

İçme Suyu İsale Hatlarındaki Basınç Kırıcı Yapılarda Enerji Üretiminin Yapısal Tasarımı ve Analizi: Kahramanmaraş Örneği

Ahmet Fatih TAHİROĞLU¹, Muhammet Ömer DİŞ^{1*}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

¹ ahmetfatihthiroglu@hotmail.com, ^{*1} momerdis@ksu.edu.tr

(Geliş/Received: 07/06/2021;

Kabul/Accepted: 15/11/2021)

Öz: Şehirlere içme suyu sağlayan isale hatlarının önemli bir kısmı daha yüksek rakımlı kaynak noktalarından şehir merkezlerine ulaşmaktadır. Onlarca kilometre uzunluğa sahip olabilen bu hatlarda düşü farkından oluşan suyun yüksek basıncı tasarım aşamasında konumlandırılan maslaklarda ve depolarda kırılmaktadır. Bu çalışma ile tasarım aşamasında enerji üretimi düşünülmeden projelendirilen ve inşa edilen mevcut içme suyu isale hatlarındaki potansiyelin, hat üzerinde değişikliğe gidilmeden değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu bağlamda Kahramanmaraş özelinde il merkezine içme suyu sağlayan hatlar üzerindeki potansiyel incelenmiştir. Yapılan ön fizibilite neticesinde savunulan hipotezin geçerli olduğu ve örnek projenin Kahramanmaraş Su ve Kanalizasyon İdaresi için verimli olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak, ayrıca, Türkiye genelindeki potansiyelin tespiti ve hayata geçirilmesine yönelik nasıl çalışmalar yapılabileceği hususunda değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: İçme Suyu İsale Hattı, Basınç Kırıcı Yapılar, Hidroelektrik Enerji

Structural Design and Analysis of Energy Production in Pressure Breaker Structures at Drinking Water Pipelines: The Case Study over Kahramanmaraş

Abstract: A significant portion of the pipelines that provide drinking water to cities reach the city centers from higher altitude source points. In these lines, which may be tens of kilometers long, the high pressure of the water, which is caused by the difference of falling, breaks in the pressure breaker tank and storage plants located at the design stage. With this study, it was analyzed how the potential of the existing drinking water pipelines, designed and constructed without considering energy production, could be used without modifying the line. In this context, potential has been investigated on lines that provide drinking water to the city center in Kahramanmaraş. As a result of the preliminary feasibility, it was concluded that the hypothesis was valid and the sample project would be efficient for Kahramanmaraş Water and Sewage Directorate. Based on this result, additionally, assessments were made on how evaluation projects can be studied to identify and implement the potential throughout Turkey.

Key words: Drinking Water Pipeline, Pressure Breaker Structures, Hydroelectric Energy

1. Giriş

Hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında endüstriyel olarak en eskisidir. Bu enerji potansiyelinin çok büyük bir kısmı barajlardan ve nehir tipi hidroelektrik santrallerden elde edilmesine rağmen cazibeli içme suyu isale hatları, düzenli su rejimleri ile işletmeciyatırımcı idarelere verimli fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, 1873 yılından bu yana Viyana içme suları Avusturya Alp Dağları'ndaki kaynaklardan sağlanmaktadır. İlk HidroElektrik Santral (HES) tesisinin 1929 yılında kurulduğu iki ana isale hattında toplam 14 adet küçük ölçekli HES tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde yıllık 65 milyon kWh enerji üretilmekte ve enterkonnekte sisteme aktarılmaktadır. Viyana'nın iki ana içme suyu temin hattındaki bu 14 HES'in tamamı elektrik şebekesine entegre (On-Grid) sistemlerdir. Ayrıca bu tesislere ilave olarak izole kullanıma örnek teşkil eden Viyana şehir merkezinde yer alan 100 kW gücündeki Schafberg mikro HES tesisinde üretilen enerji elektrik şebekesine entegre edilmeden (Off-Grid) olarak idareye ait bir pompa istasyonunda doğrudan kullanılmaktadır. Cazibeli isale hatlarının tasarım aşamasında enerji üretimi düşünülerek projelendirilmesi ve inşa edilmesi idarelere önemli faydalar sağlamaktadır. İsale hatlarından enerji üretimi kısıtlı kaynaklarla hizmet etmek zorunda olan belediyeler için ek bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Örneğin, Viyana Su İdaresi'nin yıllık enerji gelirinin yaklaşık 4,5 milyon € olduğu ifade edilmektedir [1]. Diğer bir örnek olarak ise, San Marcos ile Mira Mesa (San Diego, ABD) arasındaki boru hattı üzerine tasarım aşamasında projelendirilen ve 21 milyon USD maliyetle 28 aylık bir sürede kurulan HES tesisi

* Sorumlu yazar: momerdis@ksu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-1582-3187, ² 0000-0002-3347-5112

2004 yılında faaliyete geçmiştir. Kurulu gücü 4,5 MW olup bu tesiste yıllık 30 milyon kWh enerji üretilmektedir [2]. Farklı bir örnek olarak, Melbourne Su İdaresi'nin 90 kW ile 7,4 MW arasında değişen 1984'den günümüze 14 farklı HES tesisi kurulmuştur. Bunlardan büyük güçte olan 10 tanesi isale hatlarının tasarımı aşamasında planlanan HES tesisleri olmakla birlikte; dört tanesi basınç kırıcı vanalar, maslaklar ya da depo girişlerine tesis edilmiş olan 1 MW gücün altındaki HES tesisleridir. Bu HES tesislerinden bir tanesinin işletmesi özel sektöre ait olup, diğerlerinde yıllık yaklaşık 70 milyon kWh enerji üretilmektedir. Daha küçük güçteki bazı HES tesislerinin ise kompakt şekilde ve bir bina olmaksızın konteynır şeklinde tesis edildiği tespit edilmiştir [3]. Hong Kong'da, diğer bir örnek olarak, 500 kW güce sahip Tuen Mun HES tesisi rezervuar önüne kurulmuş olup yıllık 3 milyon kWh enerji üretmektedir [4]. İsviçre'de de içme suyu ve atık su tesisleri üzerindeki enerji üretim potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada kullanılan ve kullanılabilir potansiyel irdelenmiş olup atık suların arıtılmasına müteakip kurulan HES tesisleri de incelenerek gelecek yatırımlar için bir projeksiyon ortaya konmuştur. Değişik kantonlardaki içme suyu isale hatlarında toplam kurulu gücü yaklaşık 10 MW olan 90 adet HES tesisi bulunmaktadır [5]. İtalya'nın Kuzey Sardunya bölgesindeki Mulargia – Cagliari içme suyu isale hattı üzerindeki San Lorenzo HES tesisi 1,2 m³/sn debi ve 120 m brüt düşüye göre tasarlanan tek üniteli 1250 kW gücündeki yatay eksenli Francis türbinine sahiptir. Bu tesiste yıllık 7 milyon kWh enerji üretilmektedir [6]. 1.630 m rakımlı Boulder şehrinde (Colorado, ABD) içme suyu temini 3.015 m rakımlı Rocky Dağlarındaki kaynaklardan elde edilmektedir. İsale hattı üzerinde 1985-2001 arasında 7 adet HES tesisi kurulmuştur [7]. Atina'ya su temini sağlayan EYDAP Şirketi tarafından içme suyu hatları üzerine güçleri 590 kW ile 1.200 kW arasında değişen 6 adet HES tesisi kurulmuştur. Bu tesislerin EYDAP'a yıllık enerji katkısı 20 milyon kWh'tir [8]. Aynı zamanda, 200 kW'a kadar olan mikro ve mini HES'lerin gelişmekte olan ülkeler için sağladığı sürdürülebilir gelişme araştırılmıştır. Mozambik, Peru, Zimbabve ve Sri Lanka üzerindeki örnekler maliyet ve fayda açısından incelendiğinde tüm örneklerin buldukları bölge için kısa sürede sağladıkları yüksek faydayla rantabl projeler olduğu tespit edilmiştir [9]. Bu bağlamda, örneklerden de görüldüğü üzere, isale hatlarında enerji üretimi hususunda, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin yenilenebilir enerji kaynağına dayalı potansiyeli değerlendirmede istekli olduğu gözlemlenmiştir. Malatya içme suyu şebekeleri üzerinde enerji üretim verimliliği incelenmiş, isale hattı üzerindeki depo girişlerinde kurulması planlanan yeni bir türbin olan spherical tipinin klasik türbinlere nazaran fayda maliyet analizi yapılmıştır. Yeni tipin yerli imkanlarla geliştirilmesi halinde bölgeye daha katkılı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [10]. Diğer bir çalışmada ise İtalya'daki Campania bölgesindeki Cava de Tirreni Belediyesinin su teminindeki enerji potansiyeli incelenmiştir. Ausino içme suyu isale hattı üzerine 108kW gücündeki pelton türbinine sahip bir mikro HES tesisinin rantabl olduğu ve kurulabileceği sonucuna ulaşılmıştır [11]. Gelişen teknolojiye paralel olarak bilgisayar simülasyonlarının da etkin kullanımı ile isale hatlarının daha randımanlı kullanılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, İtalya'nın Piomonte bölgesindeki tüm içme suyu isale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda 200 kW güce kadar olan mikro HES tesislerinin kullanılması halinde sağlanacak ekonomik faydalar değişik modellerle yoluyla ortaya konmuştur [12].

Yunanistan'ın ve Türkiye'nin su temini hatları üzerindeki elektrik potansiyelleri incelendiğinde bu enerji üretiminin en az akarsular üzerindeki hidroelektrik santraller kadar faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13-14]. Örneğin, Zonguldak'taki içme suyu barajında kurulması planlanan Kızılcapınar HES projesinde yıllık 2 milyon GWh üzerinde enerji üretilebileceği ifade edilmektedir [15]. Zonguldak'taki bir diğer içme suyu barajı olan Ulutan Barajında kurulacak bir HES projesi ile 4,5 milyon GWh enerji üretilebileceği; bu tesisin geri ödeme süresinin sadece 1,4 yıl olduğu ortaya konulmuştur [16]. Ülkemizde özellikle 4628 sayılı Elektrik Piyasası'na ilişkin kanunun 2001 yılında yayınlanmasına müteakip su kullanım haklarının özelleştirilmeye başlanması bu alandaki yatırımcıların içme suyu ya da sulama projeleri üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur [17]. Örneğin, Bursa İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) tarafından isale hatları üzerine 2020 yılı itibari ile üç adet HES tesisi kurulmuştur. Halihazırda kurulu olan her biri tek üniteli Francis tip türbine sahip hidroelektrik santralinde yıllık 13,32 milyon kWh enerji üretilmekte olup, 3 milyon kWh enerji üretim potansiyeline sahip üçüncü tesis ise yapım aşamasındadır. Bu hidroelektrik santrallerden 500 kW gücündeki D0-HES mevcut içme suyu hatları üzerindeki depolama tesislerine kurulduğundan kendi alanında Türkiye'de öncü konumundadır [18]. Erzurum İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (ESKİ) tarafından içme suyu isale hattı üzerine hattın projelendirmesi esnasında tasarlanmış olan ve 420 kW gücündeki Banki (Cross Flow) türbini olan bir mikro HES tesisi bulunmaktadır [19]. Rize Belediyesi tarafından Andon Su Kaynağı ve Poşut Deresinden kaptaj edilen suların isalesi esnasında kademeli olarak iki adet HES tesisi projelendirilmiştir. İlk HES tesisinin iki ünitesi Francis türbin tipinde olup, sırasıyla (74,37 m net düşü ile) 520 kW gücünde ve (105,26 m net düşü ile) 670 kW gücündedir. İkinci HES tesisinin türbini ise 1 MW gücünde yine Francis türbinidir. 2017 yılında hizmete giren bu proje bir isale hattı üzerinde türbinleri kademeli olarak yerleştirilen nevi şahsına münhasır bir projedir [20]. Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (TİSKİ)'nin de isale hatları üzerine HES kurulumuna ilişkin çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardan en büyüğü Atasu ve Esiroğlu kaynaklarından gelen isale hatlarının bağlandığı arıtma tesisi önüne kurulmakta olan

2.240 kW gücündeki Esiroğlu HES'tir. Yıllık enerji üretimi 20 milyon kWh olarak planlanan Esiroğlu HES'in işletme giderleri sonrası yıllık net geliri 10 milyon ₺ ve kurulum maliyeti olarak ise 18,5 milyon ₺ olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda HES tesisinin iki yıldan daha kısa sürede kendini amorti etmesi beklenmektedir. Üstelik yatırım bedelinin %85'i Avrupa Birliği Merkezi Finans ve Kontrol Birimi (AB-CFCU) fonlarından "Belediyeler İçin Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliğine Yönelik Tedarik" kapsamında hibe olarak sağlanmıştır. TİSKİ tarafından isale hatları üzerine mikro HES tesisleri kurulumu için çalışmalar devam ettirilmektedir. TİSKİ'nin ayrıca yıllık 540.000 kWh üretimi olan pompa tipi (PAT) türbin kullanıldığı 90 kW gücünde bir mikro HES tesisi vardır [21]. Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi (SASKİ) tarafından montaj çalışmaları devam eden ve Akçay Barajından elde edilen içme suyu isale hattı üzerinde bulunan 2 MW gücündeki Hızırilyas HES, 5,8 MW gücündeki Hacımercan HES ve 0,49 MW gücündeki Keremali HES projeleri yeni projelendirilen isale hatları üzerindeki HES projeleri hususunda ilgi çekici örneklerdir [22]. İfade edilen farklı örneklerden de görüleceği üzere Türkiye'de isale hatları üzerinde elektrik üretimine ilişkin çalışmalar özellikle 2010-2020 yılları arasında yoğunluk kazanmıştır. Ancak bu alanda ulusal ve kurumsal olarak bir stratejinin izlenmemesi kaynakların tam olarak tespit edilememesine sebep olmaktadır. Zira, Türkiye coğrafi özellikleri ile hidroelektrik kaynaklar açısından zengin bir ülkedir. Avrupa Küçük Hidroelektrik Santraller Derneğinin 2006 yılındaki raporunda Avrupa'da kullanılmamış hidroelektrik potansiyelin %80'inden fazlasının Türkiye'de olduğu yer almaktadır [23]. Doğu-batı doğrultusunda uzanan dağlar ve dağ eteklerinde kurulan şehirlerimizin birçoğunda içme suları şehirlerden daha yüksek noktadaki kaynaklardan cazibeli içme suyu isale hatlarıyla iletilmektedir. Bu isale hatlarında genellikle 80 m'lik basınçtan fazlasına izin verilmemekte, fazla basınç maslaklarda ve/veya basınç kırıcı vanalarda kırılmaktadır. Ayrıca arıtma tesisleri ve şehir içi depo girişlerinde de su basıncı kırılmakta ve şebeke ihtiyacından daha fazla basınç oluşmasına izin verilmemektedir. Bu bağlamda dikkat ve çabalar yeni içme suyu hatlarının enerji üretimi düşünülerek tasarlanmasına yönelmişken, mevcut isale hatlarının potansiyellerinin değerlendirilmesi hususu nispeten bakir kalmıştır. Mevcut cazibeli isale hatlarının enerji üretiminde kullanılması için yeniden yapılmasını öngören çalışmalarda bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bunların bir kısmı şu şekilde özetlenebilir; kilometrelerce uzayan hattın yenilenmesinin getireceği yüksek maliyetler, yeni kamulaştırmaların doğuracağı maliyetler, mevcut borulara nazaran yüksek basınca dayanıklı boruların maliyeti ve yeni isale hattının doğuracağı çevresel tahribat. Bu sebeplerle ülkemizdeki birçok cazibeli içme suyu isale hatlarında su basıncı maslak, basınç kırıcı vana vb. yapılarda kırılmakta ve değerlendirilmesi için herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı mevcut isale hatlarının yenilenmeye gerek kalmadan enerji üretimi yapar hale getirilebileceğinin gösterilmesidir. Ayrıca bu şekilde yapılacak yatırımların rantabl yatırımlar olduğu ispatlanmak istenmiştir. Bu çalışma ile mevcut içme suyu isale hatlarında enerji üretimi incelenerek; "İsale hatlarında enerji üretimi karlı bir yatırım mıdır?" sorusunun cevabı Kahramanmaraş örneği üzerinde araştırılacaktır. Bu makale aşağıdaki gibi düzenlenmiştir: Bölüm 2, çalışma alanının, veri setlerinin ve metodolojinin bir tanımını sunarken, Bölüm 3, örneklem üzerinden proje uygulanabilirliğini ve bulguları açıklar; sonuçlar ve öneriler ise Bölüm 4'te verilmiştir.

2. Metodoloji

Bu çalışmada bir içme suyu isale hattındaki basınç kırıcı yapıda nasıl enerji üretiminin sağlanabileceği ve bunun fayda-maliyet analizi üzerine çalışılmaktadır. Bu kapsamda, Kahramanmaraş İl Merkezi örneklem bölge olarak seçilirken, örneklem içerisinde ve şehir şebekesi içerisindeki hatlar üzerinde kullanılmamış hidroelektrik potansiyel tespit edilip şehir şebekesindeki bir tesisin ön fizibilitesi yapılarak araştırma konusu test edilecektir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, "Mevcut isale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda enerji üretilmesi" incelenerek; "İsale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda kurulacak enerji üretim tesisleri yatırım yapılabilecek verimli projelerdir" hipotezi araştırılacaktır. İncelemede, projelendirme aşamasında enerji üretimi planlanmamış olan isale hatları üzerindeki maslak ya da depo girişi gibi basınç kırıcı yapılarda hat yenilemesi yapılmadan enerji üretim tesislerinin yapısal tasarımının üzerinde durulmaktadır. Öte yandan, hipotez ile isale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda kurulacak bir HES tesisinin verimli ve yatırım yapmaya değer olduğu iddia edilmiştir. Hipotezin test edilmesi için örneklem alanındaki mevcut isale hatları üzerinde pilot olarak seçilen projenin yapısal özellikleri belirlenecektir. Seçilen pilot projenin ön fizibilitesinin yapılarak keşif listelerinin hazırlanmasıyla kurulum maliyeti tespit edilecek olup, yıllık enerji üretim getirisinin hesaplanmasıyla rantabilite analizi yapılacaktır. Pilot projenin iç (verim) karlılık oranının tespit edilerek yatırım yapmaya değer verimli bir proje olup/olmadığı ortaya konacaktır. Ortaya çıkacak sonucun geri ödeme yöntemi ile de sınaması yapılacaktır.

2.1 Çalışma Alanı ve Veri Setleri

Kahramanmaraş il merkezi, Onikişubat ve Dulkadiroğlu isminde iki metropol ilçeden oluşmaktadır. Kahramanmaraş İl Merkezinin içme suyu ihtiyacı dört ana kaynaktan sağlanmaktadır (Tablo 1). Bu ana kaynaklardan sondaj kuyuları gereksinim halinde ihtiyaca binaen kullanılmaktadır. Mevcut isale hatları ve bu hatlardan beslenen şebeke üzerindeki teorik ve ekonomik hidroelektrik potansiyel araştırmanın çalışma alanıdır. Bu bağlamda dört su temin yolu ile şehir içindeki su şebekesinin elektrik üretimine ilişkin potansiyeli içerisinde rantabl olacağı düşünülen bir noktada kurulacak mini hidroelektrik santral pilot proje olarak seçilecektir. Karasu İsale hattı üzerinde projelendirme aşamasında tasarlanan ve kurulan 2,4 MW gücündeki Karasu HES ile Karasu isale hattındaki hidroelektrik potansiyelin tamamı değerlendirilmiştir. Diğer taraftan, şehrin en eski su kaynağı olan Pınarbaşı İsale Hattı 670 m kotundan başlayarak hemen 300 m mesafesinde yakın yükseltide şebeke başladığı için bu hat üzerinde bir hidroelektrik potansiyel söz konusu değildir. Ayvalı barajından başlayan isale hattının uzunluğu 24.800 m'dir. İsale hattının kapasitesi 1.000 lt/sn olup halen Kahramanmaraş Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) tarafından 700 lt/sn'lik kısmı kullanılmaktadır. Hat üzerinde bir adet arıtma tesisi vardır. Baraj isale hattı başlangıç kotu 784 m olup, arıtma tesisinin kotu 766 m'dir. Arıtma tesisinden sonra dağıtım noktalarına ulaşımında kayda değer bir basınç kırılımı bulunmamaktadır [24-25]. Bu bağlamda gerek Ayvalı Barajından gelen isale hattı üzerinde, gerekse elektrik harcanarak çıkarılan ve pompayla yüksek irtifaya aktarılan sondaj kuyusu kaynakları üzerinde bir hidroelektrik potansiyel bulunmamaktadır.

Tablo 1. Kahramanmaraş Merkez İçme Suyu İsale Hattı Kapasiteleri [24]

<i>İsale Hattı</i>	<i>Kapasite (lt/sn)</i>
Karasu	1.500
Pınarbaşı	500
Ayvalı Barajı	1.000
Sondaj Kuyuları	645

29 şebeke bölgesinden oluşan Kahramanmaraş Şehir Merkezindeki hidroelektrik potansiyelin tespit edilmesi son derece zordur. Çünkü her bir depo girişindeki basıncın ayrı ayrı ölçülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ekonomik potansiyelin tespit edilmesi amacıyla düşü farkının daha yüksek olduğu ve kapasitesi geniş hatların öncelikle incelenmesi gerekir. Ek-1'de KASKİ tarafından 29 alt dağıtım şebekesine ayrılan Kahramanmaraş içme suyu şebekesinde her bir alt dağıtım şebekesinin tüketim değerleri ile bu şebekeleri besleyen depoların kotları yer almaktadır. Ayrıca, her bir deponun beslediği alt dağıtım şebekesinin minimum ve maksimum kotları ile depoların kotları da verilmektedir. Her bir depo kendisinin beslediği alt dağıtım şebekesinin su ihtiyacıyla birlikte kendisinden beslenen bir sonraki deponun ihtiyacı kadar su almaktadır. Depoların beslediği alt şebekelerin farklı depolardan aynı anda beslenmesi de söz konusu olduğundan depolara gelen su miktarının ve türbin tasarım debisinin tespitinde işletme kaynaklarının verileri esas alınmıştır. Bu bağlamda elektromekanik teçhizatın devir ve verimlilik gibi esasları göz önünde bulundurularak dağıtım şebekesinde depo girişinde yılın en az üç çeyreğinde 100 lt/sn tasarım debisine ve depo girişinde en az 40 m basınca sahip hatların bilgileri KASKİ idaresinden talep edilmiştir. Depo giriş basıncının ve buna bağlı olarak türbin tasarım düşüsünün 40 m'den daha az olması türbin devir sayısını düşürerek generatörle türbin arasındaki dişli grubunun oranını artıracak ve kayıpların artmasına sebep olacaktır. Keza tasarım debisinin 100 lt/sn'den daha az olması durumunda, debi rejimindeki dalgalanmalarda verim kaybı çok yüksek olacaktır. Bu noktada, herhangi bilimsel sınırlama olmamasına rağmen seçilen 40 m düşü ve 100 lt/sn debi sınır parametreleri elektrik şebekesine entegre edilecek bir mini/mikro hidroelektrik santralin en az 40 kW güce sahip olması gerektiği öngörüsü çerçevesinde tespit edilmiştir.

Araştırmanın verileri iki aşamada toplanmıştır. Birinci aşamada, Kahramanmaraş İl Merkezinin içme suyu isale hatlarının ve şebeke içerisindeki depoların kot, debi ve yer gibi özellikleri KASKİ'den temin edilmiştir. KASKİ'den temin edilen veriler ışığında örneklem alanının kapasitesi ve pilot proje tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise, pilot proje için önerilen tesisin ve teçhizatın yaklaşık maliyetleri 2020 Nisan ayı piyasa koşullarından sağlanmıştır. Döviz bazlı hesaplamalarda 15 Nisan 2020 TCMB döviz kurları olan 1 USD=6,85 ₺ ve 1 EUR=7,50 ₺ baz alınmıştır.

2.2 Pilot Projenin Seçimi

En az 40 kW kapasiteye sahip olabilecek mini/mikro HES'lerin kurulabileceği depo girişleri göz önüne alındığında yaklaşık 0,5 MW'lık (470kW) bir kapasite söz konusudur. Literatürde 100kW gücün altındaki HES tesisleri mikro, 100 kW ile 5 MW arasındaki HES tesisleri ise mini olarak tabir edilmektedir [26]. Ek-3'deki veriler

ve KASKİ ile yapılan istişareler ışığında, isale hattı güzergahları üzerinde yapılan inceleme neticesinde depolar arasındaki hatların kapasiteleri ve kot farkları kullanılarak Tablo 2’de belirtilen potansiyel tespiti yapılmıştır. Bu bağlamda şehir şebekesindeki girişlerine mini/mikro HES tesisi kurulabilecek olan depoların toplam hidroelektrik güç potansiyeli 470 kW olarak öngörülmüştür. Bu araştırma kapsamında en büyük kurulu güce sahip olması sebebiyle D13-D16 iletim hattının sonunda D16 depo girişine kurulabilecek olan yaklaşık 200 kW gücündeki bir mini HES tesisi pilot proje olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Kahramanmaraş Merkez İsale Hatları Muhtemel mini/mikro HES Projeleri

Mini/Mikro HES Yeri	Brüt Düşü (m)	Proje Debisi (lt/sn)	Potansiyel Güç (kW)
D6-D23 Hat Sonu	53	100	40
D13-D16 Hat Sonu	45	605	200
D10-D12 Hat Sonu	50	300	100
D12-D14 Hat Sonu	50	240	80
D14-D18 Hat Sonu	45	155	50

D16 su deposu Dulkadiroğlu Mahallesi 297 ada 1 parsel tapu alanında yer almaktadır. Toplam 5.202 m² alana kurulu su deposunun hacmi 10.000 m³’tür. D13-D16 İsale Hattı 800 mm çapında ve 2.100 m uzunluğundadır. En yüksek kotu 650 m olan iletim hattının 605 m olan bitiş kotuna kadar 1,5 m/sn iletim hızı elde edilmektedir [24]. D13 su deposu ile D16 deposu arasındaki 2.100 m uzunluğundaki isale hattının sonuna tesis edilmesi planlanan ve pilot proje olarak seçilen mini HES projesi D16 HES olarak adlandırılmıştır. Yapılacak ön fizibilite çalışması ile D16 HES’in sahip olacağı karakteristik özellikler ile keşif, maliyet ve getiri hesapları yapılacaktır. Bu bağlamda öncelikle önerilen tesisin ve teçhizatın teknik özellikleri tespit edilecektir. Elektromekanik teçhizat seçimi için öncelikle tasarım parametrelerinin netleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada net düşü tespit edilecek ve kurulu güç optimizasyonu ile tasarım debisi tespit edilecektir. D13 ve D16 depoları arasındaki isale hattının eksenel kot farkı 45 m’dir. Net düşü hesabı için brüt düşüden hidrolik düşü kaybının (h_k) çıkarılması gerekmektedir. Hidrolik düşü kaybının tespiti için çok iyi bilinen Darcy-Weisbach denkleminde faydalanılabilir (Denklem 1). Burada, L ve D sırasıyla boru boyu ve çapını simgelerken, akımın ortalama hızı V olarak ifade edilmektedir. λ , ise boru ve akım tipine göre değişen sürtünme faktörü olup, laminer ($\frac{64}{Re}$) ve türbülanslı ($\frac{0,316}{Re^{1/4}}$) akımlar için Reynolds (Re) sayısına bağlı olarak değişiklik gösterir [27-29].

$$h_k = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad (1)$$

Net düşünün (h) hesabı ve tasarım debisinin (Q) belirlenmesini müteakip toplam verim (μ) ve suyun özgül ağırlığı (γ) kullanılarak denklem (2)’den yararlanılarak hidroelektrik gücü (P) hesaplanabilir.

$$P = \mu \cdot h \cdot Q \cdot \gamma \quad (2)$$

2.3 Maliyet ve Gelir Hesaplamaları

Elektromekanik, hidromekanik ve inşaat işleri tek bir keşif listesinde birleştirilerek piyasa fiyatları toplanacak ve üzerine %10 öngörülemeyen maliyetler eklenerek D16 HES’in kurulum maliyeti hesaplanacaktır. D16 HES’in yıllık enerji üretimi ise KASKİ’den temin edilen debi rejimi ve Tablo 4’de gösterilen verim değerlerinden faydalanılarak hesaplanacaktır. Türbinin çalışma sürelerinde gerekli bakım-onarım ve operasyonel durma süreleri de göz önünde bulundurulacaktır. 4628 sayılı elektrik piyasası kanunu kapsamında lisanssız bir üretim tesisi olacak D16 HES’te üretilen enerji Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında değerlendirilecektir. AG Dağıtım şebekesi üzerinden bağlantı yapıldığı için elektrik enerjisi birim fiyatından dağıtım bedeli birim fiyatı çıkarılacaktır. 2020 yılı ikinci çeyreği dönemi içerisinde yapılan hesaplamalarda kullanılan birim fiyatlar Tablo 3’te verilmiştir. Yatırım projelerini değerlemek amacıyla kullanılan yöntemler belirlilik koşulu altında ve belirsizlik koşulu altında kullanılan yöntemler olmak üzere iki kısımda ele alınmaktadır [30]. Genel olarak belirlilik şartları altında kullanılan proje değerlendirme metodları, paranın zaman değerini dikkate alan ve almayan yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir [31]. Bu çalışmada projenin hesaplanan maliyet ve getiri değerlerinden faydalanılarak öncelikle paranın zaman değerini dikkate alan iç karlılık oranı yöntemiyle araştırma hipotezi test edilecektir. Paranın zaman değerini dikkate almayan geri ödeme süresi yöntemiyle iç karlılık oranı yöntemiyle elde edilen sonucun tutarlığı kontrol edilecektir. Kullanılacak bu

yöntemlerde D16 HES'in ömrünün 50 yıl olduğu, finansman maliyetinin aylık %1,2 olduğu, yıllık mevduat faizinin ise %10 olduğu parametreleri esas alınmıştır. İç karlılık oranı, sermayenin başka yatırım alanlarında kullanılması halinde sağlayacağı gelir olan sermayenin fırsat maliyetinden küçük olduğu zaman söz konusu proje, ekonomik yönden olumsuz, en az onun kadar ya da daha fazla olduğu zaman olumlu bulunur [32]. İç karlılık oranı pilot projenin 50 yıllık periyottaki nakit akışı oluşturularak Denklem 3'te gösterildiği şekilde tespit edilecektir. Burada, sırasıyla $\Delta NG_{a,t}$ ve $\Delta N\mathcal{C}_{a,t}$ a projesinin t zamandaki net nakit girişi ve çıkışını simgelerken, projenin ekonomik ömrü n ile iç karlılık oranı ise r ile gösterilmektedir. Bu bağlamda hesaplanacak iç karlılık oranının sermayenin fırsat maliyetini oluşturan yıllık mevduat faizinden yüksek olması projenin yatırım yapılabilir olduğunu gösterecektir. Geri ödeme süresi yönteminde ise tesisin kurulum maliyetinin yıllık net getirisine oranı elde edilerek; yıllık %10 mevduat faizi baz alındığından 7 yıldan önce kendini ödeyen proje verimli kabul edilecektir.

Tablo 3. 2020 Yılı İkinci Çeyrek (Nisan-Mayıs-Haziran) Elektrik Birim Fiyatlandırması [33]

Birim Fiyat Kodu	Açıklama	Birim Fiyat (kr/kWh)
TB	Ticarethane Birim Fiyatı	57,38
TD	Dağıtım Bedeli Birim Fiyatı	14,69
TB-TD	Faturalandırma Satış Birim Fiyatı	42,69

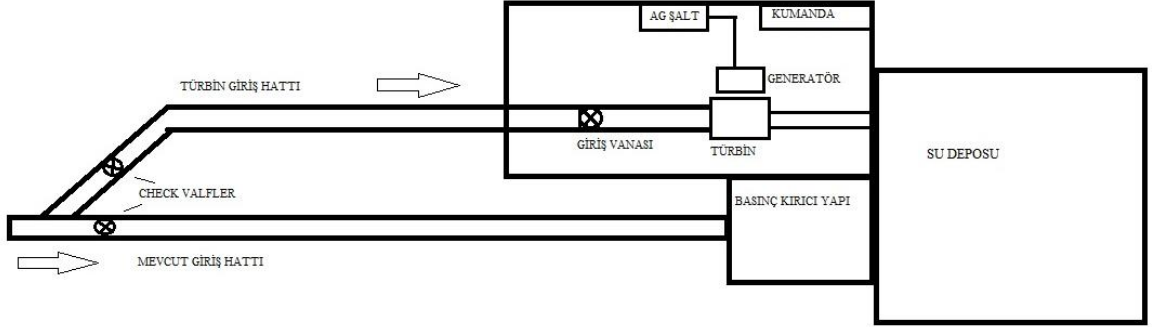
$$\sum_{t=1}^n \frac{\Delta NG_{a,t}}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{\Delta N\mathcal{C}_{a,t}}{(1+r)^t} \quad (3)$$

3. Bulgular

3.1 Pilot Projenin Tasarımı

Kurulması planlanan santral binası D16 su deposunun kuzeyinde, isale hattının depo girişine paralel olarak tesis edilecektir. Hatlarda kullanılacak check valve sistemi ile ani kapama ve açma durumlarında oluşabilecek su koçu etkileri minimize edilecektir. Türbin girişinde DN800 kelebek vana kullanılacaktır. Türbin çarkından deşarj olan içme suyu emme borusu vasıtasıyla depoya boşalacaktır. Türbin ve generatör devir sayıları eşit olmaması sebebiyle akuple şaft yerine kayış kasnak sistemi kullanılacaktır. Yük kontrol panosu, uzaktan ve yerel izleme ve kontrol panoları türbin odasında yer alacaktır. Aynı şekilde Alçak Gerilim (AG) çıkış panosu da türbin odasında yer alacaktır (Şekil 1). Boru boyu 2.100 m, çapı 800 mm, akımın ortalama hızı 1,5 m/sn, yerçekimi ivmesi (g) 9,81 m²/sn ve yoğunluk (ρ) 1 t/m³ için, paket programdan (Pressure Drop Calculator) faydalanılarak Re 85.944 elde edilmiş bunun sonucu ise akımın türbülanslı olduğu tespit edilmiştir [34]. Denklem 1'den faydalanılarak sürtünme faktörü ve buna karşılık gelen hidrolik düşü kaybı sırasıyla 0,0185 ve 5,57 m olarak bulunur. Buradan hareketle D13-D16 arası net düşü yüksekliği 39,43 m olarak elde edilebilir. Bu yaklaşımda yerel kayıpların ihmal edilebilecek düzeyde olduğu öngörülerek hesap yapılmıştır. Ayrıca, hat üzerindeki debinin ihtiyaca göre 490-690 lt/sn arasında salınım göstermekle kış aylarında tüketimin azaldığı tespit edilmiştir. Ancak kurulu güç optimizasyonu için debinin yıl içindeki değişimini gösteren herhangi bir somut veri bulunmamaktadır [35]. Tasarım debisinin 600-lt/sn seçilmesi değişen ortalama debi ve buna bağlı değişen türbin verimi baz alındığında yıllık toplam enerji üretimini maksimize etmektedir. İçme suyu isale hatlarındaki bazı projelerde türbin tipi Muhammetoğlu ve arkadaşları tarafından belirtildiği gibi PAT (Pump As Turbine) tipinde tercih edilebilmektedir [36]. Türbin tipinin seçimi hususunda iki ana parametre debi ve düşü olmakla birlikte maliyet ve enerji üretim verimliliği gibi unsurlar belirleyici olmaktadır. 39,43 m net düşü ve 600 lt/sn tasarım debisi baz alındığında türbin tipi olarak Francis ya da Banki (Crossflow) türbin tiplerinden biri seçilebilir. Bosco ve arkadaşları tarafından içme suyu hatlarındaki optimum türbin tasarımının ayrıca bir çalışma olacak kadar geniş olduğunu gösterir çalışmada Banki (Crossflow) tipi türbinlerin içme suyu hatlarındaki kullanımı analiz edilmiştir. [37]. Pilot projede Banki tipi türbinlerin fiyatlarının Francis tipi türbinlerinin fiyatlarına göre daha düşük olması ve Banki tipi türbinlerin işletme ve bakım maliyetlerinin diğer türbin tiplerine göre daha düşük olması sebebiyle Banki tipi türbin tercih edilmiştir. Banki tip türbinlerin Francis tipi türbinlere nazaran düşük olan verimleri (%5 civarı) 200 kW civarı bir güç için kabul edilebilir bir güç kaybına karşılık gelirken tasarım debisinin %90'nın altındaki debi değerlerinde Francis tipine nazaran daha stabil verim değerlerine sahip olması bu kaybı da telafi etmektedir [38]. Bu bağlamda su tüketim alışkanlıklarından yola çıkılarak 12 ay için bir aylık tüketim ortalaması tablosu ortaya konmuştur (Tablo 4). Tablo 4'ten de görüleceği üzere, kullanılması planlanan Banki tip türbine ilişkin imalatçının ortalama

debi/tasarım debisi oranına (%) karşılık gelen türbin verimi pilot projenin kurulacağı yerdeki aylık ortalama debi verileri ile karşılaştırıldığında pilot projede kullanılacak türbinin aylara göre beklenen verimi %79 ila %86 (ortalaması %83 olmak üzere) arasında değişiklik göstermektedir.



Şekil 1. D16 HES Genel Yerleşimi

Tablo 4. D16 HES Debi Değişimi ve Aylık Türbin Verimi

Aylar	Ortalama Debi (lt/s)	Ortalama Debi/Tasarım Debisi (600lt/s) (%)	Türbin Verimi (%)
Ocak	490	81.67	79
Şubat	500	83.33	80
Mart	520	86.67	81
Nisan	550	91.67	83
Mayıs	590	98.33	84
Haziran	600	100.00	86
Temmuz	620	103.33	85
Ağustos	630	105.00	84
Eylül	610	101.67	85
Ekim	580	96.67	83
Kasım	550	91.67	83
Aralık	540	90.00	82

Tablo 5'te D16 HES'te kullanılması planlanan elektromekanik teçhizatın karakteristik özellikleri verilmiştir. Devir sayısı, türbininkine eşit olan bir generatör piyasada standart olarak imal edilmemektedir. Türbin ve generatörü akuple edebilmek amacıyla generatör için özel bir tasarım ve imalat yapılması ise tesis maliyetini olağanüstü artıracaktır. Bu sebeple kayış kasnak yardımıyla güç aktarımın sağlanması öngörülmüştür. 380 V alçak gerilim seviyesinden bağlanacağı için ayrıca bir transformatöre ihtiyaç bulunmamaktadır. Pilot proje seçilen D16 HES projesi kapsamında, Ø800 mm'lik mevcut isale hattına pantolon yapılarak Ø800 mm çapında boru bağlanacaktır. Bu hat üzerinde debimetre yerleştirilecek sonra pantolon ile ikiye ayrılacak, ikiye ayrılan Ø800 mm çapında boruların bir tanesi türbinde meydana gelebilecek herhangi bir aksaklık olması durumuna karşın iğne vana kontrolünde suyun doğrudan santral kuyruk suyuna aktarılmasını sağlayacak, diğeri ise türbin giriş vanasına (kelebek vana) bağlanacaktır. Yine kesin proje aşamasında, cebri boru dirseklerinde ve bransman bölgesinde su darbeleri basınçları da dikkate alınarak dirsek kitleleri yerleştirilecektir. Pozitif ve negatif basınç dalgalanmaları ya da olası su koçu darbeleri check valve sistemi ile erken tespit edilecek ve kelebek vanaları yürüten servomotorlarla açma-kapama işlemi yapılmak suretiyle isale hattının korunması sağlanacaktır. Santral binasına tesis edilecek generatör 380 V çıkışlı olacak olup AG Şalt Panosu çıkışından sonra su deposunun kuzeyinde yer alan AG dağıtım direkleri üzerinden mahalle trafosundan AG dağıtım şebekesine entegre edilecektir.

Tablo 5. Elektromekanik Teçhizat Karakteristikleri

Teçhizatın Adı	Teçhizatın Özellikleri
Türbin	200 kW Yatay Eksenli Banki Türbini (1 Ünite) Net Düşü: 39,43 m- Tasarım Debisi: 600 lt/sn-Türbin Tasarım Verimi: %86, 300 d/dk
Generatör	210 kVA Yatay Eksenli Asenkron (1 Ünite)-Güç Faktörü: 0,90, 1.000 d/dk. Gerilim: 380 V, Frekans:50 Hz, 3 Fazlı
Aktarma Organı	Kayış ve kasnak
Transformatör	Doğrudan alçak gerilim sistemine bağlantı yapılacağından transformatör kullanılmayacak
Kumanda ve Kontrol	Scada sistemi ile güçlendirilmiş arayüz ile bilgisayar üzerinden kontrol
Ölçme	Alçak gerilim sayaç ve bağlantı panoları
Kesintisiz Güç Kaynağı	50 kVA UPS ve şehir şebekesi bağlantısı

3.2 Pilot Proje Keşif Maliyeti ve Rantabilite Analizi

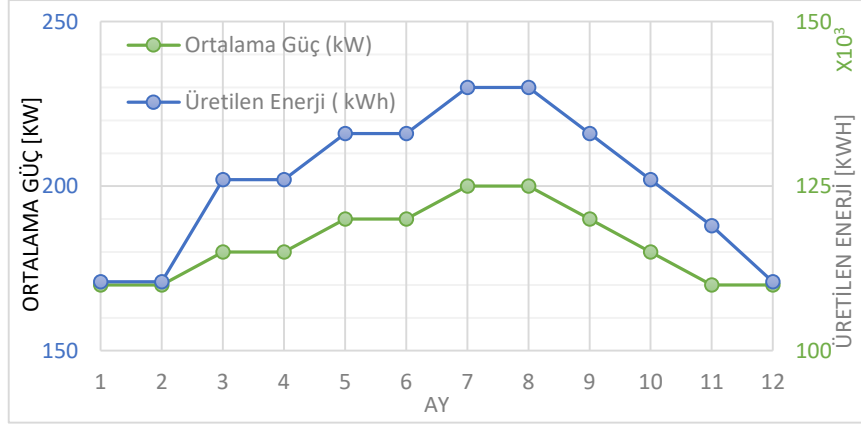
İnşaat, hidromekanik ve elektromekanik işlerine ilişkin için Nisan 2020 piyasa koşullarına göre hazırlanmış olan Ek-2'deki keşif listesinde D16 HES'in %10'luk öngörülemez maliyetler dahil 798.817,00 ₺ maliyet ile tesis edilebileceğini ortaya koymuştur. D16 HES tesisinin fizibilite ve projelendirme çalışmalarının ilk 9 ay içerisinde, yapım aşamasının ise son 6 aylık periyot içerisinde tamamlanabileceği öngörülmüştür. Tablo 6'da sunulan termin programında da görüleceği üzere 2020 yılı sonbaharında başlayabilecek proje çalışmalarının 15 ay içerisinde tamamlanarak tesisin devreye alınması planlanmıştır. D16 HES projesinin enerji üretimi doğrudan D13 deposundan iletilen akıma bağlıdır. Yıl içerisinde su tüketimine bağlı olarak akımın değişimi elde edilen verilere göre incelendiğinde debi değişimi için bir yaklaşım yapmak mümkün olmaktadır. Yapılan debi değişim yaklaşımına göre, D16 HES projesinin aylık enerji üretim projeksiyonu Şekil 2'de hesaplanarak gösterilmiştir. Kış aylarında hatlardan kaynaklı operasyonel durmalar daha fazla beklendiğinden ocak, şubat ve aralık aylarında çalışma süresi 650 saat diğer aylarda ise 700 saat olarak öngörülmektedir. Değişen debi değeri dolayısıyla ortalama güç minimum 170 kW (kış aylarında), maksimum 200 kW (Temmuz ve Ağustos) olmak üzere değişmektedir. Ortalama güç ve çalışma saatinin ürünü olan üretilen enerji kış aylarında 110.500 kWh bandında olup yaz aylarında ise artış trendine geçerek 140.000 kWh'e ulaşmaktadır. Gerekli bakım-onarım durumları ile operasyonel sebepler kaynaklı durmaların da hesap edilerek D16 HES'te yıllık toplam enerji üretimi ise 1.500.000 kWh olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda KASKİ tarafından elektrik dağıtım şirketi AKEDAŞ'a kesilecek ve akabinde mahsuplaşacak faturaların yıllık toplamı Tablo 3'deki faturalandırma birim fiyatından yararlanılarak 640.350 ₺ olarak hesaplanacaktır. Ancak mevzuat gereği mahsuplaşmalar aylık olarak yapılacaktır.

Tablo 6. D16 HES Termin Programı

İş Kalemi	2020			2021												
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1 Ön Fizibilite	■	■														
2 Nihai Fizibilite Hazırlanması, Lisansız Üretim Prosedürleri & Gerekli İzinler		■	■	■	■	■										
3 Hidromekanik & Elektromekanik Projelendirme					■	■	■									
4 İnşaat Projelendirmesi								■	■							
5 AKEDAŞ AG Bağlantı Antlaşması								■	■							
6 İş Programının Yapılması						■										
7 Elektromekanik Teçhizat Siparişi ve Temini									■	■	■	■	■			
8 Hidromekanik & Diğer Teçhizat Siparişi ve Temini										■	■	■	■			
9 İnşaat Sahasının Hazırlanması											■	■	■			
10 İnşaat İşleri												■	■	■		
11 Hidromekanik & Elektromekanik Montaj													■	■		
12 AG Dağıtım Şebekesi Bağlantısı														■	■	
13 Kontrol & Test Uygulamaları															■	■
14 Devreye Alma																■

D16 HES'in 3 vardiya şeklinde çalışacak operatörler tarafından kontrol ve kumanda edilmesi planlanmıştır. D16 HES yıllık işletme maliyeti hesabında ise personel maliyeti (180.000 ₺) ve rutin bakım onarım giderleri (20.000 ₺) olmak üzere toplamda 200.000 ₺ olarak öngörülmektedir. Buna göre, mahsuplaşılacak faturalardan işletme gelirleri düşüldüğünde yıllık net gelir toplamı 440.350 ₺ olarak bulunmuştur. Türbin çarkındaki kavitasyonlar nedeniyle çarkın yenilenmesi, generatör sargılarının yenilenmesi ve yatak aşınması gibi hususlar göz önüne alındığında tesiste her 10 yılda bir rutin bakım onarım dışında bugünkü değerlere göre 100.000 ₺ tutarında büyük bakım-onarım masrafinin olacağı öngörülmüştür. Tesisin bu büyük bakım-onarım işlemleri ile

kurulum yılı dahil 50 yıllık ömrünün olduğu ve 50 yıl sonunda tamamen yenilenmesi gerekeceği öngörülmüştür. Ayrıca tesisin kurulum maliyetinin tamamen finansman kullanılarak %15 faizle ve 24 ay eşit taksitle ödenecek 230.000 ₺ tutarında bir finansman maliyeti öngörülmüştür. Hesaplanan maliyetler ve getiriler Ek-3'deki nakit akış grafiğine aktarıldığında D16 HES'in iç karlılık (verim) oranının %44 olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuç projenin rantabl ve verimli görülmesi için baz alınan en az %10'luk değer bir hayli üzerindedir. Bu bağlamda projenin yatırım yapmaya değer rantabl bir proje olduğu rahatlıkla görülecektir. İç verim oranı yöntemi ile içme suyu hatları üzerine enerji üretmek için kurulan tesislerin rantabl projeler olduğu görüşünü savunan hipotez örnek bir tesis üzerinden güçlü bir şekilde ispatlamıştır. Bununla birlikte geri ödeme süresi yöntemi, ilk yöntemle bulunan sonucu test etmek ve desteklemek için kullanılmıştır. Geri ödeme süresi yöntemine göre, tesisin kurulum maliyetinin yıllık net getirisine oranı olarak tesisin kurulum maliyetini 1,8 yılda karşılayabileceği görülmüştür.



Şekil 2. D16 HES Yıllık Enerji Üretim Grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Araştırma kapsamında mevcut içme suyu isale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda enerji üretilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, Dünya ve Türkiye özelinde enerji üretmek amacıyla kurulan projeler incelenerek mevcut isale hatlarında enerji üretimi potansiyeli ve uygulaması Kahramanmaraş örneği üzerinde analiz edilmiştir. Çalışma bu alanda yapılmış az sayıdaki çalışmalardan biri olduğundan yeni araştırmalar için kullanışlı bir kaynak olma özelliği sunmaktadır. Ayrıca, içme suyu isale hatları üzerinde enerji üretiminin yapısal, mali ve yasal özellikleri irdelenerek tek bir kaynak üzerinden konu hakkında geniş bilgiye ulaşma imkânı sağlanmaktadır. Araştırma hipotezinde ise isale hatları üzerindeki basınç kırıcı yapılarda kurulacak enerji üretim tesislerinin verimli ve maliyet geri dönüşü kısa olan projeler olduğu savunulmuştur. Tüm projeleri incelemek mümkün olmadığından bir pilot proje seçilerek hipotez sınamıştır. Yapılan keşif çalışması ile pilot proje olarak seçilen D16 HES'in kurulum maliyeti tespit edilmiştir. Yıllık enerji üretimi ve işletme gideri gibi hesaplamalar sonunda tesisin kendini 1,8 yıl gibi kısa sürede amorti edebilen ve %44'lük iç verim oranına sahip rantabl bir proje olduğu sonucuna ulaşılmıştır. %44'lük iç verim (karlılık) oranı fırsat maliyeti olarak baz alınan yıllık %10 mevduat faiz oranından çok daha yüksek hesaplandığından hipotez güçlü bir şekilde kabul edilmiştir. Tesisin geri ödeme süresinin %10 mevduat faizine göre kendini katlama süresi olan 7 yıldan çok daha az bir süre olarak sadece 1,8 yıl olarak hesaplanması da bu sonucu kuvvetli şekilde desteklemiştir. Bu bağlamda pilot proje özelinde içme suyu isale hatları üzerinde bulunan basınç kırıcı yapılar üzerinde kurulacak mini/mikro HES tesislerinin yatırım yapmaya değer son derece verimli projeler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İçme suyu isale hatları üzerinde bulunan basınç kırıcı yapılar bir maslak, depo ya da basınç kırıcı bir vana olabilmektedir. Bu yapılarda kırılan su basıncından üretilen enerji yenilenebilir enerji kaynağı olması ve eşdeğerinde harcanacak olan fosil yakıtı engellemesi sebebiyle çevrecidir. Türkiye'nin en büyük ithalat kalemi olan enerjide yerli bir kaynak oluşturması ile dış ticaret açığının kapanmasına da katkı sağlamaktadır. Yerel yönetimlerin en büyük gider kalemlerinden olan elektrik enerjisi faturalarını düşürmesi, yüksek potansiyelle sahip beldelerde ayrıca gelir kalemi oluşturması yerel yönetim bütçelerine sürdürülebilir bir katkı sağlamaktadır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Belediyeler Birliği, İlbank ve Üniversiteler gibi ilgili kurumlar arasında iş birliği ile yapılacak TÜBİTAK-KAMAG projesi ile Türkiye genelindeki potansiyelin tespiti için saha araştırması ve raporlaması yapılabilir. Akabinde geliştirilecek projeler ile yol haritaları ortaya konabilir. Bu sayede her bir

belediye proje ekibinin oluşturacağı kolektif akıl ile hızlı ve verimli sonuçlar alınabilir. Bu çalışmalar kapsamında çok sayıda benzer projenin ortaya çıkabileceği tahmin edilmekte olup, bu durum standardizasyon ile maliyetlerin düşmesini sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji projelerine için cazip finansman olanakları bu projeler için de kullanılabilir. Bu bağlamda özellikle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından benzer enerji üretim tesislerin tespit, teşvik ve tesis edilmesine yönelik adımlar atılmalıdır.

Teşekkür

Yazarlar katkılarından dolayı KASKİ İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanı Sayın Halil İbrahim DURAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirlir.

Kaynaklar

- [1] Tomassovits M. (2020). Energy Production at Water Pipeline. Vienna Water Viyana Su İdaresi Yetkilisi, 27 Şubat 2020 e-posta İletisi.
- [2] SDCWA (2020). San Diego Şehri Su İdaresi, Basınç Kontrolü ve Hidroelektrik, <https://www.sdcwa.org/pressure-controlhydroelectric-facility>, [Erişim Tarihi: 24 Şubat 2020]
- [3] Melbourne (2020), Melbourne Su İdaresi Hydropower Generation and How It Benefits <https://www.melbournewater.com.au/community-and-education/about-our-water/liveability-and-environment/energy/hydropower> [Erişim Tarihi: 24 Şubat 2020]
- [4] WSD (2020). Hong Kong Special Region Water Supply Department, Hong Kong Özel Bölgesi Su İdaresi <https://www.wsd.gov.hk/en/home/climate-change/mitigating/hydropower-plant/index.html>, [Erişim Tarihi: Şubat 27 2020]
- [5] Punys P., Choulot A., ve Denis V. (2012). Integration of Small Hydro Turbines into Existing Water Infrastructures Aleksandras Stulginskis University Publications March 2012 Sf. 12
- [6] Lombardi S. (2020), Lombardi SA Firması San Lorenzo ve Simbirizzi HES Referansları https://www.lombardi.ch/engb/Pages/References/Hydroelectric%20plants/References_338.aspx [Erişim Tarihi: 26 Şubat 2020]
- [7] Boulder (2020). Colorado Eyaleti Boulder Şehir Yönetimi, Hidroelektrik, <https://boulder.colorado.gov/water/hydroelectricity> [Erişim Tarihi: 26 Şubat 2020]
- [8] EYDAP, (2020) EYDAP Atina Su ve Kanalizasyon Şirketi, Hidroelektrik Projeleri, <https://www.eydap.gr/en/TheCompany/Energy/HydroProjects/> [Erişim Tarihi: 26 Şubat 2020]
- [9] Khennas I. & Barnett A. (2000), Best Practices For Sustainable Development Of Micro Hydro Power In Developing Countries, Final Sythesis Report.
- [10] Gül E., Aydoğdu M., Dursun Ö.F. ve Fırat M. (2015). İçme Suyu Şebekelerinde Enerji Üretiminin Verimliliği: Malatya Örneği, Makale, 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon.
- [11] Viccione G., Amato R. ve Martucciello M. (2018) Hydropower Potential from the Ausino Drinking Water System.Proceedings,2,688.
- [12] Soffia C., Miotto F., Poggi D. ve Claps P. (2010). Hydropower potential from the drinking water systems of the Piemonte region (Italy) SEEP2010 Conference Proceedings, June 29th – July 2nd, Bari, İtalya
- [13] Byns N., Leunis K., Peeters K., ve Tonnet L., (2011) The Use of Hydropower in Water Supply, eau3e.hypotheses.org
- [14] Demirel İ.H., Yüksel İ., Yüksek Ö. Ve Serencam U. (2015). Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Olarak Küçük HES'lerin İçme Suyu Kaynaklı Enerji Üretimindeki Rolü, Makale, 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon.
- [15] Özelçer İ.H., Aksoy B. Dünder O. (2020) Kızılcapınar İçmesuyu Barajında Hidroelektrik Potansiyeli Değerlendirilmesi, Türk Hidrolik Dergisi Sayı:4 Sf.29
- [16] Küçükali S. (2010), Hydropower potential of municipal water supply dams in Turkey: A case study in Ulutan Dam, Energy Policy , vol.38, pp.6534-6539,
- [17] EPDK, (2001). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Piyasası Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.4628.pdf>. [Erişim Tarihi:03.10.2020]
- [18] BUSKİ (2020), Bursa Büyükşehir Belediyesi, BUSKİ Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi, http://www.buski.gov.tr/tr/haber/buskinin_hes_yatirimlari_turkiyeye_ornek_1476 [Erişim Tarihi:29.12.2020]
- [19] ESKİ (2019), Erzurum Büyükşehir Belediyesi, ESKİ Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi, 2018 Faaliyet Raporu, Sf.88
- [20] Karapınar (2013), Karapınar Proje Mühendislik Ltd. Şti., Rize Andon HES Fizibilite Raporu Sf. 21-28
- [21] Dertli S. (2018). İçme Suyu Tesislerinden Enerji Üretimi ve Karbon Salınımı Azaltılması, Enerji Verimliliği Forum ve Fuarı Sunumu.
- [22] SASKİ, Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi, (2020). Akçay Barajı ve İsale Hattı HES Projeleri, <https://www.sakaryasaski.gov.tr/haberler/detay.aspx?Id=10201> [Erişim Tarihi: 26 Nisan 2020]
- [23] Esha (2006), Avrupa Küçük Hes Sunumu, European Small Hydro Association Sf.12
- [24] KASKİ, Kahramanmaraş Su ve Kanalizasyon İdaresi, (2020). İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, [Görüşme Tarihi: Nisan 15, 2020]

- [25] Ünsal M., Yücel P., İşliyen K., Tekin E. ve Akgün İ. (2013) Kahramanmaraş'taki Barajlar ve Kullanım Amaçları Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisliği BEÜ Fen Bilimleri Dergisi Sf. 109-118
- [26] Öztürk D., Özdemir M.T., Cebeci M. (2011). Çok Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde Plc İle Gerilim Ve Frekans Kontrolü, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2) sf.119
- [27] Darcy, H. (1857). Recherches Experimentales Relatives au Mouvement de L'Eau dans les Tuyaux, 2 volumes, Mallet-Bachelier, Paris. 268 pages and atlas. ("Experimental Research Relating to the Movement of Water in Pipes")
- [28] Weisbach, J., (1845). Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, Braunschweig
- [29] Manning, Francis S.; Thompson, Richard E. (1991), Oilfield Processing of Petroleum. Vol. 1: Natural Gas, PennWell Books, ISBN 0-87814-343-2, 420 pp.
- [30] Uygurtürk, H. (2012). Stratejik Yatırım Kararlarının Verilmesinde Reel Opsiyonlar Yaklaşımı: Kömür Sektöründe Bir Uygulama. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme A.B.D., Yayınlanmış Doktora Tezi, Zonguldak Sf.19
- [31] Yılıgör, A. G., Yücel, E. (2008). Sermaye Bütçelemesi Kararları: Mersin ve Adana İllerinde Bir Uygulama. Ç.Ü Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17(2), 449-464.
- [32] Ankara Üniversitesi Yayınları (2020). Su Kaynakları Projelerinin Değerlendirilmesi Açık Ders Notları Sf.3
- [33] AKEDAŞ (2020). AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Şirketi, Erişim adresi: https://www.akedasdagitim.com.tr/Guncel_Tarifeler, [Erişim Tarihi 17 Mayıs 2020].
- [34] Carf E. (2020), Carf Engineering, Pressure Drop Calculator, Açık Paket Program
- [35] Duran H. İ. (2020). Kahramanmaraş Kaski İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanı, Telefon Görüşmeleri, 19.05.2020, 23.05.2020, 26.01.2020, 10.08.2020
- [36] Muhammetoğlu, A., Karadirek, I.E., Özen, Ö., Muhammetoğlu H. (2017), Full-Scale PAT Application for Energy Production and Pressure Reduction in a Water Distribution Network, Journal of Water Resources Planning and Management, Volume 143 Issue 8
- [37] Bosco, C., Pezzinga, G., Sinagra, M., Tullio, T., (2018). Optimal Design Of Water Pipeline And Microhydro Turbine by Genetic Algorithm, 13th International Conference on Hydroinformatics Sf.302-309
- [38] TEMSAN, Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş., (2020). Banki Türbinleri, Erişim Adresi: <https://www.temsan.gov.tr/Sayfa/banki/60>, [Erişim Tarihi: Mayıs 27 2020]

Ekler:

Şebeke No	Tüketim Değerleri			Depo Adı	Depo Kot (m)	Şebeke Kotu ^{Min-Maks} (m)
	Q _{ort} (m ³ /gün)	Q _{maks} (m ³ /gün)	Q _{maks} (lt/sn)			
Ş1	4229	5497	64	D1	880	820-850
Ş2	2037	2648	31	D2	850	770-820
Ş3	1716	2231	26	D4	800	720-770
Ş4	3668	4768	55	D6	750	670-720
Ş5	6118	7953	92	D3	854,2	770-820
Ş6	10300	13391	155	D5	799	720-770
Ş7	10320	13417	155	D7	754	670-720
Ş8	842	1095	13	D8	750	700-720
Ş9	11011	14314	166	D8	750	670-720
Ş10-11	22156	28802	333	D11	700	620-670
Ş12	25085	32610	377	D13	650	570-620
Ş13	18962	24651	285	D16	605	520-570
Ş14	11786	15321	177	D15	604	520-570
Ş15	10283	13368	155	D18	555	470-520
Ş16	7496	9744	113	D10	700	620-670
Ş17	4363	5672	66	D12	650	570-620
Ş18	5597	7276	84	D14	600	520-570
Ş19	3174	4127	48	D17	550	470-520
Ş20	3740	4862	56	D19	497	450-470
Ş21	2722	3539	41	D20	750	670-720
Ş22	1730	2249	26	D21	800	720-770
Ş22A	205	267	3	D22	845	770-820
Ş23	6836	8886	103	D23	697	620-670
Ş24	6320	8216	95	D24	647	570-620
Ş25	2537	3298	38	D25	600	520-570
Ş26	2011	2614	30	D26	650	570-620
Ş27	785	1021	12	D27	520	440-490
Ş28	3999	5199	60	D28	546	480-514
Ş29	264	343	4	---	---	469-484

Ek-1. Kahramanmaraş İl Merkezi Depo Kotları ve Tüketim Değerleri [23]

İçme Suyu İsale Hatlarındaki Basınç Kırıcı Yapılarda Enerji Üretimini Yapısal Tasarımı ve Analizi: Kahramanmaraş Örneği

NO	Poz No	İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Tutar (TL)			
1	B-15.301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler hariç her cins ve klasta zeminlerin kazılması ve depoya konulması	m ³	500	5,00	2.500,00			
2	B-15.306	Barajlarda yumuşak kaya zeminlerin kazılması ve tahliyesi	m ³	100	30,00	3.000,00			
3	B-15.310	Barajlarda kaya kazılması, dolgu ve/veya depoya konulması	m ³	50	23,00	1.150,00			
4	B-16.501-B	B - Portland çimentosu	ton	20	238,00	4.760,00			
5	B-16.513	Barajlarda idarece istenilen dozda konkasör kumu ve kırmataş kullanılarak betoniyerle karıştırılan ve vibratörle dövülen betonarme beton	m ³	80	220,00	17.600,00			
6	B-21.015	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme betonu kalıbı yapılması	m ²	200	55,00	11.000,00			
7	B-23.002	Barajlarda betonarme demiri	ton	15	3.800,00	57.000,00			
8	B-23.D/4-a	Açıktaki cebri borular ve çelik mesnetleri	kg	2.500	22,00	55.000,00			
9	B-07.D/1	Çimento Taşınması	K.Maraş KÇS	30	km	ton	100	30,00	3.000,00
10	B-07.D/2	Demir Taşınması	Muhtelif	10	km	ton	15	100,00	1.500,00
11	B-07.D/4	Karayolu ile taşımalar	Agrega Nakli	20	km	m ³	300	10,00	3.000,00
12	B-07.D/3	Karayolu ile taşımalar	Kazı Nakli	20	km	m ³	500	10,00	5.000,00
13	B-07.D/5	Karayolu ile taşımalar	Kazı Nakli	20	km	m ³	500	10,00	5.000,00
14	ÖZEL	DN800 İğne Vana ve Check Valve Sistemi	Adet	1	26.000,00	26.000,00			
15	ÖZEL	DN800 Kelebek Vana	Adet	1	16.000,00	16.000,00			
16	ÖZEL	DN800 Debi Ölçer	Adet	1	12.000,00	12.000,00			
17	Y.21.311-01	Ahşap Lambri Alın Kapatma Levhası	m ²	100	70,00	7.000,00			
18	Y.18.201	Altve üst kiremit (dar tip) ile çatı örtüsü yapılması (grup 1)(alaturka)	m ²	30	250,00	7.500,00			
19	Y.18.461/051A	1.5 mm kalınlıkta, PVC esaslı, (DuzTip yada sinyal tabakalı) jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	15	200,00	3.000,00			
20	Y.18.245-001	Eğimli çatılarda, minimum 1 mm kalınlıkta iki yüzü polietilen film kaplı laminesiz polimer bitümlü örtü ile su yalıtımı yapılması	m ²	40	220,00	8.800,00			
21	MSB.503	Çatı örtüsü altına lifli levha (OSB-3) (11 mm) ile kaplama yapılması	m ²	20	200,00	4.000,00			
22	24,011	12 Nolu Çinkodan 185 mm Yağmur Oluğu Yapılması	m	40	30,00	1.200,00			
23	24,006	12 Nolu Çinkodan 80 mm Düşey Yağmur iniş Borusu	m	25	30,00	750,00			
24	Y.23.081	Profil demirlerden Çatı makası yapılması veyerine konulması	kg	1.500	12,00	18.000,00			
25	04.553-04	Silikon esaslı su bazlı dış cephe boyası	kg	50	125,00	6.250,00			
26	27,582	Mala perdahlı şap yapılması	m ²	8	280,00	2.240,00			
27	04.555-03	Su bazlı brut beton astarı	kg	5	160,00	800,00			
28	23,002	(14 mm'lik ve Daha Büyük Çaplı) Kalın Betonarme Demirlerin Temini, Bukülmesi ve Yerine Konması (GEMİCİ MERDİVENİ)	kg	300	10,00	3.000,00			
29	KGM/26.041/K	Karo Mozaik Kaplama (Tesviye Betonsuz)	m ²	40	300,00	12.000,00			
31	04.644-04B	4+4 mm kalınlıkta Renksiz Opak 0,76 PVB li Lamine Camlar (İS EN ISO 12543-1)	m ²	40	18,00	720,00			
32	B.03	Vasistas takımının yerine takılması (Çelik makas, kromaj kol tutanak)	Adet	10	10,00	100,00			
33	04.773-B03	Vasistas takımı (Çelik makas kromaj kol ve tutamak) pencere dograma madeni aksamı (ahşap, metal ve plastik)	Adet	10	150,00	1.500,00			
34	25,137	Demir, madeni imalatı korozyona karşı 2kat boyama	m ²	12	250,00	3.000,00			
35	Y.23.155	2,00 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş sacdan bükme kapı kasası yapılması ve yerine konulması	kg	40	80,00	3.200,00			
36	Y.23.220	Demir borudan kaynakla korkuluk yapılması, yerine konulması	kg	6	300,00	1.800,00			
37	ÖZEL	Banki (Crossflow) Türbini - 200 kW	set	1	163.000,00	163.000,00			
38	ÖZEL	Kayış Kasnak Grubu	set	1	4.000,00	4.000,00			
39	ÖZEL	Asenkron Generatör - 210 kVA	set	1	48.900,00	48.900,00			
40	ÖZEL	Kumanda ve Kontrol Sistemi	set	1	40.000,00	40.000,00			
41	ÖZEL	AG Şalt Panosu ve AG Bağlantısı	set	1	20.000,00	20.000,00			
42	ÖZEL	UPS 50 kVA	set	1	42.300,00	42.300,00			
43	ÖZEL	Gezer Vinç (5 Ton, 5m)	Adet	1	24.000,00	24.000,00			
44	ÖZEL	Montaj, Test ve Devreye Alma	set	1	25.900,00	25.900,00			
45	ÖZEL	Müşavirlik Hizmetleri	set	1	20.000,00	20.000,00			
46	ÖZEL	Projelendirme Hizmetleri	set	1	30.000,00	30.000,00			
47		Öngörülemeyen Giderler (%10)	set	1	72.347,00	72.347,00			
					TOPLAM	798.817,00			

Ek-2. D16 HES Keşif Listesi

Yıl	Kurulum Maliyeti	Brüt Gelir	İşletme Gideri	Finansman Gideri	Büyük Bakım/Onarım Gideri	Net Değer
1	-798.817			-115.000		-913.817
2		640.350	-200.000	-115.000		325.350
3		640.350	-200.000			440.350
4		640.350	-200.000			440.350
5		640.350	-200.000			440.350
6		640.350	-200.000			440.350
7		640.350	-200.000			440.350
8		640.350	-200.000			440.350
9		640.350	-200.000			440.350
10		640.350	-200.000		-100.000	340.350
11		640.350	-200.000			440.350
12		640.350	-200.000			440.350
13		640.350	-200.000			440.350
14		640.350	-200.000			440.350
15		640.350	-200.000			440.350
16		640.350	-200.000			440.350
17		640.350	-200.000			440.350
18		640.350	-200.000			440.350
19		640.350	-200.000			440.350
20		640.350	-200.000		-100.000	340.350
21		640.350	-200.000			440.350
22		640.350	-200.000			440.350
23		640.350	-200.000			440.350
24		640.350	-200.000			440.350
25		640.350	-200.000			440.350
26		640.350	-200.000			440.350
27		640.350	-200.000			440.350
28		640.350	-200.000			440.350
29		640.350	-200.000			440.350
30		640.350	-200.000		-100.000	340.350
31		640.350	-200.000			440.350
32		640.350	-200.000			440.350
33		640.350	-200.000			440.350
34		640.350	-200.000			440.350
35		640.350	-200.000			440.350
36		640.350	-200.000			440.350
37		640.350	-200.000			440.350
38		640.350	-200.000			440.350
39		640.350	-200.000			440.350
40		640.350	-200.000		-100.000	340.350
41		640.350	-200.000			440.350
42		640.350	-200.000			440.350
43		640.350	-200.000			440.350
44		640.350	-200.000			440.350
45		640.350	-200.000			440.350
46		640.350	-200.000			440.350
47		640.350	-200.000			440.350
48		640.350	-200.000			440.350
49		640.350	-200.000			440.350
50		640.350	-200.000			440.350
İç Verim Oranı:						44%

Ek-3. Türk Lirası Cinsinden Nakit Akışı Tablosu ve İç Verim (Karlılık) Hesabı