

Küçük Hidroelektrik Santral Projelerinin Ön-fizibilite Çalışmasının RETScreen ile Yapılması

M. İshak YÜCE
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi
yuce@gantep.edu.tr

Şimal YÜCE
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
a.simalyuce@gmail.com

Öz

Yenilenebilir enerji üretim yöntemleri arasında en avantajlı olanı, küçük-ölçekli santraller dâhil olmak üzere, hidroelektriktir. Kurulu güç ve ilk yatırım bedeli küçük-ölçekli hidroelektrik santral (KHES) projelerinde belirlenmesi gereken temel iki değişkendir. Bu değişkenler, dizayn debisi, net düşü, türbinler, tüneller, kanallar, cebri boru ve diğer faktörlerden etkilenebilirler. En uygun kurulu gücü ve proje yatırım bedelinin belirlenmesi amacıyla fizibilite çalışmalarında bütün bu faktörler analiz edilir. RETScreen, KHES'lerin üretebileceği enerji miktarını, projenin yatırım ve bakım maliyetlerini tahmin edebilen bir bilgisayar programıdır. Bu çalışmada, Devlet Su İşlerinden (DSİ) elde edilen dokuz farklı KHES projesi ön-fizibilite çalışmaları, RETScreen kullanılarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. RETScreen ile elde edilen sonuçların, DSİ tarafından onaylanan ön-fizibilite çalışmalarının sonuçları ile gayet iyi uyum gösterdiği ortaya koyulmuştur. KHES'lerin ön-fizibilite çalışmalarının RETScreen kullanılarak nispeten daha kısa bir zaman diliminde yapılabileceği dikkate alındığında, programın zaman tasarrufu sağlayacağı ve dolayısı ile maliyetleri düşüreceği beklenmektedir.

Anahtar sözcükler: Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santraller, RETScreen, Ön-Fizibilite Çalışması, Kurulu Güç, Maliyet Tahmini

Giriş

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılan hidroelektrik, insanlık tarihinin birincil enerji kaynaklarından olmuştur. Mezopotamyalılar M.Ö. 6000 yıllarında sulama kanalları ve barajlar inşa etmiştir. Ürdün'de su temini sistemleri M.Ö. 3000 yıllarında kullanılmıştır (Korn, 2004; Erdoğan, 2011). Güney Amerika ve Asya'da eski su sistemleri bulunmuştur. Mezopotamya uygarlıkları, eski Mısırlılar ve Sümerler su akımı gücü ile dönen ve suya

yükseklik kazandırıp sulama amaçlı kullanmak için tekerlekler kullanmışlardır. 19. yüzyılın başlarında, suyun düşüşü ile çalışan türbinlerin icadı barajların dünya çapında yayılmasına sebep oldu (Sleigh ve Jackson, 2004).

Su baraj göllerinde biriktirildiğinde seviyesi yükselir, dolayısıyla potansiyel enerji kazanır. Su cebri borulardan akarken suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye, türbine çarpıp döndürmeye başladığı an mekanik enerjiye dönüşür. Mil aracılığı ile jeneratöre iletilen mekanik enerji ise elektrik enerjisine dönüşür. Suyun gücünden faydalanılarak üretilen bu enerjiye hidroelektrik denir. Hidroelektrik güvenilir, öngörülebilir, yerel ve üretimi diğer enerji üretim yöntemlerine nazaran daha ucuz olan bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerji dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin % 19'una tekabül eden ve en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerjidir. Altmıştan daha fazla ülke kendi elektrik enerjisi talebinin % 50'sinden fazlasını hidroelektrik ile karşılamaktadır (Balat, 2007; Yüksel, 2010; Connolly ve ark., 2010). Türkiye'nin yıllık 433 TWh brüt, 216 TWh teknik olarak işletilebilir ve yaklaşık olarak 165 TWh ekonomik hidroelektrik potansiyeline sahip olduğu hesaplanmaktadır. Bir ülkenin ekonomik hidroelektrik potansiyeli küresel ve yerel enerji ve yatırım fiyatlarının bağlı olarak değişiklik gösterir. Türkiye Avrupa'nın en büyük ikinci ekonomik hidroelektrik potansiyeline sahiptir (Tablo 1).

Tablo 1 Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli (GWh/yıl) (Dursun ve Gökçöl, 2011)

	Brüt potansiyel	Teknik potansiyel	Ekonomik potansiyel
Dünya	40 150 000	14 060 000	8 905 000
Avrupa	3 150 000	1 225 000	1 000 000
Türkiye	433 000	216 000	140 000

2013 yılı sonu itibariyle, işletmede olan hidroelektrik santral sayısı 458, bunların toplam kurulu gücü 22804 MW, yıllık üretim kapasitesi 80060 GWh ile ekonomik olarak kullanılabilir potansiyelin yaklaşık olarak % 50'sine tekabül etmektedir. Yapım aşamasında olan tesis sayısı 165 iken 2023 yılı sonuna kadar 965 adet hidroelektrik santral inşaatının tamamlanması beklenmektedir (Tablo 2) (DSİ, 2013). Hidroelektrik santrallerinin toplam kurulu gücü, ülkenin elektrik üretim santrallerinin toplam kurulu gücünün % 36'sına denk gelmektedir (Balat, 2007; Yüksel, 2010). 2013 yılında, üretilen hidroelektrik 59246 MWh ile ülkede üretilen toplam elektriğin % 24,8 tekabül etmektedir. Türkiye teknik açıdan kullanılabilir hidroelektrik potansiyelinin sadece % 37,1'inden faydalanabiliyorken ABD, Japonya, Norveç ve Kanada

teknik potansiyellerinin sırasıyla, % 86, % 78, % 72 ve % 56'sından faydalanmaktadırlar. Türkiye'nin fosil yakıt kaynakları konusundaki talihsizliği ve henüz nükleer enerji santral(ler)ine sahip olmamasından dolayı hidroelektrik ülke için vaz geçilemeyecek bir enerji kaynağıdır. Son otuz yıldır, ülkenin elektrik enerjisine olan talebi ortalama % 7,8 oranında artmıştır. Türkiye'nin 2023 yılında 450 TWh elektrik tüketeceği tahmin edilmektedir (Balat, 2007; Erdoğan 2011; Küçükali ve Barış 2009).

Tablo 2. Türkiye'deki hidroelektrik santrallerin durumu (2013 yılı sonu itibari ile) (DSİ, 2013)

	Toplam Sayısı	Kurulu Gücü (MW)	Üretilen Enerji (GWh/yıl)	%
İşletmede	458	22 804	80 060	49
İnşa halinde	165	8 096	25 342	15
Planlanan	956	16 624	59 662	36
Toplam	1579	47 524	165 064	100

Türkiye'de Küçük Hidroelektrik Santraller (KHES)

İyi geliştirilmiş bir teknolojiye sahip ve güvenilir enerji kaynağı olmalarına rağmen KHES'lerin uluslararası kabul görmüş bir tanımı yoktur. KHES'ler genelde kurulu güç üst sınırlarına göre sınıflandırılırlar, bazı ülkeler bu sınırı 50 MW olarak belirlerken bazıları bu sınırı 1,5 MW'ta kadar düşürmektedirler. Ayrıca, KHES, sırasıyla 1 MW, 100 kW ve 5 kW kurulu güç üst limitlerine göre kendi içinde mini, mikro ve piko olarak adlandırılabilirler (Taylor ve ark., 2006). Tablo 3 farklı ülkelerin KHES'ler için belirlediği kurulu güç üst sınırlarını göstermektedir.

Tablo 3. Ülkelere göre KHES'lerin kurulu güç üst sınırları (TNSHP, 2004)

Ülke	Üst Limit (MW)
Portekiz, İspanya, Yunanistan, İrlanda, Belçika	10
İtalya	3
İsveç	1.5
Fransa	12
Birleşik Krallık	20
Türkiye	50

Türkiye, deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1132 m ile dağlık bir arazi yapısına sahiptir, bu durum kısa mesafede yüksek düşümler meydana getireceğinden nehirler küçük ölçekli hidroelektrik santraller (KHES) için uygun zemin oluşturmaktadır. Ülke, kayda değer oranda bakir KHES potansiyeline sahiptir (Balat, 2007; Küçükali ve Barış, 2009). Türkiye'nin KHES potansiyeli Tablo 4'de verilmiştir. Büyük ölçekli HES projelerine nazaran KHES'lerin çevre

üzerindeki olumsuz etkilere daha azdır. KHES projelerinin kW başına elektrik enerjisi üretimi bir çok yenilenebilir enerji tesisine göre daha düşüktür (Dursun ve Gökçöl, 2011).

Tablo 4. Türkiye'nin KHES potansiyeli (Balat, 2007)

Potansiyel	Üretim GWh/yıl	%	Kapasite (MW)
Brüt Teorik	50 000	100	16 500
Teknik	30 000	60	10 000
Ekonomik	20 000	40	6 500

Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Türkiye'nin değişik yerlerinde bulunan küçük ölçekli hidroelektrik (KHES) projeleri dikkate alınmıştır. Kale, Gökgedik, Akpınar ve Torlar KHES'ler Kahramanmaraş bölgesinde yer alırken, Çaykara Trabzon'da, Zafer ve Damlasu Adana'da, Akıncı Ardahan'da, Alagöl ise Niğde'de yer almaktadır. Türkiye'de KHES projeleri için en uygun alanlardan, ülkenin farklı iklim bölgelerini ve coğrafi koşullarını temsil edecek projeler seçilmiştir. Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından onaylanan ön-fizibilite raporlarının sonuçları, RETScreen kullanılarak gerçekleştirilen ön-fizibilite çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Araştırmada kullanılan dokuz adet küçük ölçekli hidroelektrik projesinin temel özellikleri Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 5. Küçük hidroelektrik projelerinin özellikleri

KHES	Kale	Gökgedik	Torlar,	Damlasu	Çaykara	Akpınar	Alagöl	Zafer	Akıncı
Nehir Havzası	Ceyhan	Ceyhan	Ceyhan	Seyhan	-	Ceyhan	Seyhan	Seyhan	Aras
Nehir İsmi	Körsulu	Körsulu	Körsulu	Körkün	Solaklı	Aksu	Kosk	Karaisalı	Kura
Dizayn Debisi (m ³ /s)	16	18.58	26.73	7.96	25.41	6.2	11.10	22.7	54.19
Net Düşü (m)	252	152	66	93	120.34	146.82	113.03	28.6	6.33
Türbin (adet)	3	3	3	2	3	2	2	3	2
Türbin Tipi	Pelton	Francis	Francis	Francis	Francis	Francis	Francis	Kaplan	Kaplan

RETScreen yazılımı

RETScreen, KHES'ler de dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji projelerinin ön-fizibilite çalışmalarını yapabilen, excel tabanlı, kamuya açık ücretsiz bir yazılımdır. Program Kanada'da Doğal Kaynaklar CAMNET Enerji Teknoloji Merkezi tarafından geliştirilmiştir. Yazılım, tesisin kurulu gücünü, ilk yatırım maliyetini, işletme maliyetlerini, elde edilecek enerji miktarını ve geri ödeme süresini hesaplayabiliyor. Kullanıcı yazılım paketinde mevcut iki hesaplama yönteminden birini seçebilir. Bunlardan Methot1 varsayılan ampirik denklemler ve sınırlı veri girişi ile detaylı

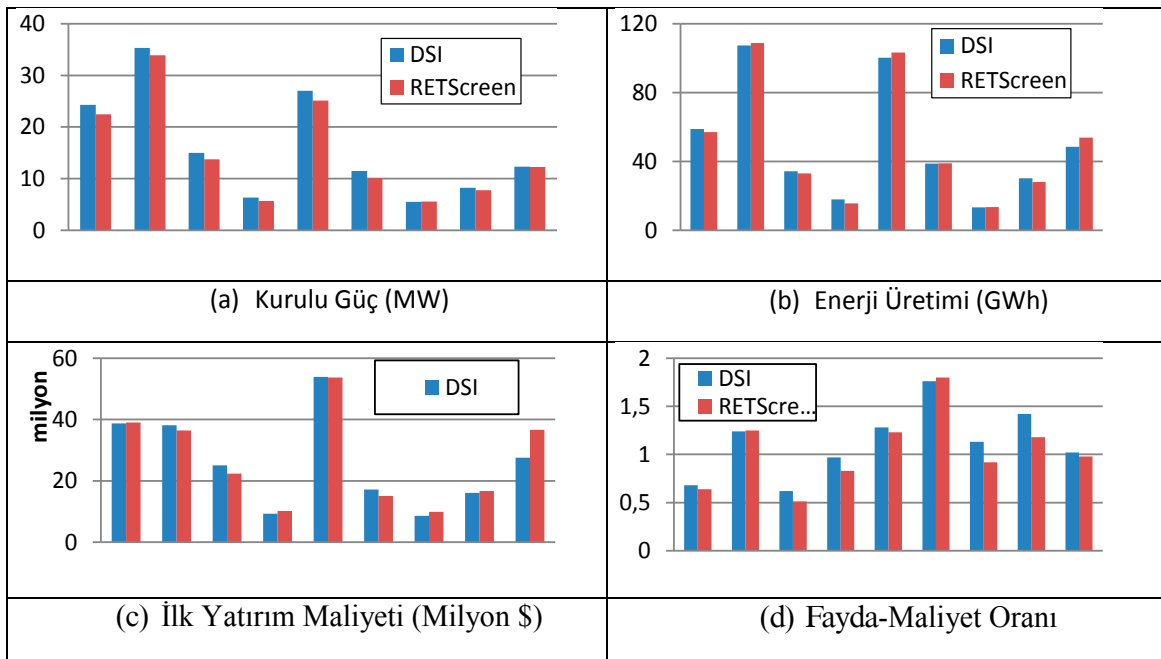
olmayan ve doğruluk oranı düşük analizler gerçekleştirir. Method2 ise kullanıcıya daha detaylı ve daha doğru analiz alternatifini sunan, proje bölgesi ile ilgili detaylı bilgi ve daha detaylı veri girişine ihtiyaç duyan bir yöntemdir. Method2 ile yapılan analizlerde, standart beş-adım prosedürü uygulanmaktadır, bunlar sırası ile; Enerji Modeli, Maliyet Analizi, Sera Gazı Analizi, Finansal Özet ve Duyarlılık ve Risk Analizidir. RETScreen analizleri ön-fizibilite çalışmaları olarak kabul edilmektedir (Rehman ve ark., 2007; Kosnik, 2010). Her bir hidroelektrik projesi bir diğerinden çok farklıdır, yer seçimi projenin toplam maliyetinin yaklaşık olarak % 75'ini oluşturmaktadır. Elektromekanik donanım imalat maliyeti projenin toplam maliyetinin yaklaşık olarak % 25'ine denk gelmektedir (RETScreen International, 2015). RETScreen yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarının, DSİ tarafından onaylanan ön-fizibilite raporları ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6). Hantal ve zaman alıcı olan geleneksel yöntemler yerine, KHES'lerin ön-fizibilite çalışmalarında RETScreen yazılımını kullanmak, zaman, dolayısı ile para tasarrufu sağlayacağı beklenir.

Tablo 6. Ön-fizibilite çalışmalarının sonuçları

KHES	Kurulu Güç		Üretilecek Enerji		İlk Yatırım Maliyeti		Fayda-Maliyet Oranı	
	(MW)		(GWh)		(\$)			
	DSI	RETScreen	DSI	RETScreen	DSI	RETScreen	DSI	RETScreen
Gökgedik	24,29	22,45	58,90	57,04	38 701 098	39 037 552	0,68	0,64
Kale	35,33	33,91	107,28	108,83	38 117 497	36 403 337	1,24	1,25
Torlar	15,01	13,75	34,38	32,99	25 010 693	22 389 429	0,62	0,51
Damlasu	6,32	5,69	17,91	15,56	9 273 994	10 200 834	0,97	0,83
Çaykara	27	25,1	100,28	103,32	53 868 674	53 663 000	1,28	1,23
Alagöl	11,47	10,1	38,775	39,01	17 174 165	15 085 500	1,76	1,8
Zafer	5,5	5,55	13,39	13,49	8 585 823	9 895 000	1,13	0,92
Akpınar	8,22	7,785	30,2	28,04	16 102 884	16 676 000	1,42	1,18
Akıncı	12,32	12,274	48,5	53,84	27 518 327	36 675 000	1,02	0,98

RETScreen programı kullanılarak elde edilen kurulu güç, üretilecek enerji miktarı, ilk yatırım maliyeti ve fayda-maliyet oranı sonuçları, DSİ tarafından onaylanan ön-fizibilite raporlarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 1a - d). Projelerin fayda-maliyet oranlarının RETScreen tarafından daha az tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Gökgedik, Torlar ve Damlasu KHES'lerinin fayda-maliyet oranları hem RETScreen hem de DSİ tarafından onaylanan raporlarda 1'in altında

olduğu için bu projeler fizibil bulunmamışlardır (Tablo 6). Zafer ve Akıncı KHES projeleri DSİ tarafından fizibil bulunmuş olmasına rağmen, RETScreen bu projelerin fayda-maliyet oranlarını sırasıyla 0.92 ve 0.98 olmak üzere 1'in altında hesaplamıştır. Kale, Akpınar, Alagöl ve Çaykara KHES projeleri için fayda-maliyet oranları RETScreen tarafından, sırasıyla 1.25, 1.18, 1.8 ve 1.23 olarak bulunmuşken, bu oranlar, DSİ'nin onayladığı raporlarda, sırasıyla 1.24, 1.42, 1.76 ve 1.28 olarak not edilmişlerdir. Tablo 6 ve Şekil 1'deki sonuçlar ışığında RETScreen yazılımının Türkiye'deki KHES ön-fizibilite çalışmalarında kullanılabileceği söylenebilir. RETScreen kullanılarak hesaplanan, KHES'lerin kurulu gücünün, üretilen enerji miktarının ve ilk yatırım maliyetlerinin, DSİ tarafından onaylanmış ön-fizibilite raporlarında bulunan sonuçlarla çok yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 1. RETScreen ile elde edilen sonuçların DSİ tarafından onaylanan ön-fizibilite raporları ile karşılaştırılması (her sütün bir KHES'i temsil ediyor)

Sonuçlar

Çalışma biçimleri arasındaki farklılıktan dolayı küçük hidroelektrik santraller (KHES) kategorik olarak, büyük ölçekli hidroelektrik projelerden farklı bir yaklaşımla ele alınmalıdırlar. Sistemin optimizasyonundan ziyade üretilen enerji miktarının maksimizasyonu ve proje maliyetinin etkinliği (fayda-maliyet oranı) öncelikli hedef olmalıdır. RETScreen bazı parametrelerin

değiştirilmesi ile kısa bir zaman diliminde enerji üretim miktarını maksimize ve ilk yatırım maliyetini minimize edebilen bir karar destek aracıdır.

Biriktirmeli ve biriktirmesiz (run-off river) projelerin RETScreen kullanılarak gerçekleştirilen ön-fizibilite raporları, geleneksel fizibilite çalışmalarına göre daha kısa sürede hazırlanabilir, parametrelerin değiştirilmesi durumunda raporlar hızlıca revize edilebilir. Bu nedenle, kapsamlı hesaplamalar olmadan farklı alternatifler kısa zaman içinde kolaylıkla ele alınabilir, dolayısı ile tasarımcılara zaman ve para tasarrufunda yardımcı olur. RETScreen Kanada'nın hidrolojik ve meteorolojik veri tabanlarını kullanıyor olmasına rağmen, bu çalışmanın sonuçları, yazılımın Türkiye'deki KHES projeleri için de rahatlıkla kullanılabilceğini göstermiştir.

Kaynaklar

Balat, H. (2007). A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2152-2165

Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V. and Leahy, M. (2010) A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems, *Applied Energy* **87** pp. 1059–1082

DSİ (Devlet Su İşleri) 2013 Faaliyet Raporu

<http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2013-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>

Dursun, B. and Gökçöl, C. (2011) The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey, *Renewable Energy*, 36, pp. 1227-1235

Erdogdu, E. (2011) An analysis of Turkish hydropower policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**, pp. 689–696, doi:10.1016/j.rser.2010.09.019

Korn, W. (2004) *Mesopotamien – Wiege der Zivilisation 6000 Jahre Hochkulturen an Euphrat und Tigris*, Stuttgart, ISBN 3-8062-1851-X

Kosnik, L. (2010) The potential for small scale hydropower development in the US. *Energy Policy* **38** (10), pp. 5512–5519

Kucukali, S. and Baris, K. (2009) Assessment of small hydropower (SHP) development in Turkey: laws, Regulations and EU policy perspective, *Energy Policy*, **37**, pp. 3872-3879

Rehman, S., Bader, M. A. and Al-Moallem, S. A. (2007) Cost of solar energy generated using PV panels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **11**(8), pp. 1843–1857

RETScreen International (2015) *Small Hydro Project Analysis* www.etscreen.net

Sleigh, A. C. and Jackson, S. (2004) Socioeconomic impacts of Hydropower resettlement projects, *Encyclopedia of energy*, **3**, pp. 315–323

Taylor, S., Upadhyay, D. and Laguna, M. (2006) *Flowing to the East -Small Hydro in*

TNSHP. (2004) *Guide on how to develop a small hydropower plant*. Brussels, European Small Hydropower Association

Yüksel, I. (2010) *As a renewable energy hydropower for sustainable development in Turkey* *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**, pp. 3213–3219