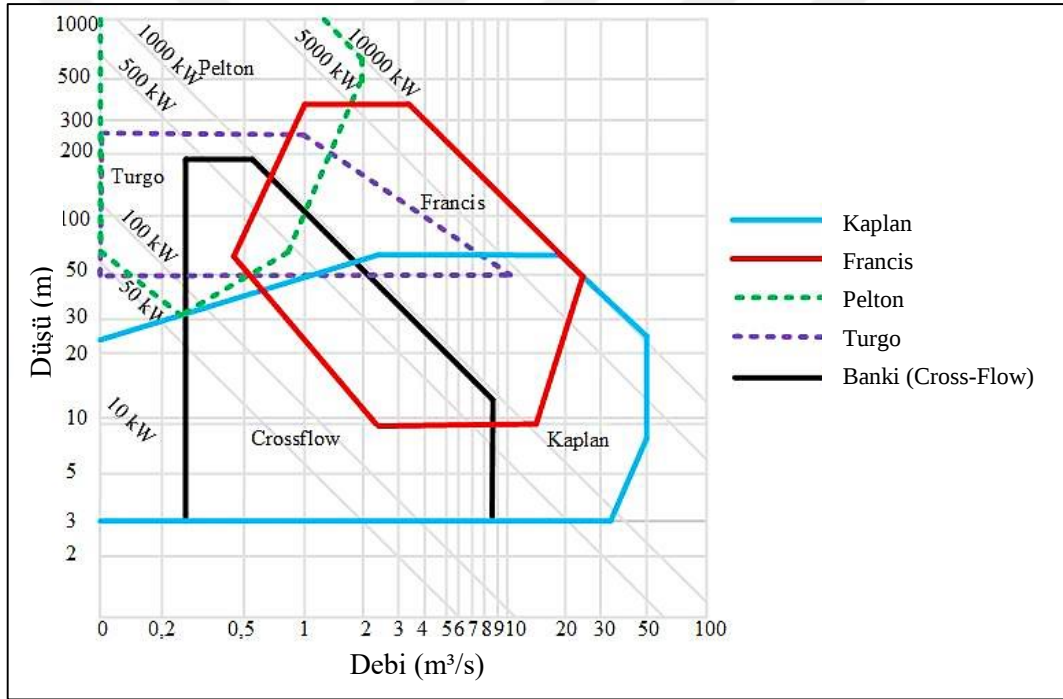
2.2.Yöntem

Bu çalışmada içmesuyu şebeke hatlarında elektrik üretimi amacıyla türbin seçim kriterleri uygulanmıştır. Ardından ArcGIS yazılımı ile tematik haritalar ve sorgulamalar yapılmıştır.

2.2.1.Türbin Seçim Kriterleri

İlk olarak düşü ve debiye göre türbin seçimi yapılmıştır. Bunun için gerekli parametreler Karakaya Grubu İçmesuyu Projesi'nde 1. Bölge Ana Depo Şebeke Hesap Tablosundan alınmıştır (Tablo 4).

Güner vd. (2008)'e göre farklı düşü ve debi bölgelerinde hidroelektrik tesislerde kullanılan türbinler gösterilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri (10 MW'a kadar)

Düşü değerleri için BKV'lere gelen basınç ile çıkan basınç farkı kullanılmış olup Net Düşü olarak ifade edilmiştir. Bunun sebebi BKV'lerde sönmölenen basıncın enerji üretiminde kullanılmasını sağlamaktır.

Tablo 4. Projeye ait şebekenin hidrolik hesap tablosu

BKV	Baş No	Hesap	Hız	Giriş	Çıkış	Net Düşü
		Debisi	V	Basıncı	Basıncı	H
		Q [m³/sn]	[m/sn]	[m]	[m]	[m]
BKV-3	386	0.00517	0.7022	65.94	22.74	43.2
BKV-4	331	0.01145	0.7334	66.49	22.93	43.56
BKV-7	391	0.01134	0.7265	64.26	22.16	42.1
BKV-8	23	0.00616	0.837	52.85	18.22	34.63
BKV-9	71	0.00107	0.4432	47.96	15.99	31.97
BKV-11	40	0.00575	0.7808	61.22	21.11	40.11
BKV-12	393	0.00104	0.6809	63.88	21.29	42.59
BKV-13	394	0.00529	0.7192	64.75	22.33	42.42
BKV-14	396	0.00524	0.7118	54.26	18.71	35.55
BKV-15	397	0.00108	0.45	63.7	21.23	42.47
BKV-17	399	0.00512	0.6964	56.85	18.95	37.9
BKV-18	401	0.00103	0.4259	64.39	21.46	42.93
BKV-19	402	0.00533	0.7236	62.8	21.66	41.14
BKV-20	403	0.00522	0.7093	64.08	22.1	41.98
BKV-21	405	0.00516	0.7008	64.04	22.08	41.96
BKV-22	406	0.00509	0.6912	56.78	19.58	37.2
BKV-23	407	0.00104	0.4295	64.08	21.36	42.72
BKV-24	408	0.00939	0.9848	64.01	22.07	41.94
BKV-25	409	0.00918	0.963	45.78	15.78	30
BKV-26	413	0.00643	0.8736	64.02	22.08	41.94
BKV-27	418	0.00633	0.8595	37.02	12.77	24.25
BKV-28	420	0.00607	0.8251	64.53	22.25	42.28
BKV-29	423	0.0059	0.8021	62.23	21.46	40.77
BKV-30	425	0.00576	0.783	51.85	17.88	33.97
BKV-33	415	0.00561	0.7617	53.18	18.34	34.84
BKV-34	434	0.00549	0.7462	63.64	21.94	41.7
BKV-35	435	0.00539	0.733	63.55	21.91	41.64
BKV-36	439	0.00535	0.7272	50.83	17.53	33.3
BKV-37	438	0.00531	0.7213	39.51	13.62	25.89
BKV-38	440	0.00104	0.4328	57.8	19.27	38.53
BKV-39	441	0.00514	0.6984	64.96	22.4	42.56
BKV-40	442	0.00504	0.685	60.01	20.69	39.32
BKV-41	445	0.00524	0.7126	63.85	22.02	41.83
BKV-42	447	0.00514	0.6982	63.86	22.02	41.84
BKV-43	448	0.00668	0.9078	63.98	22.06	41.92
BKV-44	449	0.0066	0.8972	64.58	22.27	42.31
BKV-45	450	0.00651	0.885	63.48	21.89	41.59
BKV-46	455	0.00638	0.8664	64.9	22.38	42.52
BKV-47	457	0.00613	0.8333	63.86	22.02	41.84
BKV-48	456	0.00505	0.6862	63.92	22.04	41.88
BKV-49	459	0.00593	0.806	63.02	21.73	41.29

Tablo 4 (Devam). Projeye ait şebekenin hidrolik hesap tablosu

BKV-50	461	0.00583	0.7923	57.59	19.86	37.73
BKV-51	462	0.00571	0.7755	62.38	21.51	40.87
BKV-52	463	0.00545	0.741	63.02	21.73	41.29
BKV-53	467	0.0053	0.7198	64.56	22.26	42.3
BKV-54	470	0.00518	0.7045	51.47	17.75	33.72
BKV-26-	411	0.00718	0.7526	64.52	22.25	42.27

Özgül hız, türbin seçiminde karar verici diğer parametredir. Her bir BKV’de özgül hızların hesaplanabilmesi için Brüt gücün hesaplanması ve türbin devir sayısının belirlenmesi gerekir. Brüt güç, Tablo 4’deki veriler kullanılarak eşitlik (3)’e göre hesaplanmıştır (Tablo 11).

Türbin ile jeneratör arasındaki hız değişimini en aza indirmek için farklı düşülerde türbin tipleri kullanılır. Elektrik üretiminde, rotor hızının mümkün olduğunca 1500 dev/dk’ya yakın olması istenir (Özbay E. 2009). Bu nedenle türbin devir sayısı (n) 1500 dev/dk olarak alınmıştır.

Türbinin içinde meydana gelen çeşitli enerji kayıplarına bakılmadan türbinin akışkandan aldığı güce brüt güç denir ve P_0 ile ifade edilir.

$$P_0 = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{10^3} \quad (3)$$

Burada;

P_0 : Türbin şaftından alınan gücü (kW),

Q : Türbine gelen debiyi (m^3/s),

ρ : Suyun yoğunluğunu ($\approx 1000 \text{ kg}/m^3$),

g : Yerçekimi ivmesini ($9.81 \text{ m}^2/s$),

H : Net düşüyü (m),

ifade etmektedir.

Ayrıca W, kW ya da MW cinsinden verilen bir gücün belirli bir süre içinde ürettiği/tükettiği enerji hesaplanırken saat ile çarpılır. Bunun sonucunda Wh, kWh ya da MWh cinsinden enerji miktarı bulunmuş olur.

Özgöl hız için literatürde birkaç eşitlik verilmektedir. 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı eşitliklerde verilmiş olan özgöl hız değerlerine göre türbin seçimleri Tablo 5, 6, 7 ve 8'den belirlenmiştir.

(4) numaralı n_s eşitliğinde Siervo ve Leva'ya göre türbin tipleri Tablo 7'den belirlenmiştir (Adatepe, H. 2019).

$$n_s = \frac{3470}{(H)^{0.65}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (4)$$

(5) numaralı n_s eşitliğinde türbin tipleri Tablo 7'den belirlenmiştir (Özdemir, M.S. 2020).

$$n_s = n \frac{\sqrt{P_0 \times 1.358}}{(H)^{1.25}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (5)$$

(6) numaralı n_s eşitliğinde türbin tipleri Tablo 8'den belirlenmiştir (Kafalı, K. 2019).

$$n_s = n \frac{\sqrt{\frac{P_0}{\rho}}}{(gH)^{1.25}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (6)$$

(7) numaralı n_s eşitliğinde Özdemir, M. (2002)'e göre türbin tipleri Tablo 6'dan belirlenmiştir (Yazıcı, Y. 2015).

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (7)$$

(8) numaralı n_s eşitliğinde Demirhan, A.Y. (2006)'a göre türbin tipleri Tablo 5 ve 7'den belirlenmiştir (Öztürk, E. 2012 ve Yazıcı, Y. 2015).

$$n_s = n \frac{\sqrt{P_0}}{H^{1.25}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (8)$$

(4, 5, 6, 7 ve 8) eşitliklerinde; n_s türbinin özgöl hızı (dev/dk), n türbinin anma hızı (dev/dk), P_0 türbin brüt gücü (kW), H net düşüyü (m), suyun yoğunluğu ρ ve yerçekimi ivmesi g ile ifade edilmektedir. Özgöl hız n_s ; dönüş hızı (dev/dk) cinsinden

alındığında birimsiz, dönüş hızı rad/s cinsinden alındığında ise rad biriminde elde edilmektedir.

Tablo 5. Özgül hıza (n_s) göre türbin tipleri

Türbin Tipleri	Özgül Hız (n_s) (dev/dk)
Pelton (tek püskürtücülü)	3-36
Pelton (çift püskürtücülü)	36-85
Francis	55-500
Kaplan	250-1200

Tablo 6. Özgül hıza (n_s) göre türbin tipleri

Türbin Tipleri	Özgül Hız (n_s) (dev/dk)
Pelton	1-30
Banki (Cross Flow)	20-130
Francis	80-400

Tablo 7. Özgül hıza (n_s) göre türbin tipleri

Türbin Tipleri	Özgül Hız (n_s) (dev/dk)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Banki (Cross Flow)	20-80
Francis	80-400
Kaplan (Uskur)	340-1000

Tablo 8. Özgül hıza (n_s) göre türbin tipleri

Türbin Tipleri	Özgül Hız (n_s) (dev/dk)	Düşü (m)
Pelton	0.5-3.8	100-1770
Francis	3.8-21	20-900
Kaplan	17.2-47.7	6-70

Tablo 9. Türbinlerin verimlilikleri

Türbin Tipleri	Verimlilik (%)
Kaplan	93
Francis	94
Pelton n Püskürtücü	90
Pelton 1 Püskürtücü	89

Türbin seçim kriterleri uygulandıktan sonra seçilen ESHA (2004)'ya göre türbinin verimliliği belirlenmiştir (Tablo 9). Türbinden alınan gücün verilen güce olan oranına genel verim denir. η_t ile ifade edilmektedir. Türbin verimi debiye bağlı olarak bulunmaktadır.

Brüt güç, düşü, debi ve belirlenen türbinlere göre jeneratör seçimi yapılmıştır (Tablo 10). Jeneratörün verimi ise 0,95 olarak verilmiştir. Alkan, A. (2017)

Tablo 10. Hidroelektrik tesislerde kullanılan türbin ve jeneratörlerin tipleri

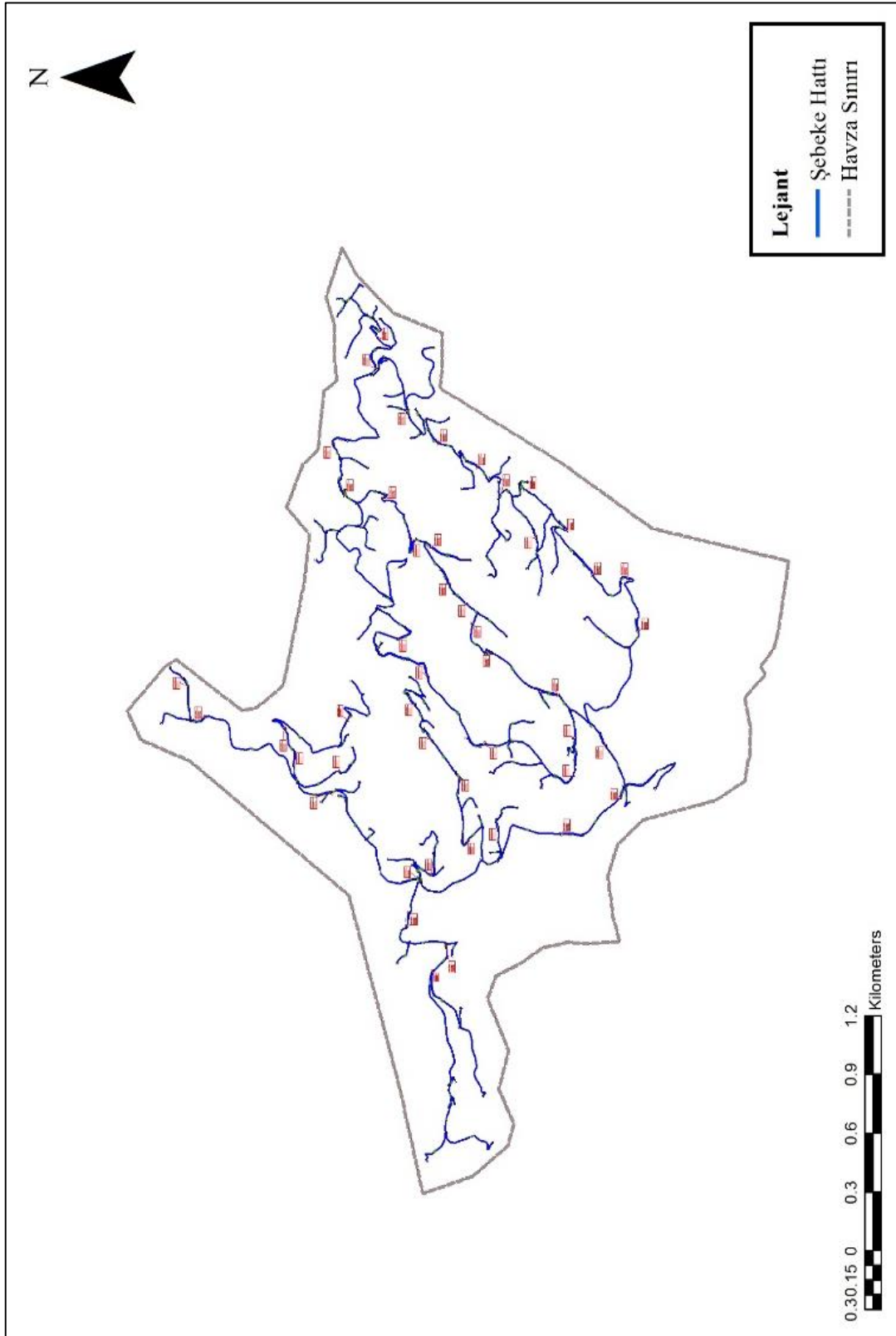
Güç (kW)	Net Düşü (m) Min/Maks	Debi (m ³ /s) Min/Maks	Türbin-Jeneratör
0.2-1	1.5 en fazla	0.05/0.13	Propeller; Kalıcı Mıknatıslı AA Jeneratör
0.3-5	2/5	0.028/0.12	Propeller; Asenkron Jeneratör
0.2-0.5	5/12	0.006/0.01	Turgo; Kalıcı Mıknatıslı AA Jeneratör
0.6-2	8/17	0.02/0.03	Turgo; Asenkron Jeneratör
0.3-5.5	12/34	0.005/0.028	Pelton; Asenkron Jeneratör
5-8	24/34	0.033/0.04	Turgo; Senkron Jeneratör
9-16	24/34	0.066/0.08	Pelton; Senkron Jeneratör
1.5-5	30/90	0.008/0.03	Pelton; Senkron -Asenkron Jeneratör

2.2.2.İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde CBS Kullanımı

Bu çalışmada ArcGIS yazılımı olan ArcMap 10.3 versiyonu kullanılmıştır. ArcMap 10.3 yazılımı masaüstü haritalama ve CBS yazılımıdır. CBS tasarımlarında ilk aşama gereksinim analizi aşamasıdır. Bu aşamada veriler, veri tipleri ve analizler belirlenmelidir. Böylece CBS ile ilgili sorgulama, bilgiye ulaşma, su temini sisteminin analizi, eğim analizleri, karar-üretme, modelleme, tematik harita üretimi, senaryo üretimi gibi çalışmalar için oldukça güçlü ve fonksiyonel bir yapı oluşturulabilecektir.

Ayrıca ArcGIS ile izohips eğrileri ve planda BKV'lerin bulunduğu noktaların kotları çıkarılarak DEM (Digital Elevation Model - Sayısal Yükseklik Modeli) verisi üretilmiştir. DEM verisi ile tematik harita (Şekil 25) yapılmış olup öznitelik tablosundan sorgulamalar gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasına ait sayısal veriler (Şekil 22) ile hesap tablosu verileri (Şekil 23) ilişkilendirilerek çalışma alanına ait bir veri tabanı oluşturulmuştur.



Şekil 22. ArcGIS’te BKV noktalarına ait plan verisi

Table		İtellelik																								
BKV	BaşNo	BaşKot	Uzunluk	ÜçNo	ÜçKot	Kot Farkı	Q	İşlemeBasi	GirişBasıncı	ÇıkışBasıncı	H	P0	n	ns(4)	ns(5)	ns(6)	ns(7)	Eğim	ns(8)	P	Francis	Kaplan	Bankı	Pelton	Turgo	Turbin
BKV-3	396	841.16	350.56	532	813.12	28.04	0.005168	48.9654	65.94	65.94	22.74	43.2	2.1	150	300.1	23.36	0.04	6.4	13.37	20.05	1.652	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-4	331	840.69	10.79	18	839.75	0.84	0.011432	23.7555	66.40	66.40	22.93	43.56	4.8	150	298.48	34.55	0.05	9.47	5.39	29.65	4.134	1	1	2	4	2 Pelton
BKV-7	391	799.26	245.36	23	768.57	30.69	0.011432	52.005	64.26	64.26	22.93	42.1	4.0	150	305.17	35.26	0.06	9.66	14.06	30.27	3.957	1	1	2	3	2 Pelton
BKV-8	23	768.57	13.15	29	767.53	1.04	0.00616	19.164	52.85	52.85	18.22	34.63	2.0	150	346.49	30.1	0.05	8.25	15.17	25.83	1.767	1	2	2	5	2 Pelton
BKV-9	71	738.83	351.34	77	699.65	39.18	0.001068	53.6958	47.96	47.96	21.59	31.97	0.3	150	364.96	13.32	0.02	3.65	22.57	11.43	0.287	1	1	2	0	4 0 Pelton
BKV-11	40	725.57	210.31	42	694.81	30.76	0.005746	50.5588	61.22	61.22	11.11	40.11	2.2	150	314.93	26.05	0.04	7.14	23.38	22.35	1.911	1	1	2	2	5 2 Pelton
BKV-12	393	682.75	181.49	45	650.79	23.96	0.001035	43.0511	63.88	63.88	21.29	42.59	0.4	150	302.89	10.59	0.02	2.9	26.93	9.09	0.364	1	1	0	3	0 Pelton
BKV-13	394	681.93	205.97	396	650	637.53	0.005293	53.1607	64.75	64.75	22.32	42.42	2.2	150	303.67	23.96	0.04	6.56	29.37	20.56	1.86	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-14	396	650	510.87	51	627.53	22.47	0.005239	38.5007	54.26	54.26	18.71	35.55	1.8	150	340.53	27.22	0.04	7.46	29.32	23.36	1.547	1	2	2	5	2 Pelton
BKV-15	397	604.95	436.22	398	562.5	42.45	0.001085	62.2576	63.7	63.7	21.23	42.47	0.4	150	303.44	10.81	0.02	2.96	15.78	9.28	0.38	1	1	0	3	0 Pelton
BKV-17	399	689.86	91.31	64	676.88	12.98	0.005125	31.4655	56.85	56.85	18.95	37.9	1.9	150	326.75	25.65	0.04	7.03	25.61	22.01	1.066	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-18	401	644.37	136.66	68	610.19	34.18	0.001027	55.1015	64.39	64.39	21.46	42.93	0.4	150	301.32	10.48	0.02	2.87	16.32	8.99	0.364	1	1	1	4	1 Pelton
BKV-19	402	758.59	210.9	84	731.66	26.93	0.005325	47.4526	62.8	62.8	21.66	41.14	2.1	150	309.78	24.61	0.04	6.74	19.52	21.12	1.818	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-20	403	716.17	249.63	405	674.23	41.94	0.00522	62.7414	64.03	64.03	22.1	41.98	2.1	150	305.74	23.98	0.04	6.57	18.54	20.58	1.818	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-21	405	674.23	135.2	88	655.49	18.74	0.005157	40.1336	64.04	64.04	22.08	41.96	2.1	150	305.83	23.85	0.04	6.54	9.49	20.47	1.792	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-22	406	639.53	167.02	92	614.4	25.13	0.005087	44.2421	56.78	56.78	19.58	37.2	1.8	150	330.73	25.93	0.04	7.1	8.76	22.25	1.573	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-23	407	757.27	182.04	258	742.35	14.92	0.001035	35.5581	64.08	64.08	21.36	42.72	0.4	150	302.29	10.57	0.02	2.89	19.27	9.07	0.372	1	1	0	3	0 Pelton
BKV-24	408	757.39	391.06	409	733.69	23.7	0.006393	42.5544	64.01	64.01	22.07	41.94	3.8	150	305.93	32.19	0.05	8.82	24.31	27.62	3.264	1	1	2	4	2 Pelton
BKV-25	409	733.69	61.62	499	727.82	5.87	0.009185	47.92	45.78	45.78	15.78	30	2.7	150	380.37	40.92	0.06	11.21	13.46	35.12	2.283	1	1	2	3	2 Pelton
BKV-26	413	673.18	48.39	298	669.66	3.52	0.006429	25.2284	64.02	64.02	22.08	41.94	2.6	150	305.93	26.64	0.04	7.3	18.79	22.86	1.241	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-27	418	658.6	223.26	307	637.29	21.31	0.006325	31.8792	37.02	37.02	12.77	24.25	1.5	150	436.78	39.86	0.06	10.92	13.37	34.21	1.277	0	2	2	2	2 Pelton
BKV-28	420	606.31	345.35	123	559.9	39.99	0.006072	58.8002	64.53	64.53	22.25	42.28	2.5	150	304.33	25.73	0.04	7.05	20.45	22.08	2.131	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-29	423	566.32	285.35	123	559.9	6.42	0.005903	25.6222	62.23	62.23	21.46	40.77	2.3	150	311.61	26.06	0.04	7.14	15.7	22.37	1.965	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-30	425	535.93	389.43	131	504.99	30.04	0.005762	47.0084	51.85	51.85	17.88	33.97	1.9	150	350.85	29.53	0.05	8.09	18.51	26.34	1.633	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-33	415	684.2	119.31	320	665.16	19.04	0.005686	36.4911	53.18	53.18	18.34	34.84	1.9	150	345.13	28.6	0.04	7.83	10.16	24.54	1.623	1	2	2	5	2 Pelton
BKV-34	434	638.73	242.36	435	597.12	41.61	0.005491	62.1621	63.64	63.64	21.94	41.7	2.2	150	307.07	24.72	0.04	6.72	12.75	21.21	1.902	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-35	435	597.12	135.11	439	568.2	28.92	0.005394	50.0855	63.55	63.55	21.91	41.64	2.2	150	307.36	24.52	0.04	6.72	22.37	21.04	1.86	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-36	439	568.2	257.96	164	501.73	44.49	0.005309	56.7275	39.51	39.51	13.62	25.89	1.3	150	418.59	34.76	0.05	9.52	19.63	29.83	1.141	1	2	2	3	2 Pelton
BKV-37	438	546.22	227.96	164	501.73	21.98	0.005352	38.7488	50.83	50.83	17.53	33.3	1.7	150	355.42	28.89	0.05	7.91	22.27	24.79	1.48	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-38	440	502	222.79	167	486.64	15.36	0.001043	33.7359	57.8	57.8	19.27	38.53	0.3	150	323.27	11.42	0.02	3.13	15.58	9.8	0.33	1	1	0	3	0 Pelton
BKV-39	441	494.89	442.3	442	457.28	37.61	0.00514	57.7735	64.96	64.96	22.4	42.56	2.1	150	303.02	23.56	0.04	6.45	9.54	20.21	1.818	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-40	442	457.28	209.61	151	431.17	26.11	0.005041	45.779	60.01	60.01	20.69	39.32	1.9	150	319.03	24.75	0.04	6.78	17.77	21.24	1.64	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-41	445	421.82	202.2	175	394.57	27.25	0.005245	48.2021	63.85	63.85	22.02	41.83	2.1	150	306.45	24.09	0.04	6.6	5.49	20.68	1.818	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-42	447	379.97	711.26	184	346.16	33.81	0.005138	52.2385	63.96	63.96	22.02	41.84	2.1	150	306.4	23.86	0.04	6.54	16.54	20.47	1.784	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-43	448	715.46	339.57	449	672.95	42.51	0.006681	61.7829	63.98	63.98	22.06	41.92	2.7	150	306.02	27.16	0.04	7.44	20.75	23.31	2.325	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-44	449	672.95	315.14	450	631.74	41.21	0.006602	60.9468	64.58	64.58	22.27	42.31	2.7	150	304.19	26.81	0.04	7.35	16.22	23.01	2.317	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-45	450	631.74	322.33	453	594.48	37.26	0.006513	56.6196	63.48	63.48	21.89	41.59	2.6	150	307.6	26.97	0.04	7.39	24.14	23.15	2.249	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-46	455	588.73	106.9	348	574.64	14.09	0.006376	35.6638	64.9	64.9	22.38	42.52	2.6	150	303.21	26.26	0.04	7.2	30.46	22.54	2.249	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-47	457	547.25	41.6	288	538.82	8.43	0.006132	30.1581	63.86	63.86	22.02	41.84	2.5	150	306.4	26.06	0.04	7.14	13.84	22.36	2.131	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-48	456	547.19	258.51	255	520.87	26.32	0.00505	47.096	63.92	63.92	22.04	41.88	2.0	150	306.21	23.63	0.04	6.47	16.83	20.28	1.75	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-49	459	506.24	174.22	238	488	18.24	0.005932	38.8306	63.02	63.02	21.73	41.29	2.4	150	309.05	25.88	0.04	7.09	12.79	22.21	2.029	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-50	461	470.38	158.3	226	443.34	27.04	0.005831	45.8933	57.59	57.59	19.96	37.73	2.1	150	327.7	27.46	0.04	7.52	12.1	23.56	1.826	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-51	462	427.85	137.66	222	414.3	13.55	0.005707	34.4805	62.38	62.38	21.61	40.87	2.2	150	311.11	25.59	0.04	7.01	20.32	21.96	1.936	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-52	463	386.34	101.97	204	377.67	8.67	0.005453	29.8293	63.02	63.02	21.73	41.29	2.2	150	309.05	24.81	0.04	6.8	15.22	21.29	1.869	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-53	467	343.51	202.86	185	328.45	15.06	0.005297	36.2388	64.56	64.56	22.26	42.3	2.2	150	304.23	24.03	0.04	6.58	13.78	20.62	1.86	1	1	2	5	2 Pelton
BKV-54	470	314.3	193.13	187	286.4	27.9	0.005184	44.6551	51.47	51.47	17.75	33.72	1.7	150	352.54	28.16	0.04	7.72	27.07	24.16	1.466	1	2	2	5	2 Pelton
BKV-26-	411	714.95	271.94	295	660.38	26.57	0.007176	47.4738	64.52	64.52	22.25	42.27	2.9	150	304.37	27.98	0.04	7.67	15.8	24.01	2.52	1	1	2	5	2 Pelton

Şekil 23. ArcGIS’te BKV noktalarına ait öz nitelik tablosu

2.3. Bulgular

2.3.1. Şebeke Hattında Türbin Seçimi

Türbin seçimi, projede verilen hesap tablosundaki değerler (Tablo 4) ile Düşü-Debi (Şekil 21) ve özgül hız eşitliklerine (4, 5, 6, 7 ve 8) göre hesaplanmıştır. Türbinlerin verimlilikleri Tablo 9'dan elde edilmiştir. Türbin seçim kriterleri sonucunda seçilebilecek türbinlere göre jeneratör seçimi yapılmıştır (Tablo 10). Bu bağlamda jeneratörün devir ve verimlilik gibi esaslar göz önüne alınarak Net Güç hesaplanmıştır (Tablo 15).

İlk olarak Düşü-Debi grafiğine (Şekil 21) göre seçim yapılmıştır. BKV'lerde 0,00103 m³/s ile 0,01145 m³/s arasında debi girişi ve 24,25 m. ile 43,56 m. arasında net düşü vardır. Bu değerler Şekil 21'deki grafiğe göre değerlendirildiğinde çalışma alanında her bir BKV yerine Pelton türbini ve/veya Kaplan türbini konulabileceği sonucu çıkmıştır (Tablo 11).

Tablo 11. Düşü ve Debi değerlerine göre belirlenen türbinler

BKV	Hesap Debisi Q [m ³ /sn]	Net Basınç H [m]	Türbin Tipleri	BKV	Hesap Debisi Q [m ³ /sn]	Net Basınç H [m]	Türbin Tipleri
BKV-3	0.00517	43.20	Pelton - Kaplan	BKV-33	0.00561	34.84	Pelton - Kaplan
BKV-4	0.01145	43.56	Pelton - Kaplan	BKV-34	0.00549	41.70	Pelton - Kaplan
BKV-7	0.01134	42.10	Pelton - Kaplan	BKV-35	0.00539	41.64	Pelton - Kaplan
BKV-8	0.00616	34.63	Pelton - Kaplan	BKV-36	0.00535	33.30	Pelton - Kaplan
BKV-9	0.00107	31.97	Pelton - Kaplan	BKV-37	0.00531	25.89	Kaplan
BKV-11	0.00575	40.11	Pelton - Kaplan	BKV-38	0.00104	38.53	Pelton - Kaplan
BKV-12	0.00104	42.59	Pelton - Kaplan	BKV-39	0.00514	42.56	Pelton - Kaplan
BKV-13	0.00529	42.42	Pelton - Kaplan	BKV-40	0.00504	39.32	Pelton - Kaplan
BKV-14	0.00524	35.55	Pelton - Kaplan	BKV-41	0.00524	41.83	Pelton - Kaplan
BKV-15	0.00108	42.47	Pelton - Kaplan	BKV-42	0.00514	41.84	Pelton - Kaplan
BKV-17	0.00512	37.90	Pelton - Kaplan	BKV-43	0.00668	41.92	Pelton - Kaplan
BKV-18	0.00103	42.93	Pelton - Kaplan	BKV-44	0.00660	42.31	Pelton - Kaplan
BKV-19	0.00533	41.14	Pelton - Kaplan	BKV-45	0.00651	41.59	Pelton - Kaplan
BKV-20	0.00522	41.98	Pelton - Kaplan	BKV-46	0.00638	42.52	Pelton - Kaplan
BKV-21	0.00516	41.96	Pelton - Kaplan	BKV-47	0.00613	41.84	Pelton - Kaplan
BKV-22	0.00509	37.20	Pelton - Kaplan	BKV-48	0.00505	41.88	Pelton - Kaplan
BKV-23	0.00104	42.72	Pelton - Kaplan	BKV-49	0.00593	41.29	Pelton - Kaplan
BKV-24	0.00939	41.94	Pelton - Kaplan	BKV-50	0.00583	37.73	Pelton - Kaplan
BKV-25	0.00918	30.00	Pelton - Kaplan	BKV-51	0.00571	40.87	Pelton - Kaplan

Tablo 11 (Devam). Düşü ve Debi değerlerine göre belirlenen türbinler

BKV-26	0.00643	41.94	Pelton - Kaplan	BKV-52	0.00545	41.29	Pelton - Kaplan
BKV-27	0.00633	24.25	Kaplan	BKV-53	0.00530	42.30	Pelton - Kaplan
BKV-28	0.00607	42.28	Pelton - Kaplan	BKV-54	0.00518	33.72	Pelton - Kaplan
BKV-29	0.00590	40.77	Pelton - Kaplan	BKV-26-	0.00718	42.27	Pelton - Kaplan
BKV-30	0.00576	33.97	Pelton - Kaplan				

Sonrasında özgül hızlara göre seçim yapılmıştır. Özgül hız (n_s) değerlerinin hesaplanmasında (4, 5, 6, 7 ve 8) eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitliklere bakıldığında özgül hızın hesaplanabilmesi için proje hesap tablosuna ek olarak her bir BKV noktasında potansiyel gücün hesaplanması gerekir. Brüt güç (3) eşitliğine göre hesaplanmıştır. (Tablo 12).

Tablo 12. Türbin seçimi için hesaplanan özgül hızlar

BKV	Güç	Türbin Devir Sayısı	Özgül Hız	Özgül Hız	Özgül Hız	Özgül Hız	Özgül Hız
	P [kW]	n [dev/dk]	ns (4) [dev/dk]	ns (5) [dev/dk]	ns (6) [dev/dk]	ns (7) [dev/dk]	ns (8) [dev/dk]
BKV-3	2.19	1500	300.10	23.36	0.04	6.40	20.05
BKV-4	4.89	1500	298.48	34.55	0.05	9.47	29.65
BKV-7	4.68	1500	305.17	35.28	0.06	9.66	30.27
BKV-8	2.09	1500	346.49	30.10	0.05	8.25	25.83
BKV-9	0.34	1500	364.96	13.32	0.02	3.65	11.43
BKV-11	2.26	1500	314.93	26.05	0.04	7.14	22.35
BKV-12	0.43	1500	302.89	10.59	0.02	2.90	9.09
BKV-13	2.20	1500	303.67	23.96	0.04	6.56	20.56
BKV-14	1.83	1500	340.63	27.22	0.04	7.46	23.36
BKV-15	0.45	1500	303.44	10.81	0.02	2.96	9.28
BKV-17	1.90	1500	326.75	25.65	0.04	7.03	22.01
BKV-18	0.43	1500	301.32	10.48	0.02	2.87	8.99
BKV-19	2.15	1500	309.78	24.61	0.04	6.74	21.12
BKV-20	2.15	1500	305.74	23.98	0.04	6.57	20.58
BKV-21	2.12	1500	305.83	23.85	0.04	6.54	20.47
BKV-22	1.86	1500	330.73	25.93	0.04	7.10	22.25
BKV-23	0.44	1500	302.29	10.57	0.02	2.89	9.07
BKV-24	3.86	1500	305.93	32.19	0.05	8.82	27.62
BKV-25	2.70	1500	380.37	40.92	0.06	11.21	35.12
BKV-26	2.65	1500	305.93	26.64	0.04	7.30	22.86
BKV-27	1.51	1500	436.78	39.86	0.06	10.92	34.21
BKV-28	2.52	1500	304.33	25.73	0.04	7.05	22.08
BKV-29	2.36	1500	311.61	26.06	0.04	7.14	22.37
BKV-30	1.92	1500	350.85	29.53	0.05	8.09	25.34
BKV-33	1.92	1500	345.13	28.60	0.04	7.83	24.54

Tablo 12 (Devam). Türbin seçimi için hesaplanan özgül hızlar

BKV-34	2.25	1500	307.07	24.72	0.04	6.77	21.21
BKV-35	2.20	1500	307.36	24.52	0.04	6.72	21.04
BKV-36	1.75	1500	355.42	28.89	0.05	7.91	24.79
BKV-37	1.35	1500	418.59	34.76	0.05	9.52	29.83
BKV-38	0.39	1500	323.27	11.42	0.02	3.13	9.80
BKV-39	2.15	1500	303.02	23.56	0.04	6.45	20.21
BKV-40	1.94	1500	319.03	24.75	0.04	6.78	21.24
BKV-41	2.15	1500	306.45	24.09	0.04	6.60	20.68
BKV-42	2.11	1500	306.40	23.86	0.04	6.54	20.47
BKV-43	2.75	1500	306.02	27.16	0.04	7.44	23.31
BKV-44	2.74	1500	304.19	26.81	0.04	7.35	23.01
BKV-45	2.66	1500	307.60	26.97	0.04	7.39	23.15
BKV-46	2.66	1500	303.21	26.26	0.04	7.20	22.54
BKV-47	2.52	1500	306.40	26.06	0.04	7.14	22.36
BKV-48	2.07	1500	306.21	23.63	0.04	6.47	20.28
BKV-49	2.40	1500	309.05	25.88	0.04	7.09	22.21
BKV-50	2.16	1500	327.70	27.46	0.04	7.52	23.56
BKV-51	2.29	1500	311.11	25.59	0.04	7.01	21.96
BKV-52	2.21	1500	309.05	24.81	0.04	6.80	21.29
BKV-53	2.20	1500	304.23	24.03	0.04	6.58	20.62
BKV-54	1.71	1500	352.54	28.16	0.04	7.72	24.16
BKV-26-	2.98	1500	304.37	27.98	0.04	7.67	24.01

Tablo 5, 6, 7 ve 8’de özgül hız aralıklarına göre her bir özgül hız eşitliği için türbinler belirlenmiştir (Tablo 13). Eşitlik (4) ve (5)’te Tablo 7, eşitlik 6’da Tablo 8, eşitlik 7’de Tablo (6) ve eşitlik (8)’de Tablo 5 ve 7’ye göre seçim yapılmıştır.

Tablo 13. n_s eşitlikleri (4, 5, 6, 7 ve 8) ile seçilebilecek türbinler

BKV	n_s (4) Tablo 7	n_s (5) Tablo 7	n_s (6) Tablo 8	n_s (7) Tablo 6	n_s (8) Tablo 5	n_s (8) Tablo 7
BKV-3	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-4	Francis	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-7	Francis	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Turgo-Banki
BKV-8	Francis-Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-9	Francis-Kaplan	Pelton	-	Pelton	Pelton	-
BKV-11	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-12	Francis	-	-	Pelton	Pelton	-
BKV-13	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-14	Francis-Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-15	Francis	-	-	Pelton	Pelton	-
BKV-17	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki

Tablo 13 (Devam). n_s eşitlikleri (4, 5, 6, 7 ve 8) ile seçilebilecek türbinler

BKV-18	Francis	-	-	Pelton	Pelton	-
BKV-19	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-20	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-21	Francis	Pelton Turgo Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton Turgo-Banki
BKV-22	Francis	Pelton Turgo Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-23	Francis	-	-	Pelton	Pelton	-
BKV-24	Francis	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-25	Francis	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Turgo Banki
BKV-26	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-27	Kaplan	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Turgo-Banki
BKV-28	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-29	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-30	Francis-Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-33	Francis-Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-34	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-35	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-36	Francis-Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-37	Kaplan	Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-38	Francis	-	-	Pelton	Pelton	-
BKV-39	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-40	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-41	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-42	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-43	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-44	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-45	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-46	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-47	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-48	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-49	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-50	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-51	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-52	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-53	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-54	Kaplan	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki
BKV-26-	Francis	Pelton-Turgo-Banki	-	Pelton	Pelton	Pelton-Turgo-Banki

Düşü-Debi ve özgül hızlara göre seçilebilecek türbinler Tablo 11 ve Tablo 13'te verilmiştir. Altı farklı parametre ile belirlenen türbinlerin bir parametresi Düşü-

Debi grafiğinde belirlenen türbinler, diğer beş parametresi ise özgül hız eşitlikleri (4, 5, 6, 7, 8) ile seçilebilecek türbinlerdir.

Tablo 11 ve 13'te türbin seçim kriterlerine göre belirlenen türbinlerin ağırlıkları, Tablo 14'te değerleri verilmiştir. Bu değerler Tablo 5, 6, 7 ve 8'e göre ayrı ayrı belirlenmiş olup bu değerler her bir tabloda verilen değerlere göre ayrılmıştır. Buna göre BKV'ler yerine konulabilecek türbinlerin ağırlıklarına bakıldığında çalışma alanında seçilebilecek türbin Pelton türbindir (Tablo 14).

Tablo 14. Türbin ağırlıkları ve seçilebilecek türbin

BKV	Francis	Kaplan	Pelton	Turgo	Banki	Seçilebilecek Türbin
BKV-3	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-4	1	1	4	2	2	Pelton
BKV-7	1	1	3	2	2	Pelton
BKV-8	1	2	5	2	2	Pelton
BKV-9	1	2	4	0	0	Pelton
BKV-11	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-12	1	1	3	0	0	Pelton
BKV-13	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-14	1	2	5	2	2	Pelton
BKV-15	1	1	3	0	0	Pelton
BKV-17	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-18	1	1	4	1	1	Pelton
BKV-19	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-20	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-21	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-22	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-23	1	1	3	0	0	Pelton
BKV-24	1	1	4	2	2	Pelton
BKV-25	1	1	3	2	2	Pelton
BKV-26	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-27	0	2	2	2	2	Pelton
BKV-28	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-29	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-30	1	2	5	2	2	Pelton
BKV-33	1	2	5	2	2	Pelton
BKV-34	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-35	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-36	1	1	5	2	2	Pelton

Tablo 14 (Devam). Türbin ağırlıkları ve seçilebilecek türbin

BKV-37	1	2	3	2	2	Pelton
BKV-38	1	1	3	0	0	Pelton
BKV-39	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-40	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-41	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-42	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-43	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-44	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-45	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-46	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-47	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-48	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-49	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-50	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-51	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-52	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-53	1	1	5	2	2	Pelton
BKV-54	1	2	5	2	2	Pelton
BKV26-	1	1	5	2	2	Pelton

Türbin belirleme işlemi tamamlandıktan sonra belirlenen türbine ait verim değerlerinin belirlenmesi gerekir. Türbinlerin maksimum türbin verimliliğine göre seçilen verim değerleri kullanılmıştır. Pelton 1(bir) püskürtücülü türbin için bu değer % 89'dur (Tablo 9).

Jeneratör seçiminde ise Pelton Türbinine göre güç, düşü ve debi parametrelerinden seçim yapılmıştır (Tablo 10). Bu değerler göz önüne alındığında Pelton türbin için seçilebilecek jeneratör Asenkron jeneratördür (Tablo 10). Ayrıca jeneratör verimi %95 olarak alınmıştır. Bu bağlamda jeneratörün devir ve verimlilik gibi değerlerine göre Net Güç hesaplanmıştır (Tablo 15).

Tablo 15. BKV noktalarındaki Net Güç değerleri

BKV	Güç P [kW]	Net Güç P. η_t , η_j [kW]	BKV	Güç P [kW]	Net Güç P. η_t , η_j [kW]
BKV-3	2.19	1.852	BKV-30	1.92	1.623
BKV-4	4.894	4.134	BKV-33	1.916	1.623
BKV-7	4.685	3.957	BKV-34	2.246	1.902
BKV-8	2.093	1.767	BKV-35	2.203	1.86

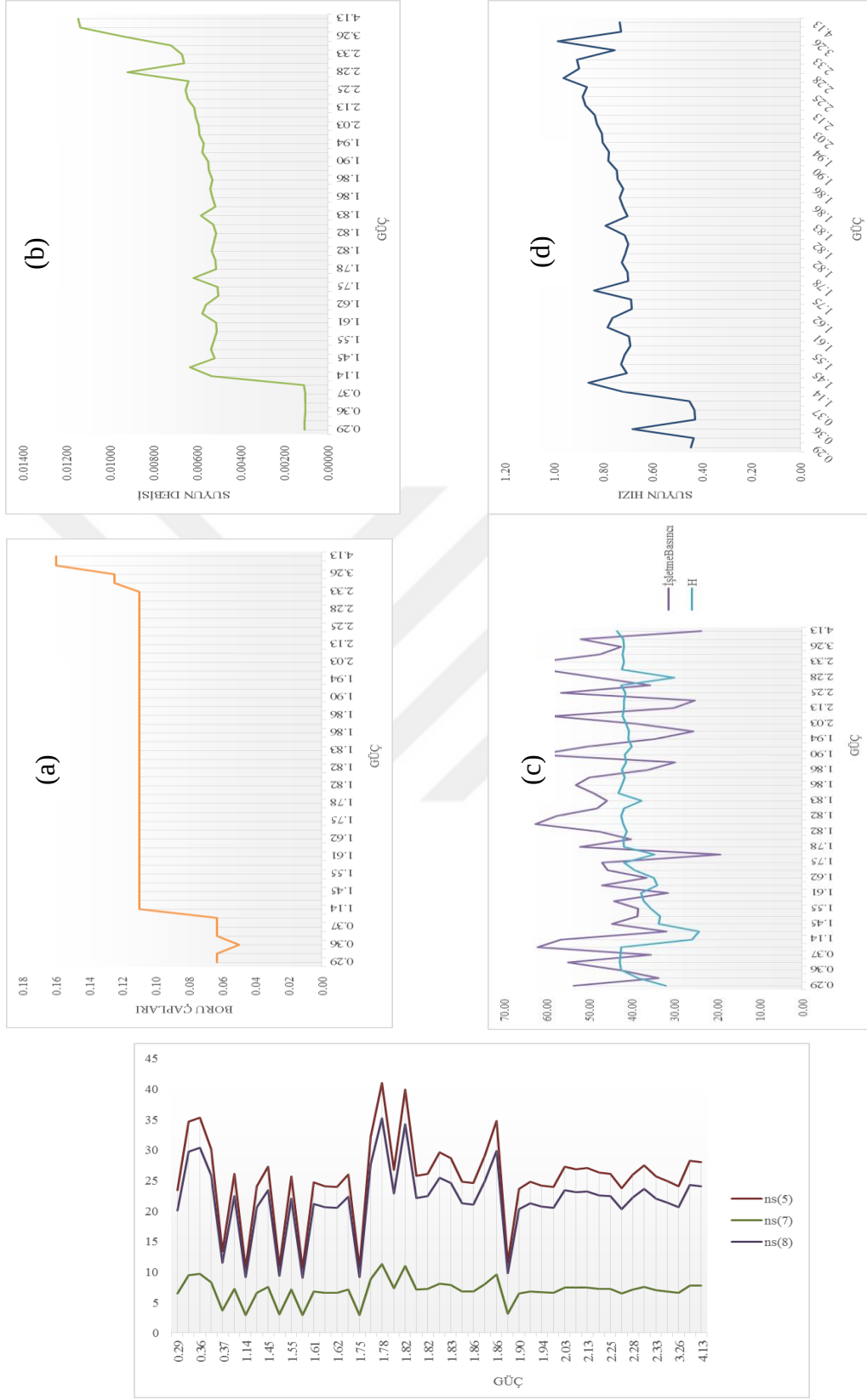
Tablo 15. BKV noktalarındaki Net Güç değerleri

BKV-9	0.335	0.287	BKV-36	1.748	1.48
BKV-11	2.261	1.911	BKV-37	1.348	1.141
BKV-12	0.433	0.364	BKV-38	0.394	0.33
BKV-13	2.203	1.86	BKV-39	2.146	1.818
BKV-14	1.827	1.547	BKV-40	1.944	1.64
BKV-15	0.452	0.38	BKV-41	2.152	1.818
BKV-17	1.905	1.606	BKV-42	2.109	1.784
BKV-18	0.432	0.364	BKV-43	2.747	2.325
BKV-19	2.149	1.818	BKV-44	2.74	2.317
BKV-20	2.15	1.818	BKV-45	2.657	2.249
BKV-21	2.123	1.792	BKV-46	2.66	2.249
BKV-22	1.856	1.573	BKV-47	2.517	2.131
BKV-23	0.434	0.372	BKV-48	2.075	1.75
BKV-24	3.864	3.264	BKV-49	2.403	2.029
BKV-25	2.703	2.283	BKV-50	2.158	1.826
BKV-26	2.645	2.241	BKV-51	2.288	1.936
BKV-27	1.505	1.277	BKV-52	2.209	1.869
BKV-28	2.519	2.131	BKV-53	2.198	1.86
BKV-29	2.361	1.995	BKV-54	1.715	1.446
			BKV-26-	2.977	2.52

*($\eta_{\text{türbin}} = 0.89$, $\eta_{\text{jeneratör}} = 0.95$)

47 adet BKV için yapılan çalışmada türbin seçim kriterleri uygulanmış olup 6 parametreye (Düşü-Debi, n_{s4} , n_{s5} , n_{s6} , n_{s7} ve n_{s8}) bağlı Tablo 14’te belirtilen Pelton, Francis, Banki, Kaplan, Turgo türbinleri arasından Pelton türbini seçilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu parametrelerden n_{s4} ve n_{s6} eşitliklerinde verilen özgül hızlar diğer parametreler ile uyumsuz olduğu Düşü-Debi, n_{s5} , n_{s7} ve n_{s8} parametreleri ise birbiriyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

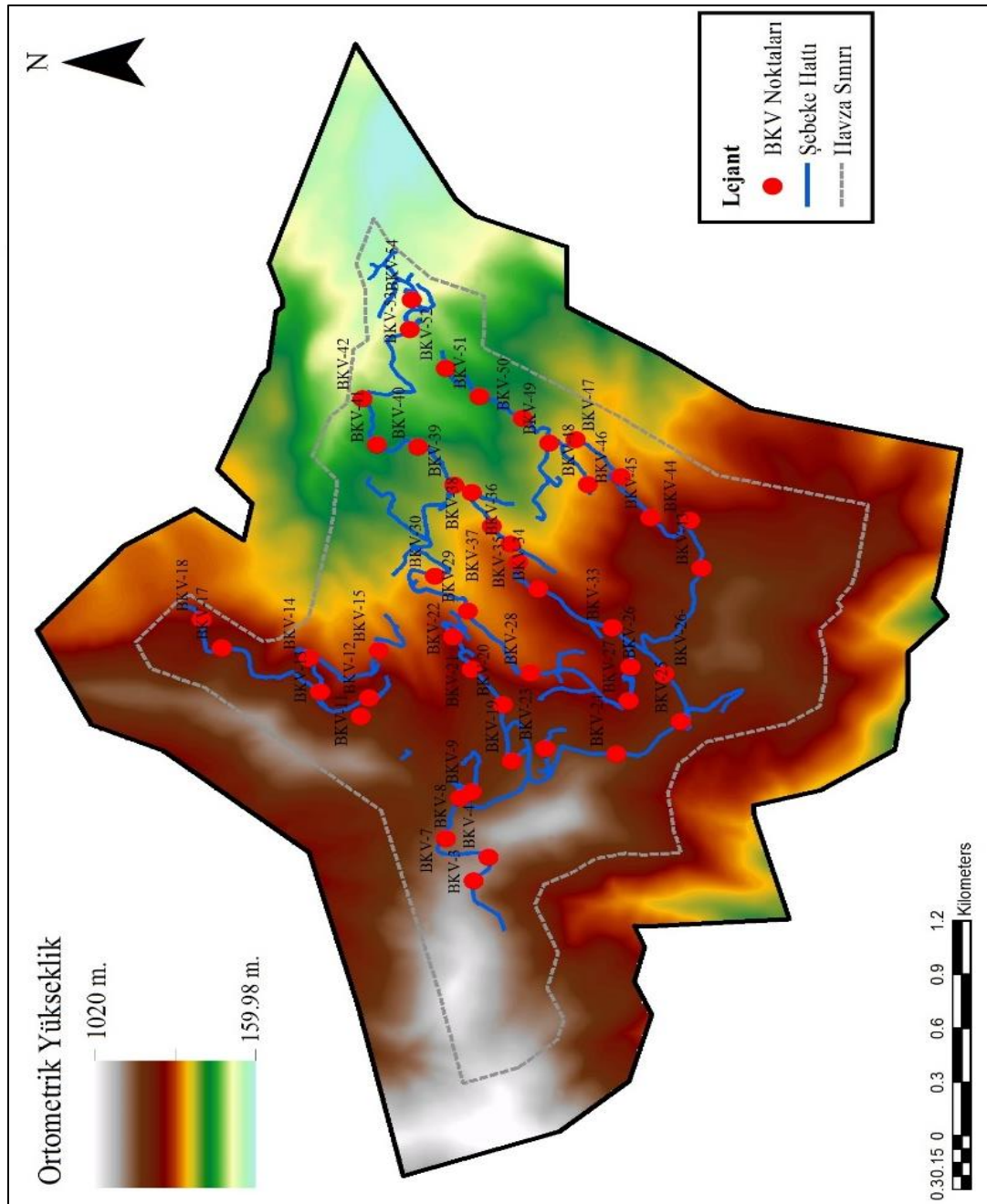
Şekil 24’te verilen grafiklerde suyun debisi, suyun hızı, boru çapları, net düşü, işletme basıncı ve birbirleriyle ilişkili olduğu gözlemlenen özgül hızlar (n_{s5} , n_{s7} ve n_{s8}) hesaplanan net güce göre ilişkileri verilmiştir. Şekil 23 –a, –b ve –d’de net gücün 0.38 kW’tan fazla olduğu durumda suyun debisi, suyun hızı ve boru çapları grafiğinde ani bir değişim olmuştur. Şekil 23 –c, ve –e’de özgül hızlar (n_{s5} , n_{s7} ve n_{s8}), işletme basıncı ve net düşü grafiğinde ise rastgele bir dağılım vardır.



(e)
Şekil 24. Proje ve hesaplanan parametrelerle net gücün ilişkisi

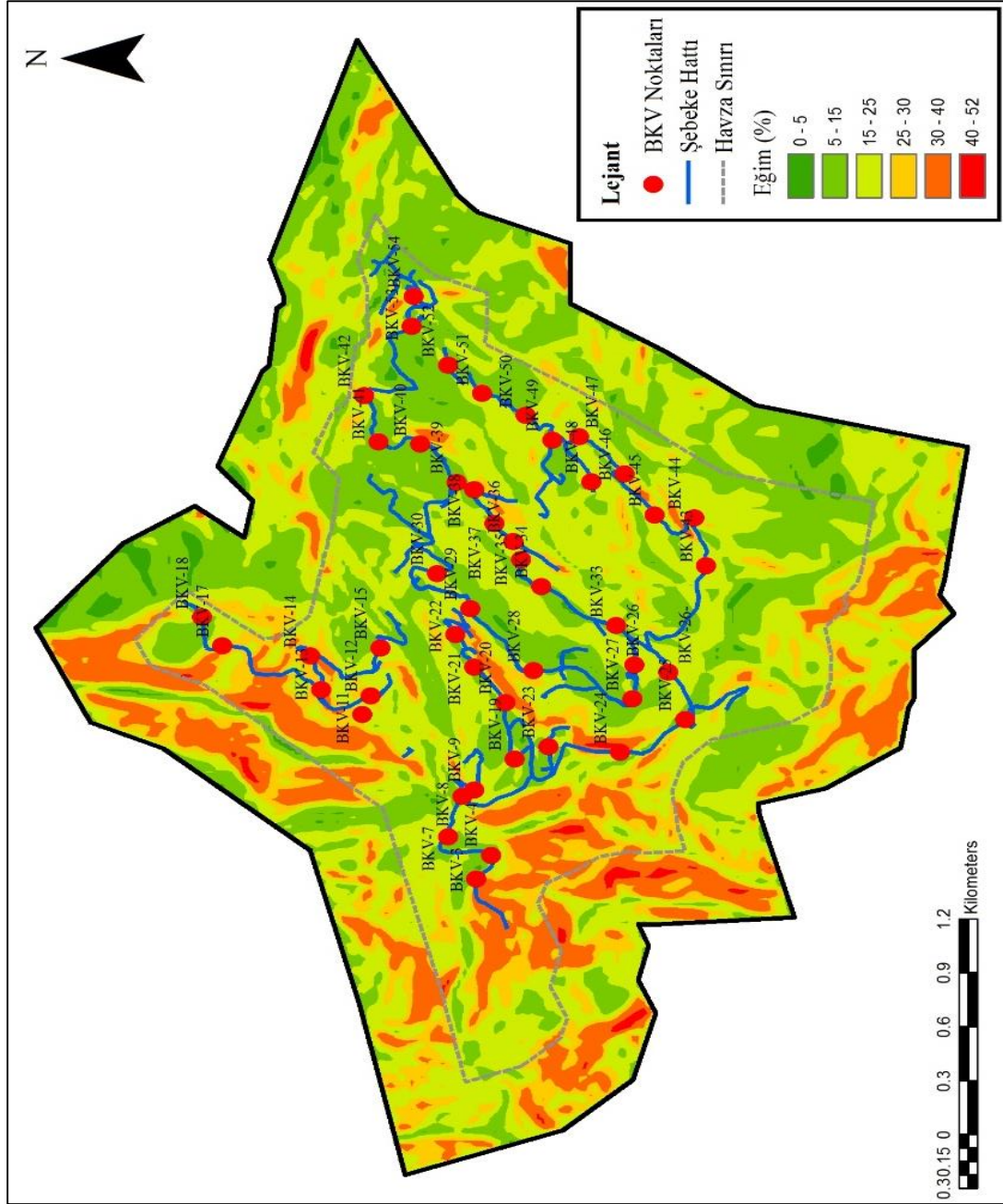
2.3.2. CBS İle Şebeke Hattının Değerlendirilmesi

ArcGIS ile sorgulama, eğim analizleri, tematik harita üretimi gibi veriler üretilmiştir. Bu çalışmalar için bir takım verilere ihtiyaç vardır. Bu verilerden bir tanesi de DEM verisidir. Bunun için elde edilen DEM verisi ile projede verilen BKV noktalarının kotları ile karşılaştırılıp düzenlenerek Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Çalışma alanına ait DEM verisi

DEM verisi kullanılarak bakı, eğim, havza analizi, kabartma harita vb. veriler üretilebilir. Eğim analizi Şekil 26'da ve eğim analizine bağlı olarak BKV'lerin bulunduğu yüzeylerin eğimi Tablo 16'de verilmiştir.

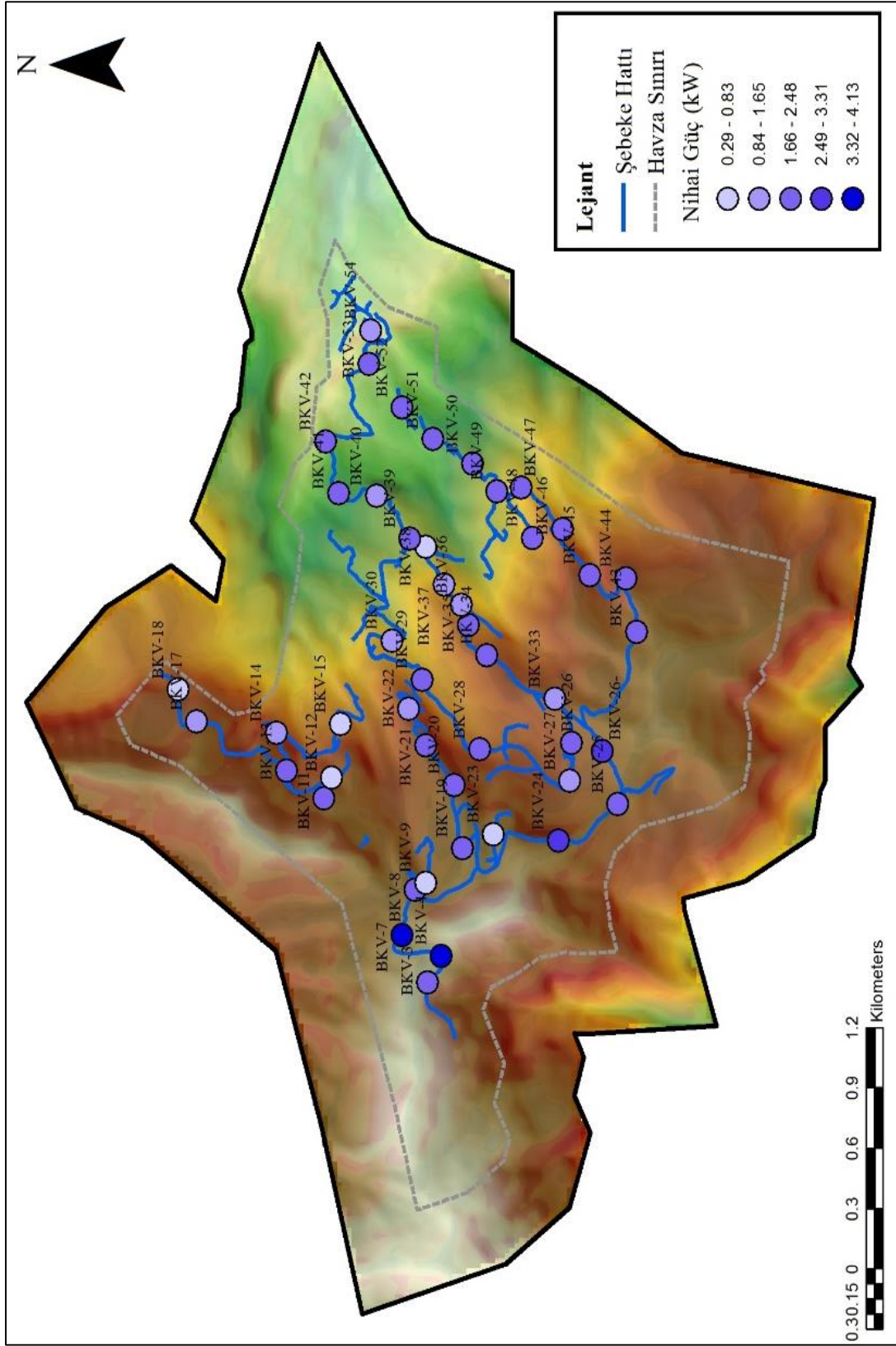


Şekil 26. Eğim analizi

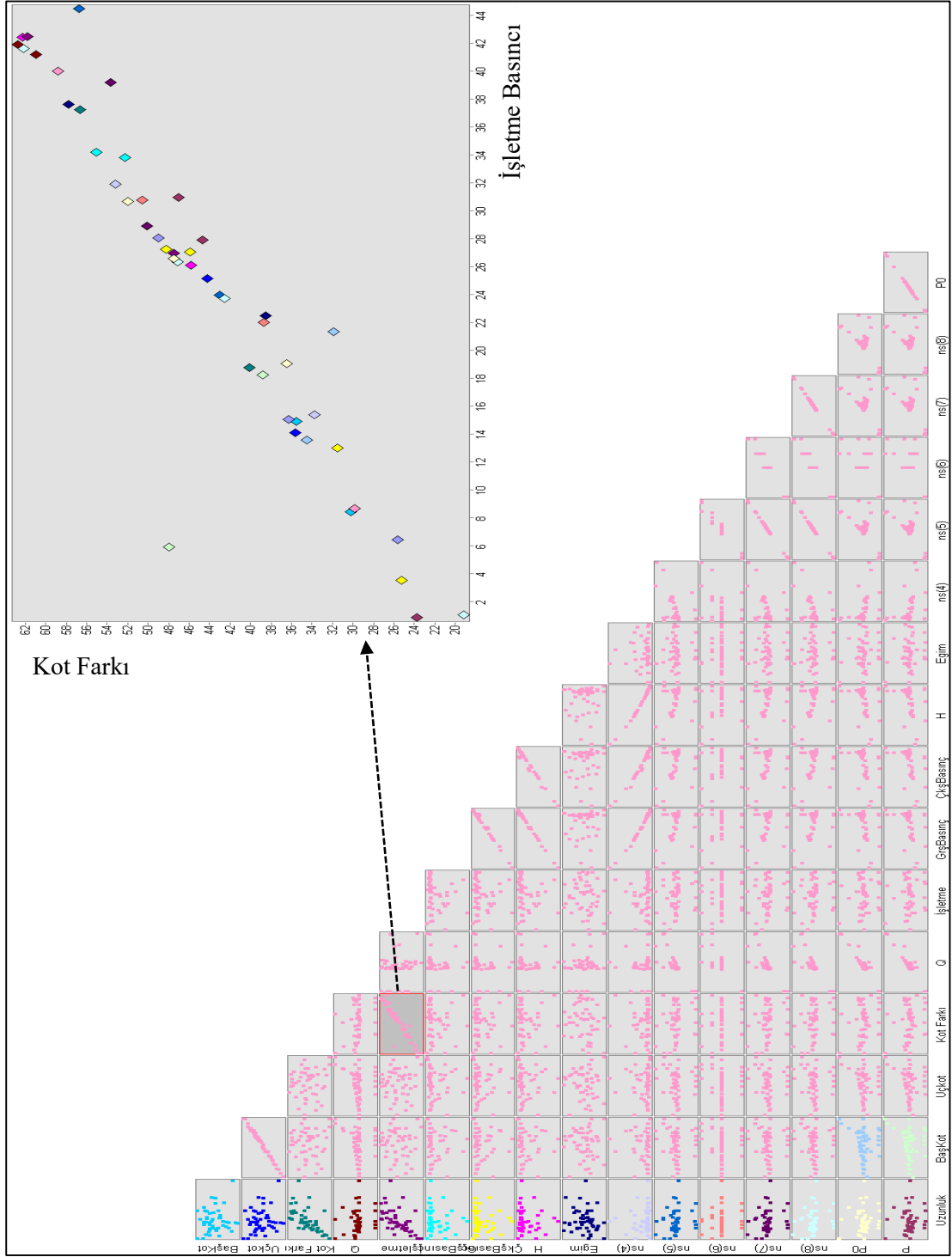
Tablo 16. BKV'lerin bulunduğu yüzeylerin eğim değerlerinin yüzdeleri

BKV	Eğim Değeri (%)	BKV	Eğim Değeri (%)	BKV	Eğim Değeri (%)
BKV-3	13.37	BKV-22	8.76	BKV-40	17.77
BKV-4	5.39	BKV-23	19.27	BKV-41	5.49
BKV-7	14.08	BKV-24	24.31	BKV-42	16.54
BKV-8	15.17	BKV-25	13.46	BKV-43	20.75
BKV-9	22.57	BKV-26	18.79	BKV-44	16.22
BKV-11	23.38	BKV-27	13.37	BKV-45	24.14
BKV-12	26.93	BKV-28	20.45	BKV-46	30.46
BKV-13	29.57	BKV-29	15.7	BKV-47	13.84
BKV-14	29.32	BKV-30	18.51	BKV-48	16.83
BKV-15	15.78	BKV-33	10.16	BKV-49	12.79
BKV-17	25.61	BKV-34	12.75	BKV-50	12.1
BKV-18	16.32	BKV-35	22.37	BKV-51	20.32
BKV-19	19.52	BKV-36	22.27	BKV-52	15.22
BKV-20	18.54	BKV-37	19.63	BKV-53	13.78
BKV-21	9.49	BKV-38	15.58	BKV-54	27.07
		BKV-39	9.54	BKV-26-	15.8

Şekil 26'da BKV noktalarındaki DEM verisi üzerinde güç dağılımı tematik harita şeklinde verilmiştir. BKV noktalarındaki öznelite tablosunda istenilen değerler seçilip proje ve hesaplanan parametrelerle grafikler oluşturularak grafikler arasında kıyas yapılabilir. Şekilde 28'de özgül hızlar, debi, düşü, işletme basıncı vs. gibi proje ve hesaplanan parametreler ile grafiklerle ilişkilerine bakılabilir. Örneğin işletme basıncı ile kot farkı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülebilir. (Kot farkı; her BKV noktasının bir önceki kottan farkı alınarak hesaplanmıştır. Kot farkı = Baş No – Uç No).



Şekil 27. BKV noktalarındaki Net Güç dağılımı



Şekil 28. BKV noktalarındaki proje ve hesaplanan parametrelerle grafik oluşturma

ArcGIS'te yapılabilen başka bir uygulamada öznetelik bilgilerinden sorgulama işlemidir. Örneğin BKV noktalarında Net Güç verilerinden 2 kW'tan büyük olan veriler gösterebilir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada TİSKİ tarafından projesi yaptırılan Trabzon-Karakaya’da mevcut içmesuyu şebekesinde bulunan basınç kırıcı vanalarda elektrik enerjisi üretilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, mevcut içmesuyu hatlarında enerji üretimi potansiyeli CBS ile analiz edilerek, içmesuyu şebekesi üzerinde bir örneklem oluşturulmuştur.

İçmesuyu hatları üzerinde fazla basıncı kırmak ve işletme basıncına düşürmek amacıyla maslak, depo ya da BKV’ler gibi basınç kırıcı elemanlar kullanılmaktadır. Bu tesislerde sönmölen basınçtan yararlanılarak sistem yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılarak doğaya zarar vermeden çevreci elektrik enerjisi elde edilebilir. Böylece çevre dostu yenilebilir enerji elde edilerek, hem fosil kaynaklar kullanılmamış olur hem de bu fosil yakıtların ithal edilme zorunluluğu ortadan kalkmış olur. Böylelikle kamu ve özel sektörün en büyük harcamalarından olan enerji harcamalarına çözüm bulunmuş, bütçelerine de destek sağlamış olurlar.

Çalışma alanında kullanılacak Pelton türbini ile BKV noktalarındaki güç değerleri 0,29 kWh ile 4,89 kWh arasında değişmektedir (Tablo 13). Çalışma alanında bulunan 47 adet BKV’nin yerine mikro Pelton türbinler kullanılarak, toplamda 84,12 kWh’lik bir elektrik enerjisi üretilebilir. Kocaman B. (2012) yaptığı çalışmada seçtiği 10 ayrı abonenin üç aylık ortalama aylık enerji tüketimini 192,2 kWh olarak bulmuştur. Böylece saatlik harcama her bir abone için 0,27 kWh’tir. Buna göre çalışma alanında toplam 84,12 kWh’lik enerji ile 311 abonenin elektrik ihtiyacı giderilebilir.

İçmesuyu şebekelerinin projelendirilmesi esnasında boru çapları, basınç gibi hidrolik hesaplar ve türbin maliyetleri analiz edilerek yeni yapılacak içmesuyu şebekelerinde projelendirme maliyetleri en aza çekilip maksimum enerji elde edilebilir. Her ne kadar ilk yatırım maliyeti fazla olsa da kendini amorti edebilecektir.

Ayrıca, sensörler kablolu su dağıtım sistemlerini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sensörler elektrik güç kaynağının olmadığı veya pil değişiminin zor olduğu yerlere kurulduğunda, içmesuyu şebekelerinden elde edilen enerjinin buralarda kullanılması daha cazip hale gelecektir.

Mikro türbinlerin şebeke hatlarının uygun yerlerine yerleştirilmesi ile üretilen elektrik enerjisi, sokak aydınlatmaları ile entegre edilerek kullanılıp tasarruf

sağlanabilir. Ayrıca, elektrikli araçlar için oluşturulan şarj istasyonlarına elektrik temin etmesiyle de elektrikli araçların düşük maliyetle şarj edilmesine de imkan verilebilir.

Regresyon analizi ile istatistiksel çalışmalar yapılmak suretiyle yapılacak çalışmalar için daha doğru analizler elde edilebilir.

Kullanılacak türbinlerin maliyetleri göz önünde bulundurularak BKV noktalarında üretilecek enerji için mikro türbin kullanılması konuları maliyet analizi yapılarak kar/zarar verir mi sorusuna daha sağlıklı cevap verilebilir.

Devir sayılarının yeterli olmadığı durumlarda dişli kutularına ihtiyaç olup olmadığı ya da yüksek devirlerde türbine zarar vermemesi için frenleme sistemine gerek duyulup duyulmadığı araştırılabilir. Ayrıca farklı türbin devir sayılarına göre türbin seçim kriterleri de uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Adatepe H. (2019). Hidroelektrik santrallerde türbin seçimi ve Francis türbin tasarım parametreleri. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 9(2), 349-358.
- Ağuş M. (2011). Altyapı bilgi sistemleri ve ülkemizde uygulamalarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Akbulut T., Kurt O., Ekinci. (2011). Su dağıtım şebekelerinin tasarımı için CBS modülü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 18-22 Nisan.
- Alkan M., Filiz Ö. (2019). Altyapı bilgi sistemleri tasarımı ve uygulaması. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>
- Alkan A. (2017). Cazibeli isale hatlarında elektrik üretim sistemi, Yüksek Lisans Tezi. Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Altınışık A. (2020). İzmir ili için fotovoltaik güç santralleri yer seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye
- Arslan E., Topal H. (2015). Güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel analizi ve enerji üretim sistemlerine uyarlanması üstüne bir araştırma. UHMFD, Sayı: 4, 14-31.
- Aydiner, İ., Öztürk, D.(2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Ege Denizi'nde Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri İçin Yer Seçimi. DEUFMD, 23(67), 217-232.
- Başeşme H. (2003). Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri. Kitap 2. Baskı, Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Can G. (2019). Coğrafi bilgi sistemleri ile analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak rüzgâr türbin santralleri için yer seçimi: Çanakkale ili örneği. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye.
- Cinal H. (2009). Basınç yönetimi ile içmesuyu şebeke kayıplarının azaltılması: Sakarya örneği. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Dağdelen E. (2019). Basınçlı sulama hatlarında basınç düşürücü vanalara alternatif olarak Mini-Hidroelektrik türbinlerin kullanım olanaklarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

- Derya Mühendislik Müşavirlik İnşaat Sanayi Tic. A.Ş. (2020). Karakaya Grubu içmesuyu Projesi Proje Raporu, TİSKİ, Trabzon
- Diş M. (2022). İçmesuyu isale hatlarındaki basınç kırıcı yapılarda enerji üretiminin yapısal tasarımı ve analizi: Trabzon örneği. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 34(1), 61-73, <https://doi.org/10.35234/fumbd.949039>
- Doğan Ç., Arıcan M., Erartsın Ö. (2022). İçme ve kullanma suyu üzerine bir inceleme: Yeşilce örneği. Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, <https://orcid.org/0000-0002-6072-2721>, <https://orcid.org/0000-0002-5083-0243>, <https://orcid.org/0000-0001-9565-6632>
- Dölgen D. (2015). Kentsel su dağıtım sistemlerinde su kalitesinin alansal değişiminin coğrafi bilgi sistemleri desteği ile belirlenmesi. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon, 13-14 Kasım.
- Güner, E., Tör, O. B., Altın, M. Ve Nadar, A. 2008. Küçük Hidrolik Santrallerin Projelendirilmesinde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Bazı Temel Hususlar. ELOCO'08, Kasım, Bursa, Türkiye.
- Güney G. (2017). Porsuk havzasında küçük ölçekli hidroelektrik enerji potansiyelinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Anadolu Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, Türkiye.
- Kafalı K. (2020). Hidroelektrik bir santralin Brüt ve gerçek performansının karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye.
- Kerim, A., Süme, V. (2021). İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi; Boru İçi Türbin Modeli. Türk Hidrolik Dergisi, 5 (1) , 8-17.
- Kırcalı Ş. (2019). Çok kriterli karar verme analizi kullanılarak cbs tabanlı güneş tarlası yer seçimi: Antalya ili örneği. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.
- Kocakaya Ş. (2010). Şehir suyu şebeke basıncının su tüketimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Kocaman B., (2012). Elektronik Sayaç Kullanımında Tarife Seçiminin Önemi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science, 1(1), 59-65.
- Kumar P., Shahid M. (2017). Harvesting electricity from water mains hydropower system generates power from water pipelines, International Journal of Advance Research in Science and Engineering, Vol. No.6, Issue No. 08, www.ijarse.com

- Memduhoğlu A. vd. (2014). Rüzgar Türbini Kurulacak Alanların CBS-ÇÖKA Kullanılarak Belirlenmesi: Davutpaşa Kamp. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS).
- MNE Proje, (2020). Atıksu Arıtma Tesislerine MikroHES.
- Morova N. (2010). Cbs tabanlı içmesuyu bilgi sistemi: örnek bir uygulama. SDU International Technologic Sciences, Construction Technology, Vol. 2, No 2.
- Muratoğlu, A., Yüce, İ. (2015). Alternatif bir enerji üretim yöntemi olarak hidrokinetik enerji türbinleri. 4. Su Yapıları Sempozyumu (pp. 341–350) Antalya.
- Mwanza M. (2019). Güneş ve rüzgâr enerjisi santralleri için sürdürülebilir sahaların coğrafi bilgi sistemi tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemiyle belirlenmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Nişancı R., Yıldırım V., Özçelik A.E. (2010). Rüzgar enerjisi üretim alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile belirlenmesi: Trabzon ili örneği. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu. Kocaeli, Türkiye.
- Özbay E. (2009). Küçük hidroelektrik santrallerin modellenmesi ve benzetimi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Özdemir M. (2012). Çok küçük hidroelektrik santrallerde akıllı denetleyici destekli aktif ve reaktif güç kontrolü. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Özdemir, M., Dalcı A., Ocak C. (2020). Akarsu tipi hidroelektrik santraller ve bu santrallerde kullanılan türbin-generatörler. Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, 69 - 75, <https://doi.org/10.46387/bjesr.798387>
- Öztürk E. (2012). Bir mikro hidro türbinin tasarımı analizi ve deneysel incelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Sülüki M. (2010). Küçük hidroelektrik santrallerde cansuyunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Süme, V. (2018). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Mikro Su Yapıları; Maçka'da Örnek Bir Çalışma. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2) , 325-334. DOI: 10.17714/gumusfenbil.400800
- Şahin B. (2015). Su dağıtım şebekelerinde enerji kazanımı ve su kayıplarının azaltılması için su türbinleri kullanımı uygulamalarının araştırılması: Antalya kenti örneği. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.

URL1 (2022).

<https://www.valfon.com.tr/tr/urunler/hidrolik-vanalar-6/sulama-vanaları-64/d-prv-serisi-basinc-dusurucu-kontrol-vanasi-90/>

Yazıcı Y. (2015). 7 MW Pelton hidro türbin tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, Türkiye.

Yontar H. (2019). Küçük ölçekli Francis türbini tasarımı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2

