



Bingöl Şehir Merkezine Yakın Devlet Yollarında Yağmur Suyu Hasadı Ve Hidroelektrik Potansiyelinin İncelenmesi

İhsan GÜZEL

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
iguzel@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0002-9368-8902

Ahmet BENLİ*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
abenli@bingol.edu.tr ORCID:0000-0002-3005-6123, Tel: (426) 216 00 12 (1949)

Geliş: 15.05.2019, Revizyon:04.08.2019, Kabul Tarihi: 27.08.2019

Öz

Dünyada vazgeçilmez bir doğal kaynak olan suyun kullanılabilir kısmı olan tatlı su kaynakları; nüfus artışı ve beraberinde ihtiyaç duyulan gıda ürünleri için tarımda daha fazla kullanımının yanı sıra şehirleşen sanayileşen bölgelerde ihtiyacı ve kirliliğinin artması ve iklim değişikliği etkisiyle erişimi ve kalitesinin olumsuz etkilenmektedir. İnsan yaşamının en önemli ögesi olan su aynı zamanda günümüz insanların ve ülkelerin önemli gereksinimlerinden olan elektrik enerjisinin temininde kullanılacak temiz ve yenilenebilir bir kaynak olması, günümüzde elektrik enerjisi üretiminde en fazla miktarda kullanılan ve gün geçtikçe tükenen fosil kaynaklı yakıtlara karşı önemini artırmaktadır. Uluslararası alanda su ile ilgili sorunları kesin bir biçimde ele alındığı Dünya Su Forumunun, “Çözüm Zamanı”, “Geleceğimiz İçin Su” temalarıyla yapılan Fransa (2012) ve Güney Kore (2015) formlarında tatlı su kaynaklarının erişimi ve katledesinde olumsuz etkilenmelerin genel olarak eğitim, yeterli finans kaynakları sağlanması, su depolanması ve yağmur suyu hasadının yapılması, yerel yönetim desteklenmesi, manevi ve etik değerlerin ve ilkelerin tanınması ve su sektöründe karar alma süreçlerinde dikkate alınmasıyla azaltılabileceği belirtilmiştir. Su baskısı altında olan ülkemizin enerji ihtiyacı da bulunmakta olup bu çalışmada Bingöl Şehir Merkezine yakın devlet yollarının dağlık arazi kesimlerinden geçen kısımlarında yağmur suyu hasadı ile toplanan suyun cazibeli akışla kullanılması ve hidroelektrik potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır. Yağmur suyunun karayolu projelerine göre toplanmasına uygun olan ayrıca düşü yüksekliğinin fazla olduğu; Karlıova Ayr-Solhan güzergahının 5960 m’lik kısmında toplanan yağmur sularının 18320 m çelik cebire borularla taşınarak yıllık 75,940,314.85 Watt enerji üretileceği hesaplanmasına karşın işletme ve yapım maliyetleri bakımından ekonomik olmadığı; bu nedenle. Bingöl şehir merkezine yakın Kurudere-Bingöl, Ilıcalar-Bingöl, Karlıova Ayr-Solhan güzergâhlarının yağmur suyu hasadına ve bu hasadın cazibeli akışla yerleşim yerlerine getirilmesi uygun olan kısımlarında yıllık toplanacak su miktarının su kaynaklarına ve ülke ekonomisine katkısı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karayolu, Yağmur Suyu Hasadı, Hidroelektrik Enerji, Eysel Su Kullanımı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Yaşam için vazgeçilmez bir doğal kaynak olan suyun dünyada kullanılabilir kısmı olan tatlı su kaynaklarının erişimi ve kalitesi genel olarak; nüfus artışı ve beraberinde besin ve gıda için suyun daha fazla tarımda kullanılması yanı sıra şehirleşen sanayileşen bölgelerde su ihtiyacı ve su kirliliği artmasından dolayı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durum 2018 Yılında Dünya Ekonomik Forumunda hazırlanan Küresel Risk Raporunda iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte gelecekte küresel riskler arasında su krizleriyle karşılaşılabilceği belirtilmiştir (1). Uluslararası alanda su ile ilgili sorunları kesin bir biçimde ele alındığı Dünya Su Forumunun, Fransa (2012) ve Güney Kore (2015) formları “Çözüm Zamanı”, “Geleceğimiz İçin Su” temalarıyla yapılmış olup; birçok konuyla beraber su gıda ve enerji ilişkisi, su ve insanlığın geleceği, sürdürülebilir kalkınma için su depolanması, 2025 yılından sonra dünya sularının geleceği, kurak alanlarda su kıtlığı, yerel su yönetimleri ve sistemleri için sürdürülebilir finans kaynaklarının sağlama, su ve sağlıklı suya erişimi sağlama sorumluluğu verilen yerel yönetimlere insan kaynağı ve gerekli finansman desteğinin ve fırsatlarının sağlanması, yerel su yönetimleri ve sistemleri için sürdürülebilir finans kaynaklarının sağlama, su eğitimini geliştirerek kapasite geliştirme, enerji için su-su için enerji, manevi ve etik değerlerin ve ilkelerin tanınması ve su sektöründe karar alma süreçlerinde dikkate alınması, su ve gıda güvenliği, akışa geçen suların daha verimli kullanılması için tarım alanlarında yağmur suyu hasadı, şehirlerde kurak bölgelerde yağmur suyu hasadı konuları oturumlarda ele alınmıştır (2, 3). Gelecekte su ihtiyaçlarının karşılanmasında katkıda bulunacak olan yağmur suyu hasadıyla ilgili olarak; yağmur suyu hasadıyla depolanan suların tarım (4) ve evsel ihtiyaçlar için kullanılması (5),su tasarrufu(6),ekolojik (ağaçlandırma vb.), çevresel korumayı destekleme, kaynaklardan temin edilen su sistemlerinin yapımıyla, yağmur suyu sistemlerinin yapımında karbondioksit emisyonunu salınımı karşılaştırması (7),yenilenebilir enerji kaynağı sudan, güneş

enerjisinden yararlanılmadığı yüksek yağış alan bölgelerde çatılarda yağmur suyu hasadı ile toplanan sudan pico-hidroelektrik toplama cihazı aracılığıyla kırsal elektrifikasyon temini (8),yağmur suyu hasadı sistemlerinin enerji yoğunluğu(9),çiftçilerin karayolları yüzeylerinden yağmur suyu hasadı yapma teknikleri (10),kentsel alanlarda bulunan yollarda yağmur suyu toplama potansiyeli (11) çalışmaları yapılmıştır.

Ülkeler fosil yakıtlardan çeşitli yenilenebilir güneş, rüzgâr ve su gibi kaynaklara geçtikçe yenilenen kaynaklardan enerji üretimi önemini artmaktadır. Literatürde karayolu yüzeylerinden yağmur suyu hasadı ile toplanan sudan hidroelektrik potansiyeli ile ilgili çalışmalar tespit edilemediğinden bu çalışmada Bingöl ili sınırlarında Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda dağlık araziden geçen Elâzığ il Sınırı-Bingöl, Bingöl-Solhan, Karlıova-Bingöl devlet yolu güzergâhların Bingöl şehir merkezine yakın kısımlarında yağmur suyunun kullanım potansiyeli ve yağmur suyu hasadı ile toplanan suyun hidrolik enerji potansiyeli araştırılacaktır.

Yağmur Suyu Hasadı

Su kaynakları, üzerindeki talebin giderek artışının yanında zaman ve konuma göre bu kaynağın arzu edilen miktar ve kalitede bulunmaması, mevcut su kaynaklarının ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar içinde en verimli şekilde kullanımını yani yönetimini gerekli kılmaktadır. Su kaynakları yönetimi, doğal çevrim içerisinde suyun insanlar tarafından gerek nicelik gerekse nitelik olarak en verimli şekilde ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar içinde sistematik olarak kullanımı anlamına gelmektedir (12).

Su yönetimi çerçevesinde yağış sularından maksimum fayda sağlayacak bir strateji geliştirmeyi amaçlayan su hasadı yöntemi, yağmur sularının ve yüzey akışına geçen suların toplanıp biriktirilmesi, bitkisel ve hayvansal üretim için gerekli olan suyun temini ile evsel tüketim için gerekli suyun sağlanmasıdır. En geniş anlamıyla su hasadı "verimli kullanım için su akışının toplanması" olarak tanımlanmaktadır (13). Yağmur suyu hasadı, yerleşim bölgelerinin çatı yüzeylerinde, yerel havzalarda (arazi) akışa

gecen yağmur sularının yakalanması, akarsu yataklarında mevsimsel sel sularının yakalanması, yağışın düştüğü yüzeyde toplanması ve toprağa depolanması dış su hasadı ile başka bir yerdeki bir yüzeyde yağışlardan kaynaklanan akıntıların toplanması ve depolanması, havzaların yönetimi ile su tasarrufu şeklinde yapılmaktadır (14, 15).

Yağmur Suyu hasadının avantajları;

-Kentsel yeşillik için İlave su temini ve toprak nem seviyesinin artırılması

-Yeraltı su seviyesinin artırılması (yapay olarak yeniden doldurma)

-Kentsel taşkınların azaltılması

-Yeraltı suyu veya diğer su temini kaynaklarını desteklenmesi suretiyle su temini maliyetini düşürülmesi,

-Acil durumlar için iyi kullanılabilir su kaynağı olması.

- Bakım maliyetleri düşük ve kolay basit teknolojiler kullanılması.

-Su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde alternatif kaynak olarak kullanılabilir olması

-Yağmur suyu deşarjlarını, kentsel taşkınları ve kanalizasyon arıtma tesislerinin aşırı yüklenmesinin azaltılması

- Kıyı bölgelerinde, yeraltı suyuna şarj edildiğinde, tuzluluk oranını düşürerek iyi kalitede su sağlaması

-Yağmur suyu toplama sistemleri basit olması nedeniyle bireyler tarafından kolayca benimsenmesi

- Tarımsal verimde artış sağlaması

-Orman arazisinin iyileştirmesi

- Halkın genel ekonomik ve sosyal gelişimini sağlaması

olarak sıralanırken; su toplama tesislerinin ilk yapım maliyetlerinin yüksek ve düzenli bakım gerektirmesi, tahmin edilemeyen yağış azlığı durumunda su teminin sınırlanması, bazı çatı tiplerinde kullanılan malzemeler de bulunan kimyasalların bitki sulamasında bitkilere zarar vermesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (16).

Gelecekte, yağmur suyunun toplanması ve tekrar kullanılması, sadece su mevcudiyetinin düşük olduğu bölgelerde değil ,aynı zamanda yılda metrekareye 1000 mm'den fazla yağış alan bölgelerde de giderek önemini artırmakta olup yağmur suyunun toplanmasının merkezi su

kaynağı olarak görüldüğü Almanya, İtalya İspanya, Hindistan, Çin, Malezya, Kore, Japonya, Kenya, Etiyopya, Suriye, Tunus, ABD ve Kanada Brezilya, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi dünyanın bir çok ülkesinin şehir alanlarında uygulanmaktadır (17). Nüfus artışı, doğal hidrolojik süreci değiştiren şehirleşme eğiliminin artması ve iklim değişikliği nedenlerinden dolayı artan su ihtiyacının karşılanması, kontrolsüz akıştan kaynaklanan toprak erozyonu önlenmesi, kurak bölgelerde kirli su tüketiminden kaynaklanan sağlık sorunlarının giderilmesine katkıda bulunacak olan yağmur suyu hasadı teknolojilerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Binlerce yıldır ülkemiz coğrafyasında yağmur suyu depolanıp kullanılmakta olup son zamanlarda özel teşebbüs tarafından mülkiyet alanlarında yağmur suyu hasadı teknolojisiyle ilgili tesisler yapılmış olup 2017 yılında halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, içme suyu kaynaklarının taşınan suyla kirliliklerden korunmasını esas alan yağmursuyu hasadıyla ilgili tesislerin projelendirilmesi yapımı ve işletilmesiyle ilgili "Yağmur Suyu Toplama, Depolama, Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik" yasalaşarak yürürlüğe girmiştir.

Türkiye'nin Su ve Enerji Durumuna Genel Bakış

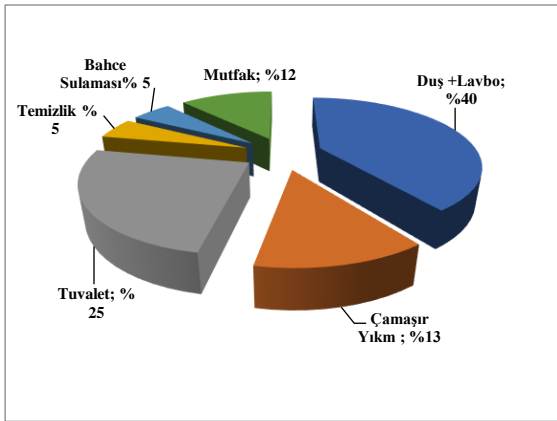
Yıllık su potansiyeli kişi başına 1700 m³' ten az olması nedeniyle Falkenmark Göstergesine göre su baskısı altında bulunan ülkemizde, yıllık ortalama 643mm/m² yağıştan elde edilen 501 milyar m³ yağış suyunun %54.69'si buharlaşırken, %8.18'si yeraltına sızmakta, geriye kalan %37.13'lük kısmı ise yüzey akışına geçmektedir. Yeraltından çekilebilir 14 milyar m³ ve yüzey akışından 98 milyar m³ olmak üzere toplam 112 milyar m³ yıllık net yeraltı ve yerüstü su potansiyelinin. (18) tüketilen 44 milyar m³'lük kısmının yaklaşık %16'sı içme suyu (evsel kullanım), %73 sulama, %11 sanayide kullanılmaktadır (19).

Nüfus sayısına göre değişebilen İller Bankası içme suyu proje hazırlama teknik şartnamesinde (20) kişisel (evsel olmayan birimler hariç) evsel su tüketimi 99 ile 171 lt/kişi/gün aralığında

olup; evsel su ihtiyacı, yerleşim yeri, konut tipi ve kullanıcıların alışkanlığına bağlı değişmekle beraber genel olarak kullanım oranları (21) Şekil 1’de aynı teknik şartnameye göre hayvansal su ihtiyacı ise Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Hayvansal su tüketimi

Hayvan Türü	Tüketim (Lt/Adet/Gün)
Büyük Baş Hayvan	50
Küçük Baş Hayvan	15
Tavuk Ördek Hindi	0.25

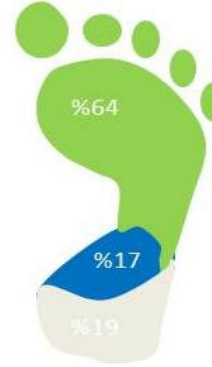


Şekil 1. Evsel su kullanım oranları

İnsanların kullanmış olduğu birçok sektöre ait ürünlerin üretimi ve alınan hizmet süreçlerinde kişi başına kullanılan su miktarı içme-kullanma amacıyla tükettiği su miktarından çok daha fazladır (22). Ülkemizde, kullanılan sanal suyun (Ürünlerin tüketildiği yerde, bu ürünün elde edilmesi sürecinde kullanılmış olan suyun da tüketildiği kabul edilmesi) su türünüm (Yeşil Mavi Gri) üretim, tüketim, ithalat ve ihracatta kullanım oranlarının belirtildiği su ayak izine göre üretim ve tüketim ayrı ayrı olmak üzere yaklaşık yılda 140 milyar m³ su kullanılmakta olup; tüketim su ayak izinin %17 sini ise ithal edilen ürün ve hizmetlerden karşılanmaktadır (23).

Kişi başına günde ortalama 200 lt su kullanılmasına karşın kişi başına 5m³/gün (140*10⁹/365*79*10⁶ (Nüfus)) sanal su tüketiminin yaklaşık %83’ünde yağmur suyu ve tatlı su kaynakları kullanılmaktadır (Şekil 2 ve 3). Ülkemizde en iyimser yaklaşımla 23.80 milyar TL (140*10⁹*0.17*1 (Su fiyatı 1 TL/m³)) ithal alınan ürün ve hizmetlere karşılık

sanal su ödemesi yapılmakta; bu nedenle teknolojik ürün üretmek şartıyla kişisel ithal ürün kullanma alışkanlıkları ve tercih nedenlerinin tespitinin yanı sıra su tasarrufu ve yağmur suyundan maksimum verimi elde edilmesi hakkında araştırmaların artırılması su baskısı altında bulunan ülkemizde zorunlu hale gelmektedir.



Şekil 2. Üretim su ayak izi [23]



Şekil 3. Tüketim su ayak izi [23]

Ülkemizin elektrik sistemlerinin kurulu gücünün yaklaşık %42.70’inde ithal kaynaklarla elektrik üretilmekte olup (24); 2017 yılında üretilen 297277.50 GWh elektrik enerjisinde % 45.20’inde yerli, % 54.80’inde ithal kaynak kullanılmıştır (25). Toplam üretilen elektrik enerjisine ikinci sırada katkıda bulunan hidrolik kaynaklar, yerli kaynaklı enerji üretiminde %55’lik oranla ilk sıradadır (Tablo 2).

Tablo 2. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2017)

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	KATKISI (%)
İthal Kömür	51118.10	17.20
Taşkömürü+Asfaltit	5663.80	1.91
Linyit	40694.40	13.69
Doğal Gaz	110490.00	37.17
Sıvı Yakıtlar	1199.90	0.40
Barajlı	41312.60	13.90
D.Göl ve Akarsu	16905.90	5.69
Rüzgâr	17903.80	6.02
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	2124.00	0.71
Atık Isı	848.30	0.29
Jeotermal	6127.50	2.06
Güneş	2889.30	0.97
TOPLAM	297277.50	100.00

Teorik olarak yılda 433000 GWh hidroelektrik üretme potansiyeline sahip ülkemizin, hidrolik kaynakları günümüz teknik koşullarına göre yılda 216000 GWh, ekonomik olarak ise 158000 GWh elektrik üretme potansiyeline sahip olup; mevcut işletmelerden ekonomik potansiyelin sadece %60'ı olan 95241 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir (26). Türkiye'nin teknik hidrolik potansiyelinin %15'ini, Tablo 3'de güçlerine göre sınıflandırmaları verilen küçük, mini, çok küçük (mikro) ve en küçük (piko) hidroelektrik santrallerden karşılanabileceği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (27).

Tablo 3. HES'lerin güçlerine göre sınıflandırılması

Sınıfı	Güç (kW)
Büyük HES	>100,000
Orta HES	10,000-100,000
Küçük HES	1,000-10,000
Mini HES	100-1,000
Çok Küçük 5-100	5-100
Piko	0-5

Ülkemizin kişi başına yıllık ortalama 3400 KWh tüketim ile Avrupa ortalamasının altında bulunması, artan nüfus artışı, fosil yakıtların gün geçtikçe tükenmesi ve maliyetlerinin artması sebebiyle yerli kaynak olan hidrolik güçten maksimum seviyede yararlanmayı

gerektirmekte; bu nedenle karayollarında yağmur suyu hasadıyla çok küçük hidroelektrik santrallerle elektrik üretimi çalışmalarının yapılması teorik hidroelektrik potansiyelinden yararlanmaya katkıda bulunacaktır.

Materyal ve Yöntem

Metodoloji

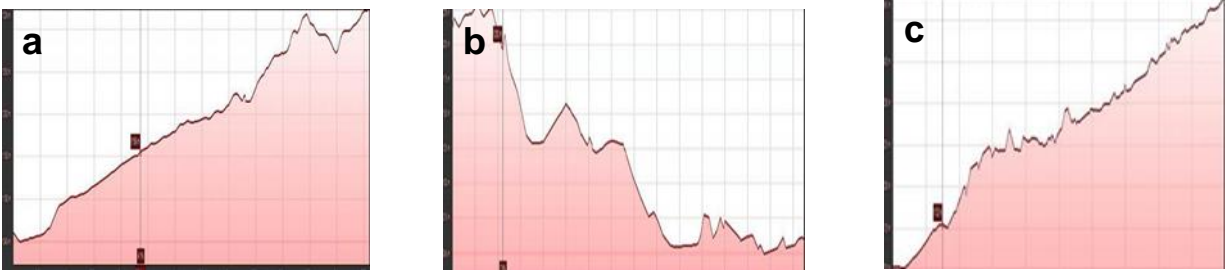
Bingöl şehir merkezine yakın devlet yollarının Google Earth'den yatay ve düşey eksenleri incelenerek, güzergahların yağmur suyu hasadı kapasitesi ile toplanan yağmur suyunun depolanarak cazibeli olarak akışın sağlanması durumunda hidroelektrik potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma Alanı

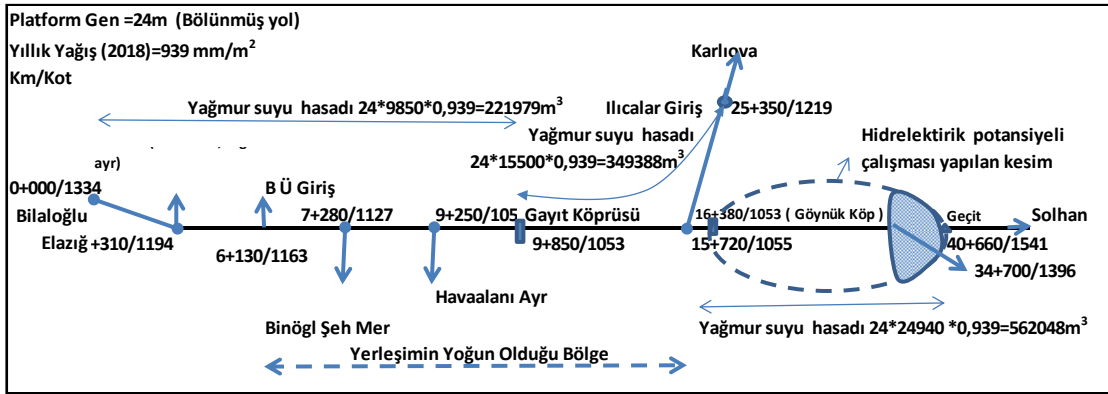
Fırat Havzası içerisinde bulunan Bingöl ilinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda 224 km devlet yolunun (Şekil-4), bu çalışma kapsamında Kuruca Geçiti-Bingöl (Gayıt Köprüsü), Karlıova, Ilıcalar Solhan Ayrım-Bingöl (Gayıt Köprüsü), Karlıova Ayr-Solhan güzergâhlarının il merkezine yakın ve cazibeli akışa uygun olan bazı kısımlarının Google Earth hataları dâhilinde düşey eksen profili tespit edilmiş (Şekil-5); Kurudere mevki başlangıç alınarak kot, kilometre ve ilin 1961-2018 yılları arası yıllık yağış ortalamasına göre yol kaplama yüzeyinden araziye akış olmadan toplanacak (hasat) yağmur suyu miktarlarının krokisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. KGM Bingöl ili Yol Haritası

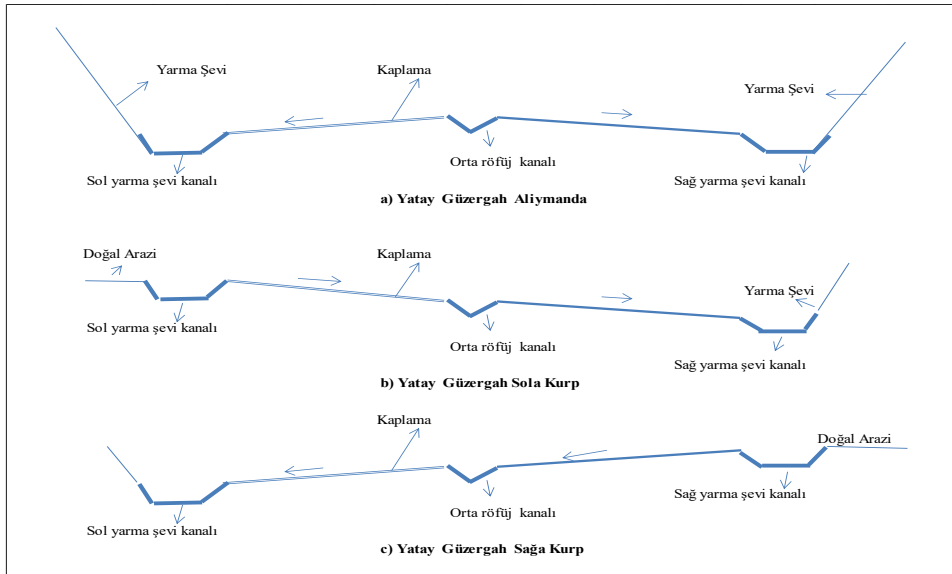


Şekil 5. a) Bingöl (Gayit Köprüsü) -Kurudere 9,85 km (Kuruca Geçidi-Bingöl (Gayit Köp 32 km), b) Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köp), 15,50km (Karlıova, Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köp 65 km), c) Karlıova Ayr-Solhan 24940km (Karlıova Ayr-Solhan 46 km)



Şekil 6. Bingöl ilinde yağmur suyu hasadı çalışması yapılan güzergâhlar

Hidroelektrik potansiyeli, debi ve düşü yüksekliği önemli derecede etkilediğinden yol kaplama yüzeyinden yağmur suyu hasadı yapılarak belli bir miktar suyun depolanması ve belli bir düşü yüksekliğinden getirilerek mini veya piko santrallerle hidroelektrik enerji üretilmesi açısından Karlıova Ayr-Solhan güzergahı uygun olduğundan kilometre 34+700-40+660 arası yüzeysel akış katsayısı 0.9 kabul edilerek; Şekil 7’de gösterilen yatay eksen geometrisi ve meteorolojik verilere göre yağmur suyunun yol en kesiti üzerinde toplanacağı kesimleri ve aylık miktarları Tablo 4’te aylık miktarlara göre kanalların minimum kesit alanları Tablo 5’te gösterilmiştir.



Şekil 7. Yol Yüzeyinde Yağmur Suyu Toplanacak Kanallar

Tablo 4. Yıllık yağış ortalamasına göre Karlıova Ayr-Solhan güzergahında (34+700-40+660) kanallarda toplanacak yağmur suyu miktarları

Kilometre	Ara Mesafe -A(m)	Kot		Yatay Güz Tip	Kanalda Toplanan Su (m ³)		
		Baş.	Bit.		Sağ Ban Kan (A*Pg/2* C*Y)	Orta Rofüj Kan (A*Pg/2* C*Y)	Sol Ban Kan (A*Pg/2* C*Y)
34+700-35+840	1140	1396	1435	Aliyman	11567.124		11567.124
35+840-36+530	690	1435	1449	Saga	7001.154	7001.154	
36+530-37+210	680	1449	1461	Sola		6899.688	6899.688
37+210-38+000	790	1461	1483	Saga	8015.814	8015.814	
38+000-38+370	370	1483	1490	Sola		3754.242	3754.242
38370-40+510	2140	1490	1535	Aliyman	21713.724		21713.724
40+510-40+660	150	1535	1541	Sağs	1521.99	1521.99	
TOPLAM	5960	--	---	---	49819.806	27192.888	43934.778

Platform Gen Pg=24 :Yüzey akış katsayısı C=0,9 :Yıllık yağış ort. Y=939,50 mm/m²

Yağmur suyu toplanan; Sağ kanal boyu LSg=4910m, Orta kanal boyu LO=2680 m Sol kanal boyu LSl=4330m

Tablo 5. Aylık yağış ortalamasına göre kanallarda toplanacak yağmur suyu miktarları ve kesit alanları

Ay	Yağış (mm/m ²)	Aylık Su Birikme Miktarlar (m ³)			Aylık Yağışa Göre Gerekli Min Kesit Alanı (m ²)		
		Sağ Ban Kan (SgA=SgKT* Ya/Y)	Orta Rof Kan (OKA=OKT* Ya/Y)	Sol Ban Kan (SIA=SIKT* Ya/Y)	Sağ Ban Kan (SgA/LSg)	Orta Rof Kan (OKA/LO)	Sol Ban Kan (SIA/LSI)
Kasım	107.7	5711.12	3117.27	5036.48	1.16	1.16	1.16
Aralık	133.6	7084.54	3866.92	6247.67	1.44	1.44	1.44
Ocak	137.2	7275.44	3971.12	6416.02	1.48	1.48	1.48
Şubat	132.9	7047.42	3846.66	6214.94	1.44	1.44	1.44
Mart	128.5	6814.10	3719.30	6009.17	1.39	1.39	1.39
Nisan	117.5	6230.79	3400.92	5494.77	1.27	1.27	1.27
Mayıs	74.8	3966.49	2165.01	3497.95	0.81	0.81	0.81
Haziran	21.1	1118.89	610.72	986.72	0.23	0.23	0.23
Temmuz	5.5	291.65	159.19	257.20	0.06	0.06	0.06
Ağustos	3.2	169.69	92.62	149.64	0.03	0.03	0.03
Eylül	11.5	609.82	332.86	537.79	0.12	0.12	0.12
Ekim	66	3499.85	1910.30	3086.42	0.71	0.71	0.71
TOPLAM	939.5	49819.81	27192.888	43934.778	10.15	10.15	10.15

Sağ kanalda toplanan su SgKT=49819.89 m³: Orta kanalda toplanan su OKT=27192.88m³: Sol kanalda toplanan SIKT=43934.78 m³
Yağmur suyu toplanan; Sağ kanal boyu LSg=4910 m, Orta kanal boyu LO=2680 m Sol kanal boyu LSl=4330 m

Kanal dip kotlarının kaplama banket (yatay eksene göre değişebilen banket kotları bu çalışmada yol eksen kotları alınmıştır) kotlarından trafik güvenliği açısından 75 cm aşağıda olması gerektiğinden tespit edilen yol eksen kotlarından 75 cm çıkarılarak sol kanal kotları hesaplanmış (Tablo 6) buna göre kanal düşey eksen hattı çizilmiştir. Kanalda toplanan suları (34700-40+660) depolanması don derinliği de göz önüne alınarak kilometre 40+660'da kanal dip kotundan 1.50 m aşağısından

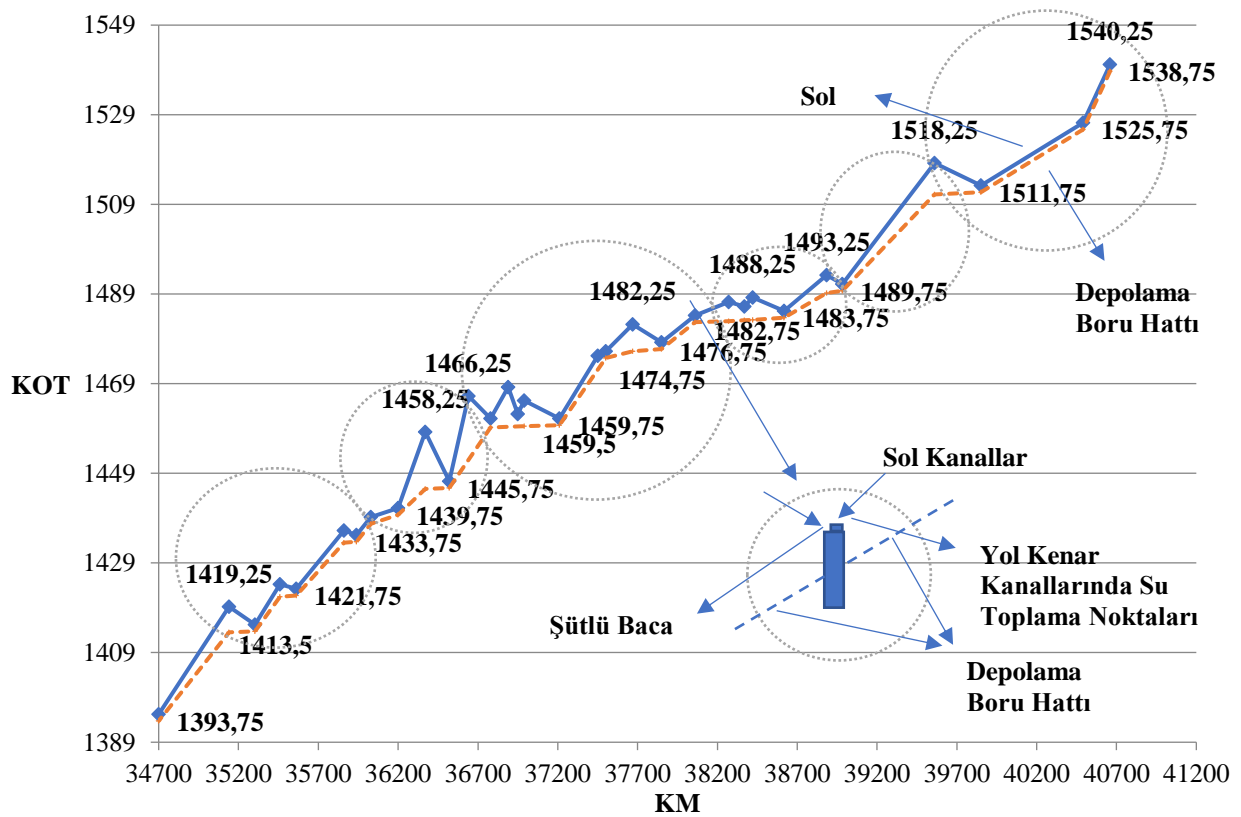
başlanarak ve cazibeli akışa uygun olarak depolama borularının kotları tespit edilerek (Tablo 7) düşey eksen Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 6. Sol Kanal Kotları (344700-40+660)

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
34+700	1395.25	36+200	1441.25	37+210	1461.25	38+421	1488.25
35+141	1419.25	36+370	1458.25	37+450	1475.25	38+617	1485.25
35+303	1415.25	36+520	1447.25	37+500	1476.25	38+885	1493.25
35+459	1424.25	36+640	1466.25	37+670	1482.25	38+983	1491.25
35+562	1423.25	36+780	1461.25	37+850	1478.25	39+560	1518.25
35+860	1436.25	36+890	1468.25	38+060	1484.25	39+850	1513.25
35+940	1435.25	36+950	1462.25	38+270	1487.25	40+490	1527.25
36+030	1439.25	36+990	1465.25	38+370	1486.25	40+660	1540.25

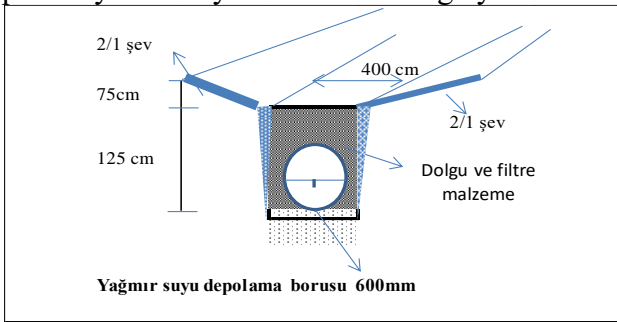
Tablo 7. Sol depolama boru kotları (34+700-40+660)

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
40+660	1538.75	38+421	1483.25	37+210	1459.75	35+940	1433.75
40+490	1525.75	38+370	1483.15	36+990	1459.5	35+860	1433.5
39+850	1511.75	38+270	1482.95	36+780	1459.25	35+562	1421.75
39+560	1511.25	38+060	1482.75	36+520	1445.75	35+459	1421.45
38+983	1489.75	37+850	1476.75	36+370	1445.5	35+303	1413.75
38+885	1489.25	37+670	1476.25	36+200	1439.75	35+141	1413.5
38+617	1483.75	37+500	1474.75	36+030	1437.75	34+700	1393.75

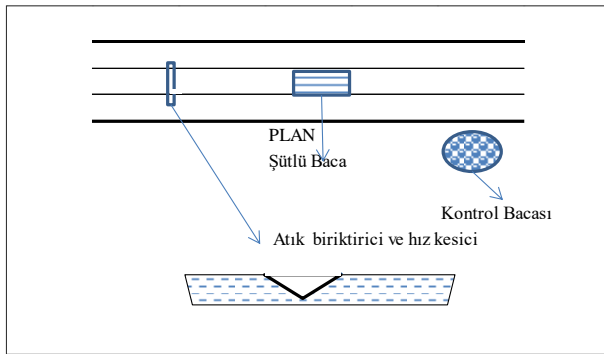


Şekil 8. Sol açık kanal ve depolama borusu düşey eksenini

Karayolları tasarım ilkelerine göre rakımı 900 metreden yukarı olan kotlarda ve kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde yarma en kesitlerinin banket kenarlarında uygulanan trapez kesitin alanı (Şekil 9 ve 10) meteorolojik verilere göre don olaylarının yaşandığı Aralık Ocak ve Şubat aylarının toplamı için gerekli olan 4.72 m² (1.44+1.48+1.44) olması ayrıca buharlaşmanın en fazla olduğu Haziran Temmuz Ağustos ayları içerisinde en büyük değere sahip olan Haziran ayı değeri olan 0.23m² kesit alanı için 600 mm çaplı depolama borusu seçiminin maksimum seviyede yağmur suyu hidroelektrik potansiyelinden yararlanmasını sağlayacaktır.



Şekil 9. Açık kanal ve depolama borusu en kesiti (40+660-34+700)

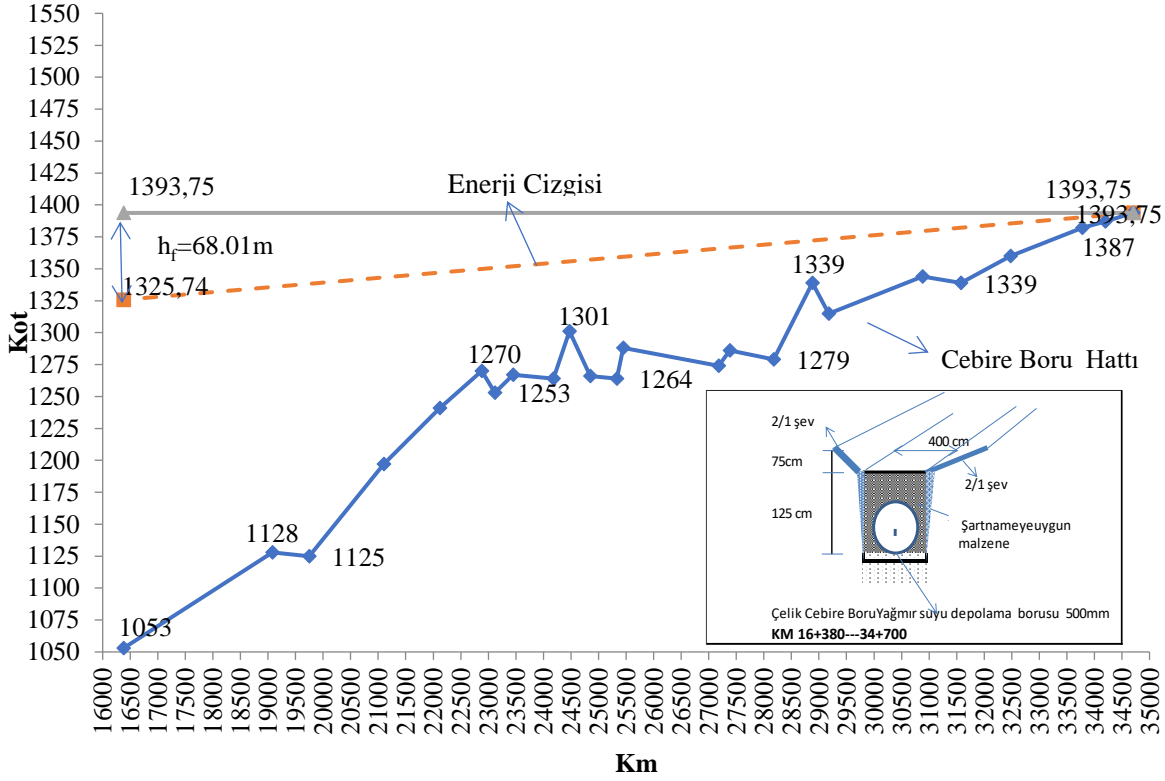


Şekil 10. Açık kanal plan krokisi

Kilometre 40+660-34+700 arası yol en kesitinin solunda depolama borularında toplanan yağmur suları Kilometre 34+700 -16+380 (Göynük Köprüsü) arası tespit edilen yol kenar kotlarından 2m (Kanal yüksekliği 0.75 m + boru ve boru üstüne gelecek malzeme 1.25m) düşünülerek cazibeli akışa uygun kotlar tespit edilerek (Tablo-8); cebire boru hattının düşey eksen ve yük kaybı çizilmiştir (Şekil 11).

Tablo 8. Cebire boru kotları

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
16+380	1053	24+180	1264	28+880	1339
19+080	1128	24+470	1301	29+180	1315
19+750	1125	24+850	1266	30+880	1344
21+100	1197	25+330	1264	31+580	1339
22+120	1241	25+450	1288	32+480	1360
22+880	1270	27+180	1274	33+780	1382
23+120	1253	27+380	1286	34+200	1387
23+450	1267	28+180	1279	34+700	1393.75



Şekil 11. Cebire Boru Düşey Ekseni Enerji Çizgisi

Çelik cebire borularla depolanan suyun km 16+380'de deşarj edilerek enerji üretimi Darcy-Weisbach Swamee-Jai eşitlikleri (Denklem 2, 3 ve 4,) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = A.V \quad (1)$$

$$Re = \frac{v.D}{\nu} \quad (2)$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (3)$$

$$h_f = f \frac{L.V^2}{2.g.D} \quad (4)$$

$$N_{TR} = 13.3 Q H e_{TR} \quad (5)$$

$$E = Q.H.g.\gamma.e_j.e_t.e_{TR}.t \quad (6)$$

Eşitliklerde Q debi (m³/s), A boru kesit alanı (m²), V hız (m/s), ν suyun kinematik viskozite (m²/s), f Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, ϵ boru pürüzlük katsayısı, D boru çapı (m) Re Reynold Katsayısı, h_f yükseklik kaybı (m) L boru hattı uzunluğu (m), g yerçekimi ivmesi (m/s²) H düşü yüksekliği (m), N_{TR} türbün gücü (BG) e_{TR} türbin verimi E üretilen enerji (Wattsaat), e_j jeneratör verimi, e_t transformatör verimi, γ suyun yoğunluğu (1000 kg/m³), t zaman (sa) dir.

$Q=0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ $V=1\text{m/s}$ ve $\nu=1.36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ kabul edilerek, çelik boru pürüzlük katsayısı $\epsilon=0,0045$ seçilmesi durumunda

$$D = \sqrt{4 * 0,2 / 1. \pi} = 0.504 \text{ m seçilen } 0.50\text{m}$$

$$Re = \frac{1.0.5}{1.36.10^{-6}} = 371048,90$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{0,0045/0,5}{3.7} + \frac{5.74}{371048,90^{0.9}} \right) \right]^{-2} = 0,0367$$

$$h_f = 0,0367 \frac{L(34700-16380).1^2}{2.9.81.0.50} = 68,01\text{m}$$

Kasım ayında toplanan su miktarı=
5711.12+3117.27+5036.48=13864.87m³

Kasım ayında toplanan suyun 0.20m³/sn debiyle deşarj süresi=13864.87/(0.20*3600)=19.25 sa
 $e_{TR}=0.90$, $e_j=0.98$, $e_t=0.95$ kabul edilmesi durumunda

$$N_{TR}=13.3*0,2*(1396-1053-68.01)*0.90 = 658.33 \text{ BG}$$

$$E = 0.2*(1396-1053-68.01)*9.81*1000*0.90*0.98*0.95*19.25 = 8702395.73 \text{ Watt}$$

Kasım ayı için enerji üretimi hesaplamaları yılın diğer ayları içinde yapılarak ;yılıda türbinin 167.98 sa çalışarak 75.940.314,85 Watt enerji üretileceği hesaplanmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Aylara göre enerji üretimi

Ay	Yağış (mm/m ²)	Kanal Top Su (m ³)	Aylık Çalışma Süresi (Sa)	Enerji Verimi (0.9*0.98*0.95=0.8379)	Aylık Enerji Üretimi E (Watt)
Kasım	107.7	13864.87	19.25	0.8379	8702395.73
Aralık	133.6	17199.13	23.89	0.8379	10798963.35
Ocak	137.2	17662.58	24.53	0.8379	11089953.38
Şubat	132.9	17109.01	23.76	0.8379	10742381.95
Mart	128.5	16542.58	22.98	0.8379	10386727.47
Nisan	117.5	15126.48	21.01	0.8379	9497591.27
Mayıs	74.8	9629.45	13.37	0.8379	6046126.18
Haziran	21.1	2716.33	3.77	0.8379	1705524.90
Temmuz	5.5	708.05	0.98	0.8379	444568.10
Ağustos	3.2	411.96	0.57	0.8379	258657.80
Eylül	11.5	1480.46	2.06	0.8379	929551.49
Ekim	66	8496.58	11.80	0.8379	5334817.22
TOPLAM	939.5	120947.47	167.98	0.8379	75940314.85

Üretilen enerjinin Bingöl ili için yıllık yaklaşık tutarı 17466TL (0.23 TL/kwh)*75940.314)dir.

Sonuçlar ve Tartışma

Bingöl ilinin Şehir merkezine yakın devlet yollarında yağmur suyu hasadı yöntemi ile toplanan suyun cazibeli olarak akıtılması durumunda;

- Yılda 5960 m bölünmüş yoldan toplanan yağmur suyundan cazibeli akışla üretilen 75,940,314.85 Watt elektrik enerjisinin yaklaşık olarak yıllık 22 (75940/3400) kişinin enerjisini karşılayabildiğinden; depolama, cebire boru ve bu borular için yapılacak kazı dolgu ve yatay sondaj imalat maliyetleri göz önüne alındığında üretilen enerjinin ekonomik olmamasına karşın bu tür projelerin sayısının artırılması enerji ihtiyacı olan ülkemizin elektrik enerji üretiminin miktarını artıracığı,
- Günlük kişi başına 170 lt evsel su kullanımının %30'u bahçe ve tuvalet ihtiyaçlarında kullanılmakta olup; Bingöl (Gayit Köprüsü)-Kurudere, Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köprüsü), Karlıova Ayr-Solhan güzergahlarının cazibeli akışa uygun şehir merkezine yakın 50.290 kilometrelik kısımlarından yağmur suyu hasadı ile toplanan 1133415 m³ (221979+562048+349388) suyun filitasyon

yapılarak kullanılması durumunda 51754 (1133415/(0.2*0.30*365) kişinin yıllık bahçe ve tuvalet suyu ihtiyacını karşılayabileceği gibi normal isale hatların pompa işletme masraflarına göre pompa işletme masraflarının düşüreceği,

- Karayolları Genel Müdürlüğünce yapılan Karayolu Projelerinde yatay, düşey ve yerleşim bölgelerine yakınlığı göz önünde bulundurularak yağmur suyu hasadı projelerinin hazırlanması su baskısı altında bulunan Ülkemizin su kaynaklarına katkıda bulunacağı ayrıca depolanan suların karayolları yakınında bulunan tarım arazilerinin sulanmasında ve kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. The Global Risks Report 2018, World Economic Forum, 13th Edition, Geneva.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_GRR18_Report.pdf.
2. Global Water Framework, 2012, 6th World Water Forum, Marseille, France, 12-17 March,
http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/2017-10/6th_world_water_forum.

3. Final Report, 2015, 7th World Water Forum, Daegu and Gyeongju, Republic of Korea, <http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/2017>.
4. M., Yeniçeri, 2018, Yağmur Sularının Hasadı ve Aktif Olarak Tarımsal Sulamada Kullanılması, Afet ve Risk Dergisi, 1(2), 126-136.
5. V., Notaro, L., Liuzzo, G., Freni, 2016, Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Southern Italy, Procedia Engineering, 162, 373-380.
6. M., Dakua, A., M., Redwan, B., N., Jahan, S., M., Tareq, S., Ahmed, N., F., Noor, 2016, A Case Study on Management of Rainwater Reservoir Areas In Hilly of Bangladesh, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 7, 6, 193-201.
7. J., Zhi-yun, L., Xiao-yan, M, Yu-jun, 2013, Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China, Journal of Integrative Agriculture, 12(8), 1389-1395
8. https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032118-144002/unrestricted/Rainwater_Energy_Harvesting_MQP_Final.pdf, Energy Harvesting from Rainwater, Worcester Polytechnic Institute.
9. A., S., Vieira, C., D., Beal, E., Ghisi, R., A., Stewart, 2014, Energy intensity of rainwater harvesting systems A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 225-242.
10. https://www.samsamwater.com/library/Book6_Water_from_roads.pdf, Water from Roads A handbook for technicians and farmers on harvesting rainwater from roads, Danish International Development Assistance (Danida) 2006.
11. S., N., Sachdeva, U., Sharma, 2008, Potential of Road Rainwater Harvesting in Urban Areas, 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Water Resources, Hydraulics & Hydrology (WHH '08), University of Cambridge, UK, Feb. 23-25.
12. B., T., Meriç, 2004, Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28(1), 27-38.
13. G., P., Mengü, E., Akkuzu, 2008, Küresel Su Krizi ve Su hasadı Teknikleri, ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2), 75-85.
14. <https://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/268>, Assessment of Best Practises and Experience in Water Harvesting, Rainwater Harvesting Handbook.
15. B., Helmreich, H., Horn, 2009, Opportunities in rainwater harvesting, Desalination, 248, 118-124.
16. A., D., Patel, P., K., Shah, 2015, Rainwater Harvesting- A Case Study of Amba Township, Gandhinagar, National Conference on "Transportation and Water resources Engineering"
17. S., Yannopoulos, G., Antoniou, M., Kaiafa-Saropoulou, A., N., Angelakis, 2017, Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review, Water Science & Technology Water Supply, 17(4), 1022-1034.
18. www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, Toprak su kaynakları, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
19. A., U., Öktem, A., Aksoy, 2014, Türkiye'nin Su Riskleri Raporu, İstanbul Bilgi Üniversitesi.
20. İçme Suyu Tesisleri Etüt Ve Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname, 2013, İller Bankası Anonim Şirketi.
21. A., Karahan, 2009, Gri Suyun Değerlendirilmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs, İzmir.
22. S Anaç ,E Özçakal ,G Pamuk Mengü Sanal Su Kavramı ve Su Yönetiminde Önemi Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2011, 48 (2): 159-164 ISSN 1018 – 8851
23. G., Pegram, S., Conyngham, A., Aksoy, B., B., Dıvrak, D., Öztok, 2014, Türkiye'nin Su Ayak İzi Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, İstanbul Bilgi Üniversitesi.
24. www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-11/16.xlsx, Yerli Enerji Kaynaklarına ait Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibari ile Gelişimi, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
25. <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar-0>, Elektrik Enerjisi Üretimi Tüketimi Kayıplar, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
26. <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2017-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2017 Yılı Faaliyet Raporu.
27. M., T., Özdemir, A., Orhan, M., Cebeci, 2011, Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkanların Değerlendirilmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elâzığ.

Investigation of Rainwater Harvest and Hydroelectric Potential in the State Roads in Bingöl Province

Extended abstract

Fresh water resources, which can be used as an indispensable natural resource in the world; In addition to the increasing use of agricultural products for population growth and the need for food products, the need for urbanized industrialized areas negatively affects access and quality due to the increase in pollution and climate change. Water, which is the most important element of human life, is also a clean and renewable resource that will be used in the supply of electrical energy which is one of the important requirements of today's people and countries. Today, it increases its importance against fossil fuels which are used in the most amount of electricity production and are consumed day by day. In general, training on the negative impacts of access to fresh water resources in the forms of France (2012) and South Korea (2015) made with the themes of the World Water Forum 'Solution Time', 'Water for Our Future', which has been addressed in an international manner, it was stated that adequate financial resources could be reduced by water storage and rainwater harvesting, local government support, recognition of moral and ethical values and principles, and taking into account the decision-making processes in the water sector. The Global Risk Report, prepared in the World Economic Forum in 2018, states that water crises may be encountered among global risks in the future with the impacts of climate change; In addition to the efficient and economical use of precipitation water, which is the source of freshwater, it makes it necessary to make infrastructure planning which will provide the least impact on water scarcity and water crises for the future. One of the surface areas where the precipitation water will be collected by the evaporation without leakage to the underground and the least evaporation is the highway surface. With an average annual rainfall of 601 mm / m², an average of 26 m platform width and a wide range of other road platforms, and a total of 15600 m³ of rainwater per year can be collected from one kilometer. The collected water will meet the annual water requirement of approximately 700 people in the case of people using households and in toilets and gardens after appropriate filtration. In case of consumption of 72 m³ water per person per year; The General Directorate of Highways is responsible

for 22634 km divided by highway and the annual rainfall average of the country will meet the annual water needs of five million people. According to the Falkenmark Indicator, our country, which is under water pressure, has the necessary infrastructure for the use of rainwater to be collected from the highway surface because of the need for more highways and roads than the developed countries. is gaining importance. The energy requirement of our country, which is under water pressure (ne demek su baskısı), has been tried to determine the hydroelectric potential of the water collected with rainwater harvesting in the parts of the mountain roads near the Bingöl City Center through the mountainous terrain. Rain water collected in the 5960m of Karlıova Ayr-Solhan route, which is suitable for the collection of the rain water according to the highway projects, is calculated to produce 75.940.314,85 watts of energy by transporting the rain water collected in the 5960m part of the road. On the other hand, it is observed that it is not economical in terms of operating and construction costs. and therefore the rainwater harvest of the Kurudere-Bingöl, Ilıcalar-Bingöl, Karlıova Ayr-Solhan routes close to the Bingöl city center and this harvest; the amount of water to be collected annually and the contribution to water resources and the country's economy were investigated.

Keywords: Highway, Rainwater Harvesting, Hydroelectric Energy, Domestic Water Use.