

İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi; Boru İçi Türbin Modeli

Generating Energy from Drinking Water Networks; Tubular Turbine Model

(1*)Ali KERİM, (2)Veli SÜME

(1*)*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye*

(2)*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye*

Geliş Tarihi: **22.12.2020**; Kabul Edildiği Tarih: **10.04.2021**; Yayınlandığı Tarih: **28.06.2021**

Türk Hid. Der. (Tur. J. Hyd.), Cilt (Vol) : **5** Sayı (Number) : **1** Sayfa (Page) : **8-17 (2021)**

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.gov.tr>

(*): *Sorumlu yazar e-mail: ali_kerim18@erdogan.edu.tr*

Özet: Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlarla birlikte bu yakıtların tükenmesi, ülkelerin alternatif enerji kaynakları arayışına girmelerine neden olmuştur. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından (YES) olan su, hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu kaynak, hem yaşamımızı idame ettirmek hem de enerji üretmek için kullanılmak suretiyle, elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yer edinebilir. Şehirleri altyapısında mevcut olan, su dağıtım şebekelerinden elektrik üretme fikri, birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Özellikle, su dağıtım şebekelerinde mevcut basınçtan veya şebekede değişik nedenlerden dolayı oluşan fazla basıncın, basınç kırıcılar (valfler, maslak vs.) ile sönmülmesi yerine boru içine konan mikro türbinlerle hem basınç düşürülebilir hem de elektrik enerjisi elde edilebilir. Böylelikle basınç düşürmek için ek bir maliyet gerektirmeyen ve şebekeden elektrik elde edilebilen çevreci bir uygulama olacaktır. Bu çalışmada, su dağıtım şebekelerinde mevcut basınçlardan yararlanarak, boru içi türbinle elektrik üretilebileceği araştırılmıştır. Sonuç olarak içmesuyu şebekelerinden elektrik enerjisi elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Enerji üretimi, Boru içi türbin, Basınç, İçmesuyu şebekesi, Hidrolik modeller.

Abstract: The depletion of fossil fuels and its damage to the environment has caused countries to seek alternative energy resources. This situation increases the interest in renewable energy sources. Water, which is one of the Renewable Energy Resources (RES), is an indispensable part of our lives. This resource can have an important place in the production of electrical energy by being used both to sustain our lives and to generate energy. The idea of generating electricity from water distribution networks, which is present in the infrastructure of cities, has attracted the attention of many researchers. Especially, instead of damping the excess pressure caused by the existing pressure in the water distribution networks or various reasons in the network with pressure breakers (valves, maslak, etc.), the pressure can be reduced and micro turbines placed in the pipe electrical energy can be obtained. In this way, it will be an environmentally friendly application that does not require an additional cost to reduce pressure and can generate electricity from the network. In this study, it has been investigated that electricity can be produced with an in-pipe turbine by utilizing existing pressures in water distribution networks. As a result, it has been revealed that electrical energy can be obtained from drinking water networks.

Key Words: Energy, Hydroelectric, HPP, Micro HPP.

1. GİRİŞ (Introduction)

Fosil yakıtların tükenmesi ve çevre kirliliğine sebep olmasından ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme son zamanlarda hız kazanmıştır. Birçok yenilenebilir enerji kaynağından elektrik üretimi yapıldığı gibi su ile de elektrik üretimi yapılmaktadır.

Su enerjisi, dünyanın en temiz ve en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinir (Güney ve Kaygusuz, 2010). Aynı zamanda su, en verimli elektrik enerjisi kaynağıdır. (Öztürk ve diğerleri, 2009). Küresel enerji ihtiyacının yaklaşık % 18'i suyun enerjisinden sağlanmaktadır. Öte yandan, su enerjisinin tahmin edilebilirliği, düzenli olması ve çok geniş bir alana yayılması, bu enerji türünün tercih edilme oranını artırmaktadır [1].

Hidroelektrik, enerji ve suyun güçlü bir şekilde birbirine bağlandığı, gelişmiş ve maliyet açısından rekabetçi bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Gerçekten de, dağıtım sistemi boyunca suyu tüketicilere ulaştırmak için önemli miktarda enerji kullanılmaktadır. Bu aşırı enerji, ekstra basınç nedeniyle bazı noktalarda taşıma borularına zarar verebilir. Bu nedenle bu borulardaki basıncı uygun seviyelere indirmek için basınç valfleri kullanılır. Bu noktaların yakınında farklı yükler sağlayan temiz enerji üreterek fazla basınç noktalarından yararlanılabilir. Dağıtım borusuna türbinlerin dahil edilmesi, basınç vanası kullanılmamasından dolayı sistem maliyetini önemli ölçüde azaltacaktır. Boru hatlarına monte edilen hidrokinetik türbinler ile jeneratöre bağlanarak elektrik üretilebilir. Boru içi sistemden elektrik üretmeyi sağlayan bu türbinlere enerji, literatürde boru içi türbin olarak bilinmektedir. [2]

Geleneksel yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, boru içi hidroelektrik enerjisi hava koşullarından bağımsızdır ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılır. Ayrıca kurulum ve bakım maliyeti açısından enerji üretmenin en ucuz yollarından biri olarak biliniyor. Hidrokinetik türbinlerin tasarımı sırasında dikkate alınması gereken kritik tasarım konularından biri, dağıtım şebekesindeki su akışını bozmadan güç üretimini maksimize etmektir. [2]

İçme suyu şebekelerinde hidrolik parametrelerin tahmin edilmesi amacıyla hidrolik modelleme çalışması, su hızı, debi, basınç vb. için yapılır. Model tahminleri şebekenin farklı noktaları (şebekenin uç noktaları, en yüksek kotlar, depodan önce vb.), farklı dönemler ve tarihler (haftanın farklı günleri) ile farklı zamanlar (günün farklı saatleri) için elde edilebilir. Böylece, şebeke içinde istenilen

noktalar ve zamanlar için hidrolik parametrelerin ölçüm yapılmadan tahmin edilmesi mümkün olur. [3]

Ayrıca hidrolik modelleme içme suyu şebekelerinde su hızı seviyelerinin kontrolü ve basınç yönetimi için hayati öneme sahiptir. Su kayıplarının takibinde yapılan ölçümler ile elektrik üretimi için veri setlerini oluştururlar. Ayrıca bu veri setleri ile hidrolik model karşılaştırılarak analizin doğruluğu kıyaslanır. [4]

Borudan akan su, kinetik ve basınç enerjisi şeklinde çok fazla enerjiye sahiptir. Borunun içindeki akış hızı her zaman sabit kalır. Ve çoğu durumda, son kullanıcı gereksinimi basınç değil, sadece akış hızıdır. Böylece, basınç enerjisinin bir kısmı elektrik enerjisi şeklinde çıkarılıp depolanabilir. Alan küçüldükçe basınç enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. [5]

Boru içi türbin, boru akışından basınç enerjisi çekmenin en verimli yoludur. Su borunun içinden akarken, boru içi türbinin kanatlarına çarparak dönmesiyle türbin şaftını, türbin şaftı da DC jeneratörünü hareket ettirir. Böylece elektrik enerjisini üretilmiş olur. Bu enerji kurşun pillerde depolanıp aydınlatma amaçlı kullanılabilir. [5]

2. SU DAĞITIM ŞEBEKELERİ

(Water Distribution Networks)

Su ve enerji kaynaklarının mevcudiyeti ve temini, insan yaşamı, ekonomik ve endüstriyel gelişme için önemli bir rol oynamaktadır. Kentleşme ve nüfus artışına bağlı olarak su talebi artmakta ve bu da su dağıtım şebekelerinin işletme maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Su temin sistemlerinde pompalama için küresel elektrik tüketimi, tüm tüketimin % 2-3'ünü oluşturmaktadır.[6]

Yerçekimi tipi su iletim hatlarında su yüksek kotlardan alçak kotlara aktarılır. Bu iletim sırasında su borularındaki basınç önemli ölçüde artar ve fazla basıncı azaltmak için birkaç BPT, dengeleme rezervuarı veya PRV bulunur. BPT'lerde ve dengeleme rezervuarlarında su, tankta depolanırken atmosferik basınca maruz kalır. Bu uygulamada fazla su basıncı ve kinetik enerji dağıtılır ve buna bağlı olarak fazla su basıncının oluşması önlenir. Yerçekimi tipi su iletim hatlarında, aşırı basınçtan enerji geri kazanımı sağlayabilen rezervuarların dengelenmesinden önce bir türbin yerleştirilebilir. Yerçekimi tipi bir su iletim hattında aşırı su basıncının oluşması ve türbinlerin olası yerleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Yerçekimi tipi su iletim hatlarında BPT'lerin ve dengeleme rezervuarlarının kullanımı dünya çapında çok yaygındır ve bu

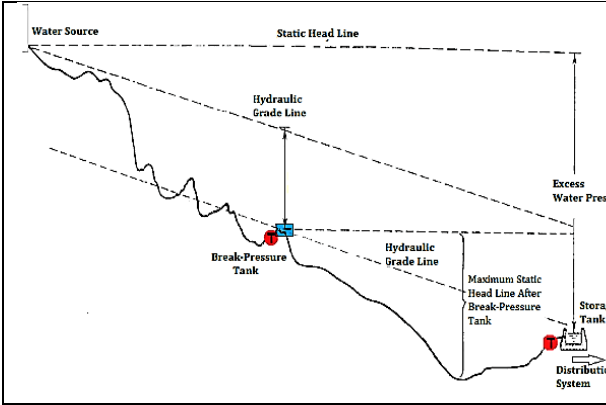
ünitelerin girişine türbinlerin kurulması, enerji üretimi için büyük bir potansiyel ve sürdürülebilir su tedarik hizmetlerine katkıda bulunur. Bir hidroelektrik türbinden güç üretimi, Denklem 1'den hesaplanabilir. Bu denklemde parametreler şu şekilde tanımlanır [6].

$$P_{güç} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta \quad (1)$$

Burada;

- $P_{güç}$: Türbin milinden alınan gücü (W),
 ρ : Suyun yoğunluğunu ($\approx 1000 \text{ kg / m}^3$),
 g : Yerçekimi ivmesini (9.81 m/s^2),
 Q : Türbine gelen debiyi (m^3/s),
 H : Net düşüğü (giriş ağız ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur, m),
 η : Tüm enerji üretim sisteminin verimliliği.

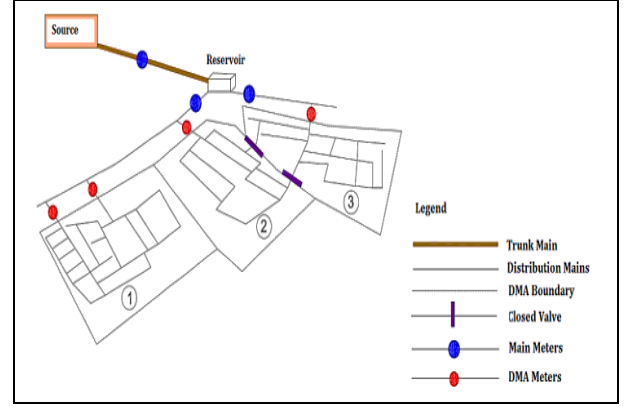
Sistem verimliliği kinetik enerjiden mekanik enerjiye dönüşüm kayıplarını içerir ve güvenli bir tahminde (türbin kayıpları, enerji dönüşümü, enerji dağılımı dahil)% 65 olarak kabul edilir. Suyun yoğunluğu ve yerçekimi ivmesi bilinen sabitler olduğundan, türbinlerden enerji üretimi için ana parametreler suyun debisi ve basınçtır. BPT'lerin girişine ve dengeleme rezervuarlarına türbinlerin kurulması enerji üretimi, karbondioksit emisyonlarında azalma ve para geliri gibi çeşitli avantajlar sağlar. Bu nedenle türbinlerin yerçekimi tipi su iletim hatlarında kullanılması dikkat çekmektedir [6].



Şekil 1. Aşırı basıncın meydana geldiği yerçekimi tipi bir su iletim hattı için açıklayıcı şema ve enerji üretmek için türbinlerin olası yerleri (T: türbin) [6].

Son zamanlarda, Su Dağıtım Şebekeleri(SDŞ)'nde su kayıplarının tespiti, azaltılması ve yönetimi, sürdürülebilir su yönetimi için daha fazla önem kazanmaktadır. Ağın daha iyi

yönetimi için Alt Bölge (DMA) olarak adlandırılan küçük ve izole alanlarda (SDŞ)' bölmek yaygın bir uygulamadır (Şekil 2). Bir DMA içinde dağıtılan toplam akış hızı, akış ölçerler kullanılarak DMA'nın girişinde ölçülür. Su dengesini hazırlamak ve su kayıp miktarını tahmin etmek için debi ölçümlerinden sürekli ve düzenli veriler, su abonelerinin su sayacı okumaları ile birlikte kullanılır. DMA'larda Minimum Gece Akışının gözlenmesi mümkündür ve saatlik su tüketiminin değerlendirilmesi ve öngörülen yöntemlerin kullanılmasıyla su kayıplarının tahmin edilmesi mümkündür [6].



Şekil 2. Alt Bölge (DMA)

2.1. Hidrolik Modeller (Hydraulic Models) [3, 6, 7].

Hidrolik modelleme, alt yapı sistemlerinin (su, kanalizasyon, drenaj ve taşkın) hidrolik olarak davranışını analiz ederek sistemin matematiksel bir modelinin oluşturulmasıdır. İçme suyu hatlarında hidrolik modelleme ile başlıca hatların hidrolik davranışının analizi, sistemin izlenebilirliği ve sürdürülebilirliği, sızıntı-kaçak tespiti ve basınç yönetimi amaçlanmaktadır.

Hidrolik modellemenin oluşturulabilmesi için sahadaki mevcut tesislerin sayısallaştırılması ve sayısal verilerin doğrulanması çok önemlidir. İçme suyu hatlarının hidrolik modelleme yapılarak simüle edilmesi, günümüzde gelişen yazılım teknolojileri daha kolay hale gelmiştir. İçme suyu sistemlerinde ölçüm noktalarının yerleri ve ölçüm ekipmanları son derece önemlidir. Matematiksel verilerle sahadaki verilerin revize edilerek modelin kalibrasyonunun yapılması hidrolik davranış analizinin gereceğe yakın olması açısından çok önemli bir rol oynar. Hidrolik modelleme ile sistemin üretim ve işletme maliyetlerinin analizi, sızıntı-kaçak ve basınç yönetiminin yapılması, sistemin izlenebilirliği ve erken uyarı sistemleriyle sürdürülebilirliği daha doğrusal ve hızlı verilerle yapılmasının sonucu olarak sistem yönetiminin ekonomik, stabil ve sürdürülebilir olması sağlanır.

2.2. Hidrolik Modelleme İçin Gerekli Veri Setleri (Data Sets Required for Hydraulic Modeling)

Hidrolik modelleme için veri girişi ihtiyacı duyulan bazı parametreler ve veri setleri vardır. En önemli girdi verileri şunlardır:

- i. **İçme suyu dağıtım şebekesi elemanlarının konfigürasyonu (borular, su kaynakları, pompalar, depolar, vanalar, vb.), şebeke elemanlarının koordinatları ve karakteristikleri (boru çapları, depo boyutları, pompa eğrileri vb.):** Bu veri setlerinin pek çoğu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) biriminden temin edilebilir.
- ii. **Temin edilen suya ait debi profilleri, pompa istasyonlarının basınç profilleri ve kaynaktaki su seviyesi profili:** Profil terimi ile verilerin zaman içindeki değişimi tanımlanmaktadır. Bu veri setleri ölçümler ve izleme ile toplanabilir (örnek olarak SCADA sisteminden elde edilebilir).
- iii. **Abonelerin su tüketimleri (ev, restaurant, hastane, otel, okul, dükkan, vb.):** Bu veri setleri, su sayaçları okumalarından elde edilebilir. Yüksek hacimli ve değişken tüketimlere sahip abonelerin su tüketimleri veri kaydedici veya AMR sayacı ile izlenerek daha hassas bir şekilde tüketim profili belirlenebilir.
- iv. **Borular için sürtünme katsayısının belirlenmesi:** Bu katsayı boru cinsi, boru yaşı, her borudaki su hızı ve su kalitesi gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişir. Buna bağlı olarak, içme suyu dağıtım şebekesindeki farklı borular, aynı malzemeden yapılmış olsa bile farklı sürtünme katsayısına sahip olabilir. Laboratuvar ortamında şebekenin tüm boruları için sürtünme katsayısı tayin edilmesi de mümkün değildir. Bu durumda en iyi yol, sürtünme katsayısının model kalibrasyonu ve doğrulaması ile belirlenmesidir.

2.3. Hidrolik Model Yazılımları (Hydraulic Model Software)

İçme suyu dağıtım şebekesi içindeki suya ilişkin hidrolik parametreleri (basınç, hız ve debi) tahmin etmek için bir seri matematiksel eşitliklerin çözülmesi gereklidir. Ancak, çok fazla sayıda boru ve bağlantının bulunduğu gerçek boyuttaki içme suyu şebekeleri için bu eşitliklerin elde çözülmesi mümkün olmadığından modelleme

çalışmalarında bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. İçme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik modellemesi için kullanılabilecek bazı yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımların bazıları, ücretsiz olarak temin edilebilmektedir.

EPANET 2.0, iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir hidrolik modelleme yazılımıdır. US-EPA tarafından geliştirilen EPANET ücretsizdir. WaterGEMS, en popüler ve kullanıcı dostu hidrolik modelleme yazılım paketlerinden biridir. WaterGEMSV8i, (SDŞ)'nin hidrolik ve su kalitesi modellemesi için gerekli olabilecek hemen hemen tüm araçlara sahiptir. WaterGEMS, ArcGIS, AutoCAD ve MicroStation ortamlarında birlikte çalışabilirlik özelliğine sahip kapsamlı ve kullanımı kolay bir su dağıtım modelleme çözümüdür. EPANET kullanılarak gerçekleştirilen tüm analizler WaterGEMS tarafından gerçekleştirilebilirken, WaterGEMSV8i ek senaryo ve optimizasyon araçlarına sahiptir. (SDŞ)'nin hidrolik ve su kalitesi modellemesi için gerekli veri setleri WaterGEMS ve EPANET'te yaygın olmasına rağmen, WaterGEMS, borunun tipine ve yaşına bağlı olarak Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı gibi önceden tanımlanmış özelliklere sahiptir.

2.4. Hidrolik Model Tahminlerinin Hassasiyeti (Precision Of Hydraulic Model Estimates)

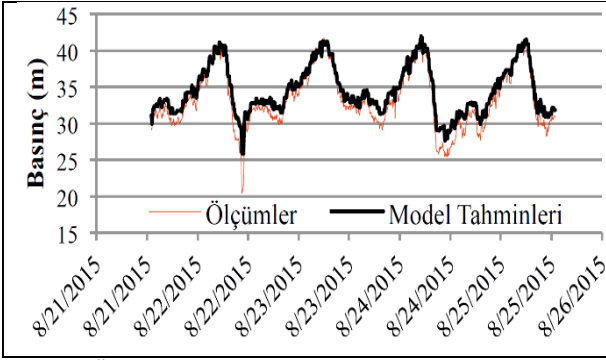
Hidrolik modelden elde edilen tahminlerin doğruluğunu/hassasiyetini belirlemek için araziden elde edilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırma yapılır. Örnek olarak, hidrolik model ile içme suyu dağıtım şebekesinin en yüksek kotlu noktasında öğle saatindeki su basıncı tahmin edilebilir. Model tahmininin doğrulanması için aynı nokta ve aynı zaman için sahada su basıncı ölçümü yapılmalı ve elde edilen ölçüm ve tahmin değerleri karşılaştırılmalıdır. Eğer model tahmini ve ölçüm değeri tamamen aynı olursa, model 100% doğrulanmış olur. Ancak, model ile tahminler elde edildiğinden genellikle model tahminleri ile saha ölçümleri arasında bazı farklılıkların olması beklenmelidir. Model tahminleri ile saha ölçümleri arasındaki farklar ne kadar az ise model hassasiyeti o ölçüde fazla olur. Bu amaçla model kalibrasyonu gereklidir.

2.5. Model Kalibrasyonu (Model Calibration)

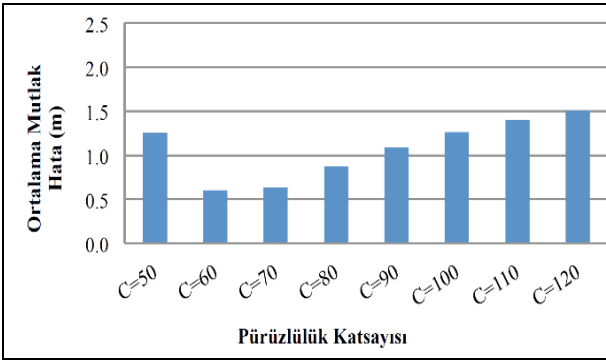
Model kalibrasyonunun amacı, model içinde yer alan ve bilinmeyen katsayı değerlerini belirlemektir. Genellikle hidrolik modeller için sadece boru pürüzlülük katsayısı değeri bilinmemekte ve model için tanımlanması gerekmektedir. Model kalibrasyonu için hidrolik model

belirli bir zaman periyodu (örnek olarak 21-26 Ağustos 2015 tarihleri arası) için farklı sürtünme katsayıları kullanılarak çalıştırılır.

Test edilen sürtünme katsayısı değerlerinin uygun olan aralık içinde kalması önemlidir. Örnek olarak, içme suyu dağıtım şebekelerindeki eski borular için Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) 50-120 aralığında değişebilir. Model kalibrasyonu aşamasında test edilen her katsayı değeri için elde edilen model tahminleri (örnek olarak su basıncı), sahadan elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılır (Şekil 4.3). Karşılaştırmalar neticesinde en az fark bulunan (en az model hatası veren) sürtünme katsayı değeri belirlenir (Şekil 4.4). Farklı bir deyişle, model tahminleri ile ölçümler arasında en az model hatasının elde edildiği pürüzlülük katsayı değeri, en doğru seçimdir.



Şekil 3. Örnek model kalibrasyonu için su basıncı model tahminleri ile ölçümlerin karşılaştırılması



Şekil 4. Farklı pürüzlülük katsayıları için elde edilen Ortalama Mutlak Hata değerleri

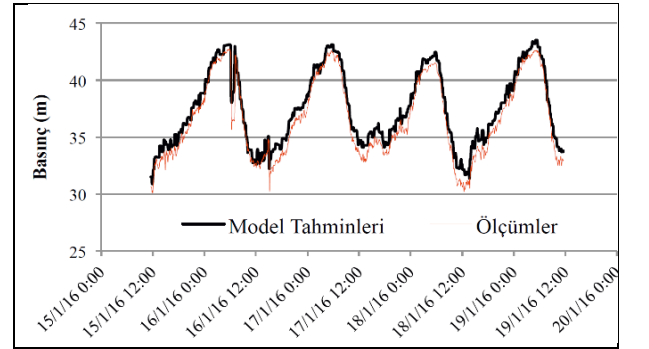
2.6. Model Doğrulaması (Model Verification)

Model doğrulaması için modelin tahmin kapasitesi, kalibrasyon döneminde kullanılan zaman periyodu veya lokasyonlardan farklı olan durumlar için tekrar test edilir. Örnek olarak, model kalibrasyonu için 21-26 Ağustos

2015 tarihleri arası seçilmiş ise model doğrulaması için farklı bir dönem (örnek olarak 15-20 Ocak 2016 tarihleri arası) seçilmelidir. Model doğrulaması için, model kalibrasyonu aşamasında belirlenen model katsayıları (boru sürtünme katsayısı) aynen kullanılır. Model doğrulaması aşamasında elde edilen model tahminleri ile ölçümler karşılaştırılarak model hatası hesaplanır (Şekil 4.5). Model doğrulaması aşamasında fazla debi değişimi oluşturmak için örnek olarak yangın muslukları açılabilir.

2.7. Modelin Yönetim Amaçlı Kullanımı (Administrative Use of the Model)

Dağıtım şebekesine ait özellikler için beklenen olası değişikliklerin (su talebinin artması veya azalması, yeni boruların eklenmesi veya boruların iptal edilmesi ile şebeke bağlantılarının değişmesi, pompa istasyonundaki pompa işletiminin değişimi vb.) gerçekleşmesi halinde, hidrolik parametrelerdeki beklenen değişimler hidrolik model ile tahmin edilebilir. Buna bağlı olarak, hidrolik model kullanılarak pek çok yönetim senaryosu (fiziki kayıpların azalması veya artması, su temin edilen nüfusun artması veya azalması, dağıtım şebekesinin DMA'lara bölünmesi vb.) test edilebilir. Ek olarak, bakiye klor vb. su kalite parametreleri de içme suyu dağıtım şebekesindeki hidrolik özelliklere bağlı olarak değişebilir ve hidrolik modelleme çalışması yapılmadan şebeke için su kalite modelleme çalışması yapılamaz. Bu nedenle, şebekede su kalite modellemesi için ilk adım hidrolik modellemedir.



Şekil 5. Örnek model doğrulaması için su basıncı model tahminleri ile ölçümlerin karşılaştırılması.

Hidrolik model kullanılarak içme suyu dağıtım şebekesindeki debi, hız ve basınç değerleri gibi hidrolik parametrelerin zamansal ve mekânsal değişimleri tahmin edilir. Tahmin edilen bu değerlerle boru içi türbinin generatöre gereken devir sayısı belirlenebilir. Belirlenen basınca göre üretilecek elektriğin miktarı hesaplanabilir.

3. BORU İÇİ TÜRBİN (Turbular Turbine)

Sudan enerji üretebilmek için temel olarak iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar hidrostatik ve hidrokinetik yöntemlerdir. Hidrostatik sistemler, herhangi bir rezervuarda suyun biriktirilmesi sureti ile potansiyel enerji depolanması ve gerekli durumlarda bu potansiyel enerjinin türbinler yardımı ile kinetik enerjiye dönüştürülerek kullanıldığı geleneksel baraj sistemleridir.

Hidrokinetik sistemlerde ise hidrostatik sistemlerin aksine herhangi bir baraj veya rezervuar yapısı kullanılmadan, suyun kinetik enerjisi direk olarak kullanılır. Bu sistemler belli bir su yüksekliği gerektirmeksizin, uygun hidrokinetik türbinler kullanılarak suyun enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi esasına dayanır. Hidrokinetik türbinler aynı zamanda serbest akım türbinleri olarak adlandırılır ve nehir, gelgit, okyanus, dalga enerjisini ve yapay ya da tabii kanallardaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlar (Khan ve diğerleri, 2008; Güney ve Kaygusuz, 2010; Lago ve diğerleri, 2010). [1]

Hidrokinetik enerjinin geleneksel enerji üretim metodlarına karşı üstünlükleri şunlardır: [8, 9]

- Temiz ve temiz enerji üretir (çevreyi etkilemez).
- Havaya bağlı değildir (güneş sisteminin güneşe, rüzgar sisteminin havaya bağlı olması gibi).
- İçme suyu kalitesini etkilemez.
- Enerji üretmenin en ucuz yollarından biridir (güneş ve rüzgar durumunda olduğu gibi aynı miktarda enerji üretmek için 3 veya 4 kat daha pahalı olurlar)
- Tarım, sanayi, atık su boru hattına da kurulabilir.
- Su akışı ile her zaman elektrik üretilebilir.
- Hızlı kurulum sağlanır.
- Proses bazlı enerjiyi geri kazanır.
- Elektrik üretirken karbon emisyonu olmaz.
- Elektrik üretmek için kömür veya petrol kullanılmamaktadır. Doğal kaynaklar daha uzun süre dayanır.
- Birim başına tüketim oranlarını düşürecek, böylece her bölüme elektrik verilecektir.

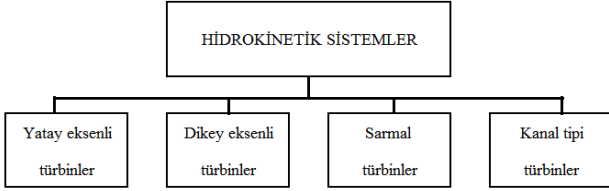
- Fosil yakıtlara ve nükleer enerjiye göre daha güvenlidir. Bu yöntemler, düzenli olarak vücuda maruz kalması çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilen kimyasalları kullanır.
- Çelik, sfero döküm, beton veya çelik boru ile eşleştirilebilen herhangi bir malzeme gibi en yaygın boru tesisatı malzemeleri içinde çok çeşitli kafa ve akış koşullarında çalışabilir.
- Boruların çoğu yeraltında çalıştığından, bu tür sistemler vandalizm, hırsızlık veya hava kazalarından da korunur ve tarihi şehirler veya katı görsel düzenlemelere sahip konumlarla bile uyumludur.

Tüm bu avantajların yanı sıra hidrokinetik sistemlerin bir takım dezavantajları da mevcuttur. Bu sistemler, nispeten daha küçük ölçekli enerji üretim kapasitesine sahiptir. Aynı zamanda serbest akım ortamında çalışan herhangi bir hidrokinetik türbinin erişebileceği maksimum verim % 59,3'tür. Bu limit aynı zamanda Betz limit olarak da bilinir. Hali hazırda % 50 toplam verimin üzerine çıkabilen çok az sayıda türbin mevcuttur.

Öte yandan, kavitasyon problemi, hidrokinetik türbinlerin dezavantajlarının başında gelir. Kavitasyon olayı, türbin kanatları etrafındaki lokal basıncın, akışkanın buhar basıncının altına düşmesi sonucu, akışkanda baloncuk, boşluk vb. basınç dengesizlikleri oluşması sureti ile türbin parçalarının zarar görmesi esasına dayanır. Türbinin özellikle yüksek hızla hareket eden parçalarının kavitasyona maruz kalması olası bir durumdur. Deniz ve okyanus ortamındaki şiddetli hidrodinamik yüklemeler ve boşalmalar ve düzensiz dalga yüklemesi olması sebebiyle hidrokinetik türbinlerin bu şiddetli yüklere dayanabilmesi için güçlü bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Öte yandan bu sistemler minimal seviyede bir takım çevresel riskleri de barındırmaktadır. Hidrokinetik türbin sistemlerinin kurulduğu bölgelerde, nehir veya deniz trafiği aksayabilmekte, balıkçılık zarar görebilmektedir. Türbin parçalarında kullanılan bir takım kimyasal bileşenler, türbinin oluşturduğu titreşim ve ses de, suyun doğal ortamına negatif etkilerde bulunacağı açıktır. (Nicholls-Lee ve diğerleri, 2008; Crowe ve diğerleri, 2009). [1]

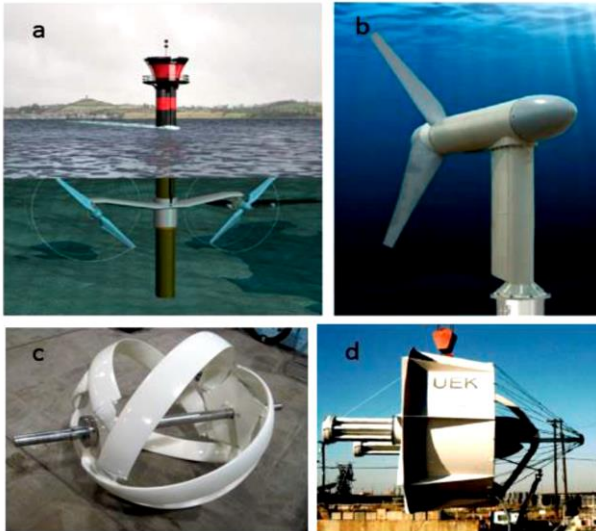
Piyasadaki mevcut bulunan ve özellikle profesyonel olan türbinlerin büyük çoğunluğu yatay eksenli olarak tasarlanmıştır. Bu türbinlerde serbest akım hızının yönü ve türbin pervanesinin etrafında döndüğü aks birbirine

paraleldir. İlk dikey eksenli hidrokinetik türbin 1920’li yıllarda Darrieus tarafından tasarlanmıştır. Darrieus sistemlerinde hidrofoillerden oluşturulan birkaç adet kanadın dikey eksen etrafında dönmesi sağlanır. Yatay ve dikey eksenli türbinlerin 2, 3 veya daha çok sayıda kanada sahip olmak sureti ile tasarlanmaları mümkündür. 3’ten çok kanat sayısına sahip türbinler yüksek başlama torku gerektirmekte ve diğer türbinlere nazaran enerji kayıpları daha yüksektir (Rourke ve diğerleri, 2010; Kiho ve diğerleri, 1996). [1]



Şekil 6. Hidrokinetik türbinlerin sınıflandırılması

En tanınmış yatay eksenli hidrokinetik türbinlerden ikisi SeaGen ve Verdant Power teknolojileridir. SeaGen (Şekil 3.2.a) türbini piyasadaki ilk ve en büyük kanat çapına sahip hidrokinetik türbindir. Bu sistemde her biri 18 m çapına sahip iki adet türbin, 21 m uzunluğundaki tek bir kuleye monte edilmiştir. Sistem, 2008 yılında İrlanda’nın Strangford bölgesinde kurulmuştur. Seagen türbinlerinin başlama ve nominal hızları sırasıyla 0.7 ve 2.4 m/s olarak rapor edilmiştir. Her iki pervanenin nominal durumda çalışması ile 1.2 MW enerji üretilebilmektedir (Muratoglu, 2011; Seageneration Ltd, 2014; Westwood, 2008).



Şekil 7. SeaGen (a) ve Verdant Power (b) türbinleri Lucid Energy (c) ve UEK (d, Underwater electric kite) türbinleri (Muratoglu, 2011; Muratoglu, 2015), [1].

Literatürde sıkça karşılaşılan türbinlerin detaylı teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Verdant Power (Şekil 3.2.b) teknolojisi ise, ABD, New York’ta East River üzerine uygulanmıştır. Bu türbinler nispeten daha küçük pervane çapına sahiptir. Her bir kanadın uzunluğu 2.5 metre olup dönme hızı 40 rpm’dir. Sistemdeki başlangıç ve nominal hız değerleri sırasıyla 0.7 ve 2.2 m/s olarak verilmiştir. Bu türbin, 0.38-0.44 arasında değişen verime sahip olup, nominal şartlarda 35 kW enerji üretebilmektedir.

Sarmal türbinler, Darrieus tarzı türbinlerin kanatlarının kendi eksenleri etrafında döndürülmesi sonucu helik bir yapı kazandırılması ile oluşturulmuşlardır. İlk sarmal türbin, Gorlov tarafından, türbinlerdeki titreşim problemini çözmek üzere tasarlanmıştır. Sarmal türbinlerde, dönme eksenli, türbinin yerleştirilmesine bağlı olarak akıntı yönüne dik ve ya paralel olabilmektedir. Bu türbinlerin en önemli avantajı, her yönden gelen su akımını enerjiye dönüştürebilme özellikleri ve düşük akım hızlarında bile çalışabilmeleridir (Bahaj, 2011; Bedard ve diğerleri, 2010; Muratoglu, 2011). En modern sarmal türbin tasarımlarından birisi Lucid energy (Şekil 3.2.c) türbinidir. Bu türbinler, su akımının sağlandığı bir boru hattı içine belli aralıklarla monte edilmiştir. Bu teknoloji ile 1.5 m çaplı boru içerisine yerleştirilen türbinlerin 2.1 m/s su hızı ile çalışması sonucu 100 kW’a kadar enerji üretilebilmektedir. Bu sistemler belli bir oranda su yüksekliğini, kinetik enerjiye çevirmektedir (Lucid Energy, 2013).

Tablo 1. Bazı hidrokinetik türbinlerin teknik özellikleri (Yuce ve Muratoglu, 2015), [1].

Türbin tipi	Boyutlar (m) *	Nominal güç (kW)	Nominal hız (m/s)	Başlangıç hızı (m/s)	Kanat sayısı
Yatay eksenli türbinler					
SeaGen	18	1200	3.4	0.7	2
Verdant Power	5	35	2.2	0.7	3
Tidal Stream	20	1000-2000	-	1	2
TidEl System (çift pervane)	18.5	2x500	2.3	0.7	2
Hammerfest Strom	20	-	2.5	-	2
Tidal Stream Turbine	18	1000	3.5	2.5	3
Open hydro (çift pervane)	15	1520	2.57	0.7	Multi
Amazon AquaCharger	1.8	0.5	1.5	0.45	3
Dikey eksenli türbinler					
EnCurrent Hydro (Kanalsız)	16x0.8	12.5	4	2	Multi
Davis Hydro	6.1	250	3	1.5	4
Exim Tidal	1x3	44	2	0.7	2
Ponte Di Archimede	6x5	25	2	-	3
Sarmal türbinler					
GCK Gorlov	1x2.5	180	7.72	0.5	Multi
Lucid Energy	1,2,3	40-150-360	4.5	0.5	Multi
Kanal tipi türbinler					
UEK (Underwater Electric Kite)	4	400	3	1.54	Multi
Rotech Tidal	25	2000	3.1	1	Multi
Clean Current	18	1700-5000	3.5	1	Multi
EnCurrent Hydro	3x1	18	2.8	1.5	Multi
Clean Current	1.7, 2.9, 4	16,44,84	3	1.5	3
Hydroreactor Stream Accelerator	1,1,5,2	16,37,67	2.5	0	Multi

*Çarpı işareti ile ayrılan karakterler sırasıyla türbinin çap ve uzunluğunu göstermektedir. Virgül ile ayrılan değerler ise, aynı türbin teknolojisinin farklı boyutlarını ifade etmektedir.

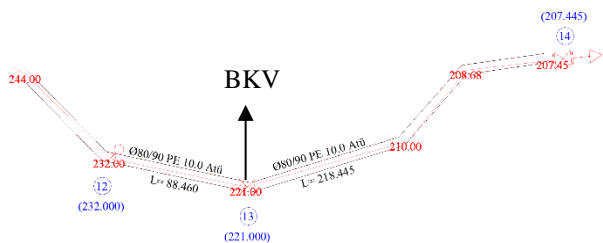
Kanal tarzı türbinler (Şekil 3.2.d), türbin kanatları etrafındaki basıncın düşürülüp hızın artırılması sureti ile verimin Betz limit üzerine çıkartılması mantığında dayalı olarak çalışmaktadırlar. Dolayısıyla bu türbinlerde teorik güç katsayısı olan 0.59 (Betz limit) rahatlıkla aşılabilmektedir (Khan ve diğerleri, 2009; Kirke; 2005).

4. YÖNTEM ve ÖRNEK UYGULAMA (Method and Experimental Study)

Boru içi türbinde enerji üretilmesi için bazı değerlerin önceden ölçülmesi ve/veya hesaplanması gerekir. Hidrolik modelleme ile basınç ve debi değerleri bulunabilir. Bu çalışmada Tarım ve Orman Bakanlığı 11. Bölge Müdürlüğü'nün sorumluluk alanında bulunan Vezirsuyu Tabiat Parkı'na ait Samsun Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (SASKİ) tarafından su isale hattı yaptırılmıştır. Tablo 2. ve Şekil 3.3'te bu projeye ait BKV (Basınç Kırıcı Valf) konulacak yer planda ve borudaki değerler tablo gösterilmiştir.

Tablo 2. İsale Hattı 12 - 13 ve 13 - 14 Düğüm Noktaları Arası Yer Alan Bilgiler

Boru Hattı			12 - 13	13 - 14
Uzunluklar	Hakiki Uzunluk	M	88.46	218.445
	İzafi Uzunluk	L	88.46	218.445
DEBİLER	İzafi Debi	lt/sn	0.121	0.299
Boru çapı			0.09	0.09
Boruda	Metrede Kayıp	m/m	0.003559	0.003559
	Hız (V)	m/sn	0.51	0.51
	Kayıp (JxL)	m	0.31	0.78
Düğüm Noktaları			13	14
Kotlar	Piyezometre Kotu	m	291.682	245.22
	Zemin Kotu	m	221	207.445
	İşletme Basıncı	m	70.682	37.775
	Statik Basınç	m	73.512	38.555



Şekil 8. Planda 12, 13 ve 14'üncü Düğüm Noktaları

13 nolu düğüm noktasına projede 60 m.'yi geçtiği için BKV konulmuştur. BKV yerine konulması düşünülen boru içi türbinde basınç değeri süreklilik (2) ve Bernuolli (5) denklemleri ile hesaplanabilir.

$$Q = V_1.A_1 = V_2.A_2 \quad (2)$$

(2)'de Q; borudaki debi, V_1 ; borudaki hız, A_1 ise borunun kesit alanıdır. V_2 , türbindeki hız ve A_2 , türbinin iç kesit alanıdır. Q, V_1 ve A_1 değerleri projede verilmiş olup A_2 değeri türbinden alınmıştır. V_2 değeri (3)'teki gibi bulunabilir.

$$V_1.\pi.D_1^2/4 = V_2.\pi.D_2^2/4 \quad (3)$$

Eşitlik düzenlenirse (4) elde edilir.

$$V_2 = V_1.(D_1/D_2)^2 \quad (4)$$

$$P_1 + (\rho/2).V_1 + z = P_2 + (\rho/2).V_2 + z \quad (5)$$

Burada P_1 ; borudaki işletme basıncı, ρ ; suyun özgül kütlesi (9807 N/m^3), P_2 ; türbindeki basınç, z; boru ve türbin kotudur. (5)'teki denklemden kotlar eşit olduğundan ifade (6) gibi yazılabilir.

$$P_1 + (\rho/2).V_1 = P_2 + (\rho/2).V_2 \quad (6)$$

V_2 yerine (3)'te ifade yazılıp (6) düzenlenirse P_2 değeri hesaplanabilir.

$$P_2 = P_1 + \rho/2.(V_1^2 - V_2^2) \quad (7)$$

Türbindeki basınç (P_2) ve hız (V_2) değerleri (4) ve (7)'den bulunur.

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (8)$$

Herhangi bir yatay düzlemde, D_2 çaplı türbinin açısal hızı (9)'da verilmiştir.[13]

$$\omega = (\sqrt{2\Delta P / \rho}) (2/D_2) \quad (9)$$

Denklem (9)'da tam bir dönmenin 2π radyan 'a karşılık geldiği dikkate alındığında türbinin dönme hızı, dakikadaki devir sayısı (n) olarak da ifade edilebilir.

$$n = 60 \omega / (2\pi) \quad (10)$$

Yerçekimi beslemeli yapı durumunda boru içi hidroelektrik sistemindeki çıkış gücü ($P_{güç}$) aşağıdaki formül kullanılarak tahmin edilebilir. [2]

$$P_{güç} = Q \rho g H \eta \quad (11)$$

Aşağıdaki şekilde tork (τ) (N/m) hesaplanır:

$$\tau = P_{güç}/\omega \quad (12)$$

Türbin üzerindeki basınç düşüşü ne kadar fazlaysa, sistem o kadar fazla tork üretecektir. [2]

Tablo 2.de verilen değerler ile Tablo 3.deki değerler bulunur.

Tablo 3. BKV'e konulması düşünülen türbinden elde edilen değerler

(Boru Çapı) D_1	0.090	m
(Türbin İç Çapı) D_2	0.120	m
(Borudaki Su Hızı) V_1	0.510	m/s
(Borudaki Su Basıncı) P_1	70682.000	Pa
(Borudaki Suyun Debisi) Q	0.121	m ³ /s
(Türbindeki Su Hızı) V_2	0.287	m/s
(Türbindeki Su Basıncı) P_2	70769.746	Pa
(Açısal Hız) ω	0.158	rad/s
(Türbinin Çıkış Gücü) $P_{güç}$	41561.967	w
(Tork) T	262755.433	N/m
(Dakikadaki Devir Sayısı) n	1.511	

Sonuç değerlere uygun dişli kutusu ve senkron veya asenkron jeneratör seçilirse elektrik üretilebilir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (Results and Discussion)

Hidrokinetik teknoloji, diğer yenilenebilir enerji sistemlerine nazaran yeni doğmuş bir alan olma özelliğini taşımaktadır. Akım ve dalga enerji dönüştürücü sistemler suyun doğal akış ortamında veya boru hatlarında bulunan bir miktar enerjiyi, minimum çevresel etki ile elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Bu sistemlerin dezavantajlarının başında, düşük güç katsayıları, kavitasyon riski ve yüksek hidrodinamik kuvvet ve dengesizlikler gelmektedir. [1]

Boru içi türbin ile vanaların memba kısmına yerleştirilen türbin yardımıyla hem enerji üretilmiş olunmakta hem de vanalarda kırılacak basınç büyüklükleri düşürülerek vanaların aşınma ve yıpranması da önlenmiş

Kerim, A., ORCID: 0000-0002-4216-5765, Süme, V., ORCID: 0000-0001-8251-2461, Türk Hidrolik Dergisi: İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi; Boru İçi Türbin Modeli Cilt (Vol) : 5, Sayı (Number) : 1, Sayfa (Page) : 8-17(2021)

olunmaktadır. Oluşan bu basınçların kırılması hat üzerinde seçilecek uygun birden fazla yere uygulanarak da çözüm sağlanabilmektedir. Aşırı basınçlar nedeniyle hatta oluşacak sızıntılar da engellenmektedir. Bu nedenle kolayca erişilemeyen yerlerde uygulanması daha yararlı olacaktır. Ayrıca sistemde enerji üretmekle kalmayıp, memba ve mansap su karakteristiklerini (basınç, su sıcaklığı, hız, vs.) sensörler yardımıyla kayıt altına alarak sistemde oluşan sızıntı ve kayıplara hızlı bir müdahale de mümkün olacaktır. Burada asıl önemli olan isalede akan sudan, çevreye hiçbir zarar vermeden enerji üretilmesidir. Barajlarda ve çevirmeli hidroelektrik santrallerinde istenirse de balık ölümleri ve diğer çevresel zararlar oluşabilmektedir. Ancak bu sistem ile çevreye hiçbir zarar verilmeden %100 temiz enerji üretilmesi mümkün olmaktadır. Bu sistem içme suyu hatlarında, termoelektrik santrali suyollarında, atık su boru hatlarında, endüstriyel atık boru hatlarında ve yeterli debi ve basınç koşulu sağlanması durumunda diğer su iletim hatlarında kullanılabilir. [10]

Boru içi türbinin boru hatlarında belirlenen kısımlarına yerleştirilmesi ile üretilen elektrik, sokak aydınlatmasına entegre edilerek tasarruf sağlanabilir. Ayrıca elektrikli araçlar için oluşturulan şarj istasyonlarına elektrik temin etmesiyle de elektrikli araçların düşük maliyetle şarj edilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (References)

- [1] Muratoğlu A., Yüce M., Alternatif bir enerji üretim yöntemi olarak hidrokinetik enerji türbinleri, abduallah.muratoglu@batman.edu.tr, yuce@gantep.edu.tr 4. Su Yapıları Sempozyumu.
- [2] Hani Muhsen, Mariam Ibrahim, Ahmad Alsheikh, Mohammed Qanadilo, and Abdallah Karadsheh, Turbine Design and Its Impact on Energy Harvesting from In-Pipe Hydro Systems, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 8, No. 5, German Jordanian University, Amman, Jordan, September 2019.
- [3] Muhammetoğlu H., Muhammetoğlu A., İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Temmuz 2017.
- [4] Akdeniz T., Muhammetoğlu H., Antalya İçme Suyu Şebekesinin Bir Bölümünün Online İzleme (SCADA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Araçları Kullanılarak Hidrolik Modellemesi, Su Vakfı, 2019.

- [5] Pathak V., Parekh P., Mistry V., In-Pipe Spherical Turbine for Energy Extraction, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395 -0056, Volume: 03 Issue: 05, Gujarat, India, 2016
- [6] Karadirek İ., Kara S., Özen Ö., O., Beştaş E., Boyacılar M., Muhammetoğlu A., Güngör A., Muhammetoğlu H., Muğla Journal of Science and Technology, Vol 2, No 1, Pages 70-76, 2016
- [7] Arabacı, E. Dursun Ş., İçme Suyu Altyapı Sistemlerinde Hidrolik Modelleme: Konya örneği, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 2(4): 177-185, Konya , 25-27 Mayıs 2019
- [8] Kumar P., Shahid M., 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 August 2017
- [9] Casini M., Harvesting Energy From In-Pipe Hydro Systems At Urban And Building Scale, Marco International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Manuscript, marco.casini@uniroma1.it Rome, Italy. September 15, 2015.
- [10] Çavuş U., Mermer Parça Atıklarının Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları Islah Yapılarında Kullanımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- [11] Mutlu Y., Çakan M., In-Pipe Turbine Design for Turbo Solenoid Valve System ,IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering www.iosrjournals.org (IOSR-JMCE), e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 14, Issue 2 Ver. VII, PP 33-41 Mar. - Apr. 2017
- [12] Guney M., Guler B., Utilization of River Flows and Vertical Axis Hydrokinetic Turbines, International Journal of Scientific and Technological Research www.iiste.org, ISSN 2422-8702, Vol 3, 2017
- [13] Yunus A. Cengel, John M. Cimbala, McGraw-Hill, BASINÇ VE AKIŞKAN STATİĞİ, Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları, 2nd Edition 2010