



Coğrafi bilgi sistemi ile hidroelektrik enerji üretimi amaçlı mini hidroelektrik santrali yeri seçimi: Sivas Kızılırmak Havzası örneği

Small hydroelectric power plant site selection for hydroelectric energy production with geographic information system: Sivas Kızılırmak Basin example

Sayiter Yıldız^{1,*} , Can Bülent Karakuş² , Firdevs Bayrak³ 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mimarlık, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Sanayileşme ile birlikte elektrik enerjisine olan talep sürekli artmaktadır. Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığı azaltmasının yolu kendi enerjilerini üretmesinden geçer. Türkiye'nin kullanılabilir en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri hidroelektrik enerjidir. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı hidrolojik bir model kullanılarak Kızılırmak Havzası'nda teorik olarak belirlenen mini hidroelektrik santrallerinin (MHES) lokasyonları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, incelenen havzada kurulu güç potansiyeline göre 100-150 kWh arasında 151, 150-200 kWh arasında 19 ve 200-300 kWh arasında 13 yer tespit edildi. Çalışma, Kızılırmak havzası içerisinde teorik olarak hesaplanabilecek hidroelektrik potansiyelini destekler niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Mini hidroelektrik santrali, Coğrafi bilgi sistemi, Yer seçimi

1 Giriş

21. yüzyılın başından bu yana küresel ekonominin sürekli büyümesi, dünya enerji talebini rekor seviyelere taşımıştır. Fosil yakıtlardan elde edilen termal enerji, ihtiyacının çoğunu (yaklaşık %79.68'i) sağlarken, uzun vadeli sürdürülebilirliğin olmayışı ve bu kaynakların sınırlı doğası, daha sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışını teşvik etmektedir [1]. Enerji sektörünün ülkelerin ve bölgelerin ekonomik, sosyal, teknolojik ve çevresel kalkınmaları üzerinde önemli bir etkisi vardır [2].

Enerji de dışa bağımlılığını azaltmak ve sürdürülebilir bir kalkınma için yenilenebilir su kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir. Boşa akan suların ekonomiye kazandırılması, stratejik bir hedef haline gelmiştir [3]. Enerji üretim sistemleri içerisinde hidroelektrik santraller (HES) düşük işletme maliyeti, en uzun işletme ömrü ve yüksek verimi ile ön plana çıkmaktadır [4].

Bir havzada hidroelektrik potansiyeli olan alanların seçilmesi veya belirlenmesi amacıyla yapılan arama çalışmaları (klasik yöntemle) büyük maliyet ve zaman gerektirmektedir. Alanın belirlenmesi için gerekli maliyet, toplam proje maliyetinin %2-6'sı civarındadır. Bu sorunların

Abstract

With industrialization, the demand for electrical energy is constantly increasing. The way for countries to reduce their dependence on foreign energy is to produce their own energy. One of the most important renewable energy sources available in our country is hydroelectric energy. In this study, the locations of theoretically determined mini hydroelectric power plants (MHPP) in the Kızılırmak Basin were determined using a Geographic Information System (GIS)-based hydrological model. As a result of the study, 151 places between 100-150 kWh, 19 places between 150-200 kWh and 13 places between 200-300 kWh were determined according to the installed power potential in the basin examined. The study supports the theoretically calculated hydroelectric potential within the Kızılırmak basin.

Keywords: Small hydroelectric power plant, Geographic information system, Site selection

çözümü amacıyla son yıllarda hidroelektrik potansiyeli olan alanların belirlenmesi, zaman ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla farklı bilgisayar yazılım modelleri geliştirilmiştir. Bu yazılım modellerinden bazıları daha az veriyle çalışırken, diğer kısmı karmaşık veriler gerektirir. Bu programlardan elde edilen sonuçlar çok temel başlangıç tahminlerinden gelişmiş tahminlere kadar geniş bir ölçeği kapsamaktadır [5]. Bu yazılım modellerinden en öne çıkanlar coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı yazılımlardır.

CBS, vektör ve raster verilerinin belirli amaçlar için analiz edilmesi, toplanması, depolanması, işlenmesi, görüntülenmesi ve düzenlenmesi için etkili bir araçtır. Dolayısıyla CBS'nin kullanılması, enerji projeleri için uygun yerlerin seçilmesi [6], baraj yeri ve hidroelektrik santrali yer seçimi için potansiyel alanların hidrolojik analiz ve modelleme yoluyla değerlendirilmesinde de önemli bir rol oynayabilir [7]. Bu modeller genellikle belirli girdileri (yağış, sıcaklık vb.) model çıktısına (örneğin debi) bağlamak için matematiksel ve istatistiksel kavramları kullanır. Hidrolojik modellerin kullanımı, su kaynaklarının değerlendirilmesinde geleneksel yöntemlere göre üstün olmaları nedeniyle artmıştır [8].

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sayiteryildiz@gmail.com (S. Yıldız)

Geliş / Received: 28.11.2023 Kabul / Accepted: 15.01.2024 Yayınlanma / Published: 15.04.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1397338

CBS ile baraj yeri ve hidroelektrik enerji santrali yer seçimi konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Tian ve ark., [9] elektrik santralleri için uygun sahaların belirlenmesi ve toplam potansiyeli hesaplamak amacıyla CBS yazılımı kullanmıştır. Bu yöntemin daha az zaman aldığı ve geleneksel tekniklere göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Fesalbon ve Blanco [10], CBS'den yararlanan çoklu teknikler kullanarak Marinduque adasında baraj yer seçimi için en uygun yerleri bulmak için bir metodoloji geliştirmiştir. Noori ve ark., [11] yapmış oldukları çalışmada baraj yeri uygunluk değerlendirmesi için iki farklı yaklaşım (bulanık mantık ve AHP) uygulamışlardır. Çalışmalarında, CBS araçlarının kullanılmasının baraj yeri seçimine karar vermenin etkili bir yolu olduğu sonucuna varmışlardır. Rahmati ve ark., [12] çalışmalarında, su havzaları içindeki kontrol barajları için uygun yerlerin seçimini belirlemek ve yönlendirmek için çok kriterli karar analizini CBS'ye entegre ederek, çoklu kritere ait çok sayıda konumsal verinin nispeten basit ve görsel olarak işlenmesine olanak sağlamıştır. Rane ve ark., [13] Hindistan'ın Ulhas nehri havzasında GBS kullanarak potansiyel baraj yeri seçimine yönelik bir karar çerçevesi belirlemiştir. Jafari ve ark., [14] ise Nehir Tipi hidroelektrik santral seçimi için CBS tabanlı bir yaklaşım ile bir model geliştirmiştir.

Genel olarak hidroelektrik santrallerin kurulu güce göre bir sınıflandırması bulunmamaktadır. Birçok ülke farklı kurulu güce göre hidroelektrik santralleri sınıflandırmıştır. Bu santraller genel olarak kurulu güce göre mikro (100 kW altında), mini (101-1000 kW arasında), küçük (1001-10000 kW arasında) ve büyük (10000 kW üzerinde) santraller şeklinde adlandırılır [15]. Bu çalışmada, Sivas il sınırları içerisinde bulunan Kızılırmak Havzasının mini hidroelektrik santrali (MHES) potansiyel alanlarının CBS tekniklerinden faydalanılarak belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2 Materyal ve yöntem

2.1 Çalışma alanı

Sivas, Anadolu yarımadasının ortasında, İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Kızılırmak bölümünde yer alır. 36° ve 39° doğu boylamları ile 38° ve 41° kuzey enlemleri arasında kalır. 28488 km²'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin toprak bakımından Konya'dan sonra ikinci büyük ilidir. Sivas ilinin büyük bir kesimi yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı geçen karasal İç Anadolu ikliminin etkisinde kalmaktadır. Fakat kuzeyde Karadeniz, doğuda Doğu Anadolu yüksek bölge ikliminin etkileri bulunmaktadır [16].

Çalışma alanı, Sivas il sınırları içerisindeki Kızılırmak havzasını oluşturmaktadır. Kızılırmak havzası 82221 km²'lik alanı kapsamaktadır. Havzanın çevresi 3546 km, havzanın uzunluğu ise 293 km'dir. Sivas il sınırları içerisindeki Kızılırmak havzası 13416 km²'lik alanı kapsamaktadır. Bu sınırı oluşturan havzanın çevresi 658.30 km'dir (Şekil 1).

Kızılırmak Havzası'nın ortalama yağış değeri 435.60 mm, ortalama sıcaklığı 10.5 °C'dir. Havzanın geniş olmasından dolayı iklim tiplerinde farklılık görüldüğü gibi buharlaşma değerleri de havza içinde farklılık göstermektedir. Kızılırmak İmranlı'da Kızıldağ'dan doğarak birçok derenin birleşmesiyle oluşur. Kızıldağ isminden

anlaşılabileceği gibi Kızılırmak Nehri ismini kırmızı toprak yapısından almaktadır. Havzadaki litolojik birimlerin ve kayaç birimlerinin rengi kızıl olduğundan, erozyonla nehre akan malzemeler nehre kızıl rengini vermektedir.

Havzadaki en büyük arazi kullanımlarını tarım alanları, verimli orman alanları ve bozuk orman alanları oluşturmaktadır. Kızılırmak Havzası içinde yer alan büyük toprak grupları değerlendirildiğinde; kahverengi topraklar, kahverengi orman toprakları ve kırmızımsı kahverengi topraklar havzada en fazla dağılım gösteren toprak gruplarıdır [17].

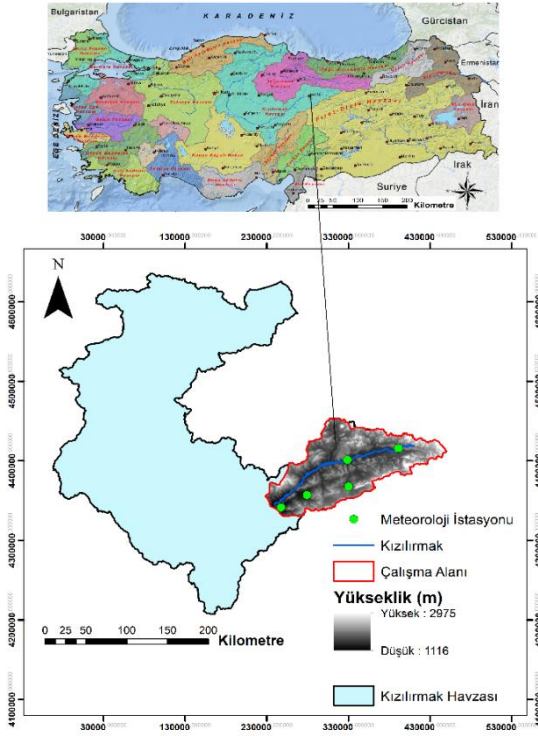
2.2 Veri temini ve yazılım

Bu çalışmada; Sivas il sınırı içerisinde yer alan Kızılırmak Havzası'ndaki MHES'nin en uygun yerlerinin belirlenebilmesi için Şekil 2'de verilmiş olan temel veriler (Sayısal Yükseklik Modeli ve meteorolojik veriler) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılmış olan tüm analizler için ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılmıştır.

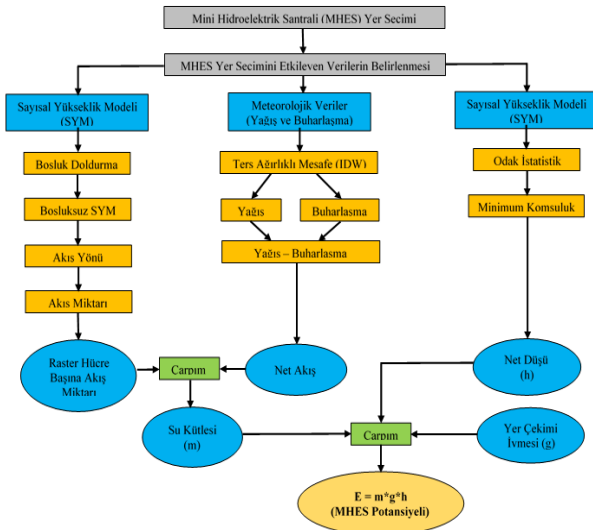
MHES için gerekli olan potansiyel enerji hesabındaki önemli bileşenler olan akış miktarı ve net düşü (kot farkı) kriterleri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS)'nin web sitesinden [18] temin edilmiş olan 30 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli'nden (SYM) elde edilmiştir. MHES için gerekli olan bir diğer önemli kriter olan net akış miktarını belirlemek için çalışma alanına ait yağış ve buharlaşma verileri kullanılmıştır. Çalışma alanına ait yıllık ortalama yağış ve buharlaşma kriterlerini belirlemek için öncelikle çalışma alanının 2000-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış ve buharlaşma verileri Meteoroloji Müdürlüğü'nden (Sivas/Türkiye) Excel (.xlsx) formatında temin edilmiştir. Bu yağış ve buharlaşma verileri, ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan IDW (Ters Ağırlıklı Mesafe) aracı vasıtasıyla haritalandırılarak 20 yıllık zaman periyoduna ait yağış ve buharlaşma kriteri verileri elde edilmiştir. Temin edilmiş olan tüm veriler, ön işleme tabii tutulduktan sonra ortak bir harita projeksiyonu (UTM 37N, ED50) ve veri formatına dönüştürülerek hücre büyüklüğü 10m x 10m boyutuna sahip raster veri formatı şeklinde depolanmıştır.

2.3 Yöntem

Bu araştırmanın metodolojisi, hidroelektrik güç potansiyelini değerlendirmek için CBS tabanlı bir hidrolojik modele dayanmaktadır. Bu model, SYM ile birlikte yağış ve buharlaşma verilerini kullanarak MHES açısından en uygun yerleri ortaya koymaktadır [19-22]. Çalışmada uygulanacak olan yöntemin akış diyagramı Şekil 2'de görülmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem genel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar: (i) veri temini, (ii) verilerin CBS veri formatına dönüştürülmesi, (iii) Potansiyel enerji formülüne ($E = mgh$) dayalı olarak MHES yeri açısından en uygun alanların belirlenmesi, (iv) MHES yeri açısından en uygun noktasal lokasyonların belirlenmesi. Şekil 2'de görülen yöntemin aşamaları aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 1. Türkiye havzaları ve çalışma alanı lokasyonu



Şekil 2. Çalışmada kullanılan yöntemin akış diyagramı

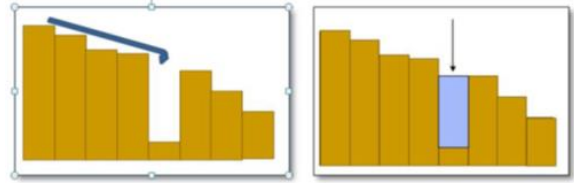
2.3.1 Akış miktarı haritalaması

Aşağı yönlü eğimli hücreye akan tüm hücrelerin toplam akışı, akış birikim fonksiyonu kullanılarak hesaplanabilmektedir. Hidrolojik modellemenin ilk aşaması akış miktarının belirlenmesi olup, hidrolojik modelleme için de ArcGIS 10.8 yazılımının hidroloji (ArcHydro) modülü kullanılmaktadır. Bu modül yardımıyla SYM verisi üzerinde öncelikli olarak boşluk doldurma, akış yönü belirleme ve akış birikiminin hesaplanması gibi işlemler gerçekleştirilerek akış miktarı verisi elde edilebilmektedir [20, 23-24]. Akış miktarı, yağış suyunun aktığı veya toplanmasına katkıda bulunan alanın bir değerini

gösterdiğinden her aşağı eğimli hücreye akan tüm hücrelerin birikmiş akışını belirlemek için akış biriktirme raster haritalaması kullanılmaktadır. Daha yüksek akış birikim değerlerine sahip alanlar büyük olasılıkla akarsular, nehirler, göletler veya diğer su kütleleridir [25]. Daha koyu sembollere sahip akış birikimi raster haritası yüksek akış birikimi değerlerini temsil ederken, daha açık semboller düşük akış birikimi değerlerini temsil etmektedir [24]. Raster hücre başına akım miktarının belirlenebilmesi için sırasıyla izlenmesi gereken aşamalar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.3.1.1 Boşluk doldurma

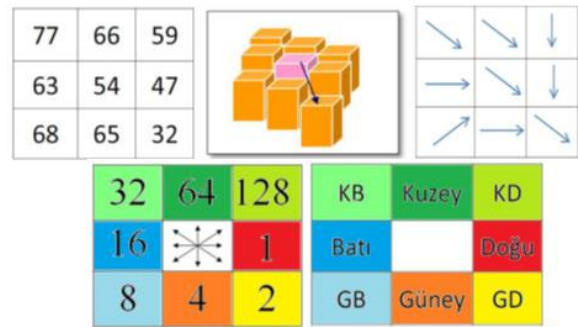
Toplam akış miktarını hesaplamının ilk aşaması SYM'de yer alan boşlukların doldurulmasıdır. Boşlukları doldurma işlemi, belirli bir alandaki havzaların ve derelerin doğru bir şekilde çizilmesini sağlamak için gereklidir [19]. Sağlıklı bir yüzey akışının gerçekleşebilmesi için yükseklik değeri yüksek olan hücre ile yükseklik değeri az olan hücre arasında boşluk olmaması gerekmektedir (Şekil 3) [26].



Şekil 3. SYM veride oluşabilecek boşluklar ve doldurulması [27]

2.3.1.2 Akım yönü belirleme

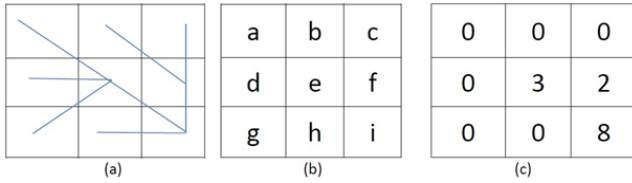
Bu fonksiyon, verilen grid sistemi için akım yönünü hesaplamaktadır. Hücrede yer alan değer, bu hücreye komşu 8 hücreden yükseklik değeri en az olana doğru su akım yönünü göstermektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi her bir grid içerisinde yükseklik değeri yer almakta ve su akışı en düşük yükseklik değerine sahip gride doğru olmaktadır [28]. Akış yönü raster haritası, daha yüksek kottaki hücrelerin her birinden suyun dışarı akacağı yönü göstermektedir [24]. Model için girdi bir yüzey taramadır ve elde edilen çıktının sonucu her hücreye 8-128 arasında değişen değerler vererek akış yönünü gösteren bir taramadır. Burada her değer tek bir yönü gösterir. Doğrudan akış veri seti ile birlikte akış yönü hesaplamasının çıktısı, ArcGIS yazılımının akış birikiminin hesaplanması için girdi verileri olarak işlev görmektedir [29].



Şekil 4. Hücrelerdeki akım yönü [28]

2.3.1.3 Kümülatif akım hesaplama

Kümülatif akım hesaplamasının temeli, su toplama alanındaki hücre sayılarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntem ile su toplama alanı ve nehir kolları belirlenebilmektedir. Hücreler arasındaki su akışına bağlı olarak su akışının hiç gerçekleşmediği hücreler “0” sayısal değerini almaktadır. Herhangi bir hücreye komşu hücrelerden su akışı gerçekleşmesi durumunda o hücreye girecek sayısal değer o hücreye su akışı olan hücre sayısına eşittir. Şekil 5’e göre; “0” sayısal değeri alan hücreler kendilerine doğru hiçbir hücreden su akışının olmadığını; “2” ve “3” sayısal değerini alan hücreler kendilerine doğru sırasıyla 2 ve 3 hücreden akış gerçekleştiğini göstermektedir “8” sayısal değeri alan hücre ise en düşük kot değerine sahip hücre olup tüm hücrelerdeki (8 hücre) su akışı bu hücreye doğru olmaktadır. Bu şekilde hücreler arası su akışları (Şekil 5) dikkate alınarak su toplama alanındaki hücre sayıları ortaya konulabilmektedir [28]. Daha yüksek akış birikim değerleri içeren hücreler aslında belirli bir alandaki çukurları temsil ederken düşük birikim değerlerine sahip hücreler ise zirveleri temsil etmektedir [29]. Boşlukları doldurulmuş SYM dizinizdeki her bir hücreye akan hücre sayısını belirler. Su daha yüksek değerlere sahip alanlarda birikir ve boşalır [30].



Şekil 5. Kümülatif akım yönü [28]

2.3.2 Net akış ve su kütlesi haritalaması

Yıllık ortalama yağış ve buharlaşma verileri arasındaki fark net akış miktarını ortaya koymaktadır. Inverse Weighted Distance (IDW) (Ters Ağırlıklı Mesafe) yöntemi vasıtasıyla yağış ve buharlaşma değerlerine ait tematik haritalar elde edilebilmektedir [31]. Yöntem; bilinen örnek noktalara ait değerlerin yardımıyla örneklenmeyen noktalara ait hücre değerlerinin belirlenmesi için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. İlgili hücreden uzaklaşan çeşitli noktalar gözetilerek ve mesafedeki artışa bağlı olarak hücre değeri hesap edilir. Tahmin edilen değerler, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olup, mesafenin artması ile tahmini yapılacak hücre üzerindeki önem ve etki azalır [32]. Bu yöntem, örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen bir yöntemdir. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılmıştır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar [33]. IDW Denklem 1 ile ifade edilmektedir [34]:

$$Z(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(X_i) \cdot d_{i0}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-r}} \quad (1)$$

Burada, tahminlerin yapıldığı X_0 lokasyonu, komşu ölçümleri n 'nin bir fonksiyonudur [$Z(X_i)$ ve $i=1,2,\dots,n$]; r gözlemlerin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üstür ve d gözlem lokasyonu X_i ile tahmin lokasyonu X_0 'ı ayıran mesafedir. \bar{U} büyüdükçe, tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki gözlemlerin atanmış ağırlığı küçülür. \bar{U} 'sün artması, tahminlerin en yakındaki gözlemlere çok benzediğini gösterir [35]. ArcGIS yazılımının Mekânsal Analiz aracıyla yer alan Raster Calculator (Raster Hesaplayıcı) yardımıyla buharlaşma kriterine ait raster harita yağış kriterine ait raster haritadan çıkarılarak net akışa ait raster harita elde edilebilmektedir [31].

Havzanın toplam akım değerlerini gösteren raster harita ile net akışı gösteren raster harita, ArcGIS yazılımının Mekânsal Analiz aracıyla yer alan Raster Calculator (Raster Hesaplayıcı) yardımıyla çarpılarak akarsuların piksel bazında taşıdığı su kütlesine ait raster harita elde edilebilmektedir [29, 36].

2.3.3 Net düşü (h) haritalaması

Sayısal yükseklik verilerine “Odak İstatistik” fonksiyonu uygulanmaktadır. Bu fonksiyon, her bir hücreyi çevreleyen komşu hücreler için gerekli istatistikleri (yani minimum, maksimum, tüm değerlerin toplamı) hesaplayan bir fonksiyondur. Çağdaş analizde minimum fonksiyon, her raster hücrenin etrafındaki minimum hücreleri (en alttaki komşu hücreler) bulmak için kullanılan, her hücrenin etrafında 3x3 boyutunda hücre içeren bir dikdörtgene uygulanmaktadır. Her bir hücrenin minimum komşularına olan yükseklik düşüşünü bulmak için SYM kullanılır. Piksellerden alınan yükseklik değerleri “Odak İstatistik” metodu ile CBS yazılımlarında işlenerek bir pikselin çevresindeki komşu piksellerdeki yükseklik farkı hesaplanabilmektedir [37]. Elde edilen çıktı, daha sonra potansiyel enerjiyi hesaplamak için denklemde kullanılan net düşü (kot farkı) değeridir [20, 29, 38]. Net düşü haritalaması, ArcGIS yazılımının mekansal analiz aracıyla yer alan “Odak İstatistik” aracı yardımıyla 30 m mekansal çözünürlüğe sahip SYM kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir [39, 40]. Bu yöntem, nehir yatağı topoğrafyasını ve olası potansiyel yük konumlarını belirlemek için uygun bir metottur [41].

2.3.4 CBS tabanlı MHES potansiyeli haritalaması

Hidroelektrik üretkenliği, suyun mevcudiyetine (mevsimlere ve yıllara göre değişen akarsu akışıyla verilir) ve hidrolik yüke (türbin devresinin girişindeki ve çıkışındaki su seviyeleri arasındaki dikey mesafe) bağlıdır. Potansiyel yerçekimi enerjisi; suyun kütlesine, yerçekimi ivmesine ve hidrolik yüke (net düşü) bağlı olup bu kriterler tüm hidroelektrik tasarım kriterlerinin temelini oluşturmaktadır [42].

CBS'ye dayalı birçok özel araç, hidroelektrik santrali gibi yenilenebilir enerji tesislerinin potansiyel değerlendirilmesi için son yıllarda yaygın kullanım alanı bulmuştur. CBS tabanlı bu araçlar, hidroelektrik potansiyel değerlendirilmesi için tüm dünyadaki nehir havzalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [43]. SYM ve CBS'ye dayalı modellerin hidroelektrik santraller için potansiyel yerlerin belirlenmesinde çok uygun ve hızlı çözümler üretmektedir

[44]. Nitekim Cuya ve ark., [45] yeni nesil CBS yazılımlarının ve dijital SYM'lerin kullanılabilirliği ile nehir ağı, nehir ve arazi eğimleri, hidrolik yük gibi arazi özelliklerinin SYM'den elde edilmesinin daha kolay ve güvenilir olduğunu ifade etmiştir.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda elde edilmiş olan su kütlesi (m) ve net düşü (h) kriterlerine ait raster haritalar ile yerçekimi ivmesi (g) değeri, aşağıdaki denklemde verilen potansiyel enerji (E) formülüne göre birbiriyle çarpılarak MHES potansiyeli elde edilebilmektedir [19, 46].

$$E = m * g * h \quad (2)$$

Burada; m = Su Kütlesi, h = Net Düşü (m), g = Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

ArcGIS yazılımındaki Raster Calculator (Raster Hesaplayıcı) aracı yardımıyla yukarıdaki denkleme göre potansiyel enerjiye ait MHES uygunluk haritası üretilmiştir. Alansal olarak elde edilmiş olan MHES uygunluk haritası, ilgili yazılımın Mekansal Analiz (Spatial Analysis) aracında yer alan "Raster to Point" aracı ile değerlendirilerek noktasal MHES uygunluk haritasına dönüştürülmüştür. Bu işlem sonucunda MHES potansiyelinin lokasyonları noktasal olarak belirlenmiştir.

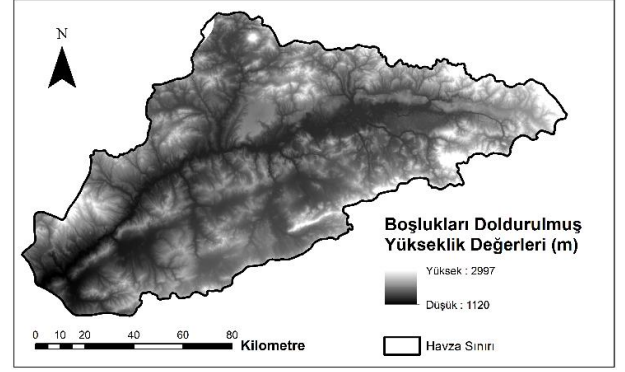
3 Bulgular ve tartışma

3.1 Hidrolojik modelleme ile akış miktarının belirlenmesi

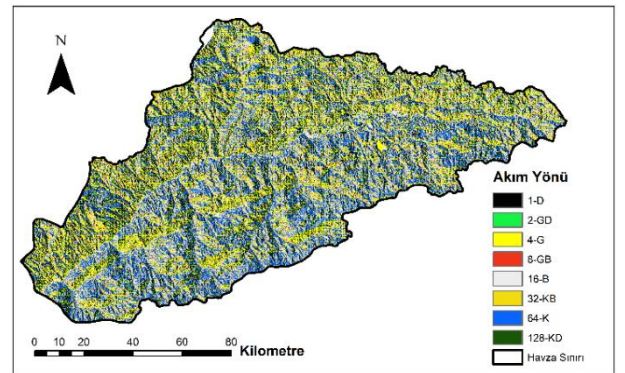
Çalışma alanının yüksekliği 1120 m – 2997 m arasında değişmektedir (Şekil 1). Doğru bir yüzey akışı sağlamanın temeli, hidrolojik modellemeye dayalı olarak akış miktarının belirlenmesine dayanmaktadır. Bu işlem için öncelikli olarak çalışma alanının yükseklik değerlerine bağlı olarak "SYM yenileme" ve "boşlukları doldurma" işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler yardımıyla SYM verisinde yer alan düşük kotlardaki hatalı hücrelerin yükseklik değerleri düzeltilmiştir (Şekil 6). Şekil 6 yardımıyla, ArcHydro modülünde yer alan "akım yönü belirleme" aracı kullanılarak akım yönleri belirlenmiştir (Şekil 7).

Akış yönü, ArcGIS 10.8 yazılımı yardımıyla SYM kullanılarak her bir hücreden en dik inişin yönü bulunarak belirlenmiştir. Akış yönünü gösteren raster harita (Şekil 7), yükseklik değerlerini gösteren raster haritanın her bir hücresinden suyun dışarı akacağı yönü göstermektedir. Yağış suyunun aktığı veya toplandığı alanın bir değerini gösterdiğinden, her aşağı eğimli hücreye akan tüm hücrelerin birikmiş akışını belirlemek için akış biriktirme raster haritası kullanılmıştır [25]. Bu, su akışının tüm yıl boyunca belirli bir minimumun üzerinde olabileceği akarsuların belirlenmesine yardımcı olur [24].

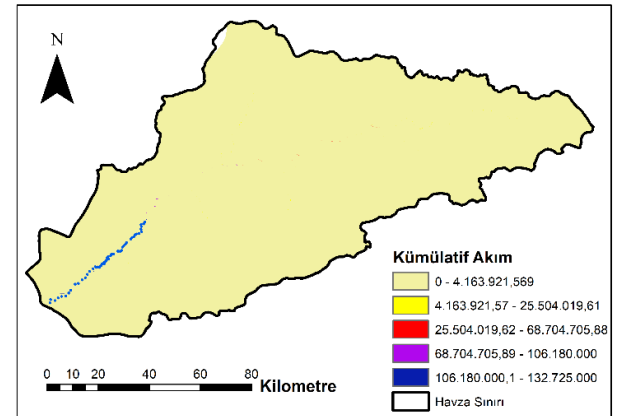
Şekil 7'ye göre; akış yönü yoğunluğu kuzeydoğudan (KD) itibaren doğu (D) yönüne doğru azalmaktadır. "Kümülatif akım hesaplama" işlemi Şekil 7'ye göre yapılmış olup koyu mavi renkli noktalar su toplama alanlarını göstermektedir. Koyu mavi renge sahip noktalar yüksek akış birikme değerlerini, açık krem rengine sahip noktalar ise düşük akış birikme değerlerini temsil etmektedir (Şekil 8).



Şekil 6. Çalışma alanına ait boşlukları doldurulmuş yükseklik haritası



Şekil 7. Çalışma alanına ait akım yönü haritası

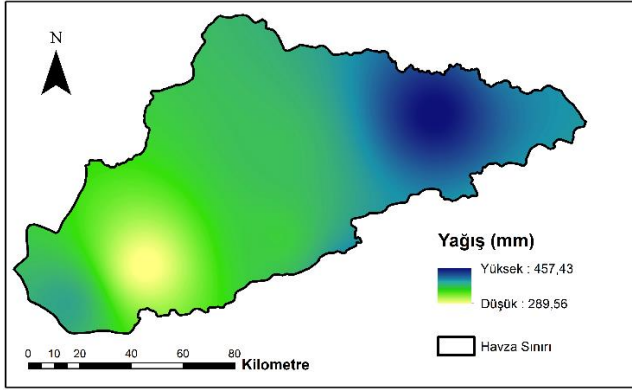


Şekil 8. Çalışma alanına ait kümülatif akım haritası

3.2 Net akış haritalaması

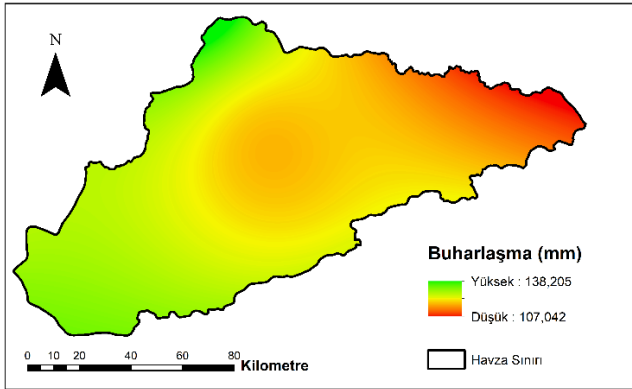
Çalışma alanına net akış haritasının oluşturulması için öncelikli olarak yağış ve buharlaşma haritaları oluşturulmuştur. Yağış haritasının oluşturulması için ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan IDW yöntemi kullanılmıştır. 2000-2019 yılları arasındaki 20 yıllık ortalama toplam yağış verileri kullanılarak çalışma alanı için belirlenen yöntemle oluşturulmuş olan yağış haritasına (Şekil 8) göre yıllık ortalama yağış değerleri 289.56 mm ile 457.43 mm arasında değişmektedir. Yağışın en yüksek olduğu bölgeler çalışma alanının kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Yağışın en düşük olduğu alanlar ise çalışma

alanının güneybatısında bulunmaktadır (Şekil 9). Çalışma alanında yoğun yağış alan bölgeler, MHES yeri uygunluğu açısından en uygun bölgeler sınıfında kabul edilmektedir.



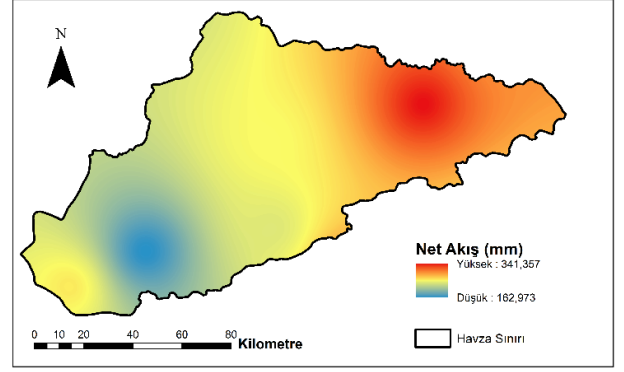
Şekil 9. Çalışma alanına ait yağış dağılım haritası

2000-2019 yılları arasındaki 20 yıllık ortalama buharlaşma verileri kullanılarak çalışma alanı için belirtilen yöntemle oluşturulmuş olan buharlaşma haritasına (Şekil 10) göre yıllık ortalama buharlaşma değerleri 107.04 mm ile 138.20 mm arasında değişmektedir. Buharlaşmanın en yüksek olduğu bölgeler çalışma alanının kuzeyinde bulunmaktadır. Buharlaşmanın en düşük olduğu alanlar ise çalışma alanının doğusunda bulunmaktadır (Şekil 10). Yağış faktörüne de bağlı olarak buharlaşmanın en düşük olduğu bölgeler, MHES yeri uygunluğu açısından en uygun bölgeler sınıfında kabul edilmektedir.



Şekil 10. Çalışma alanına ait buharlaşma dağılım haritası

Buharlaşma kriterine ait oluşturulmuş olan buharlaşma dağılım haritası (Şekil 10), ArcGIS 10.8 yazılımının Mekansal Analiz (Spatial Analys) aracında yer alan Raster Calculator (Raster Hesaplayıcı) yardımıyla yağış kriterine ait oluşturulmuş olan yağış dağılım haritasından (Şekil 9) çıkarılarak çalışma alanındaki net akışı gösteren dağılım haritası elde edilmiştir (Şekil 11). Şekil 11'e göre; net akış değerleri 162.97 mm ile 341.35 mm arasında değişmektedir. Net akışın en yoğun olduğu bölgeler genel olarak çalışma alanının doğusunda yoğunlaşmıştır. Net akışın en düşük olduğu bölgeler ise çalışma alanının güneybatısında yer almıştır.

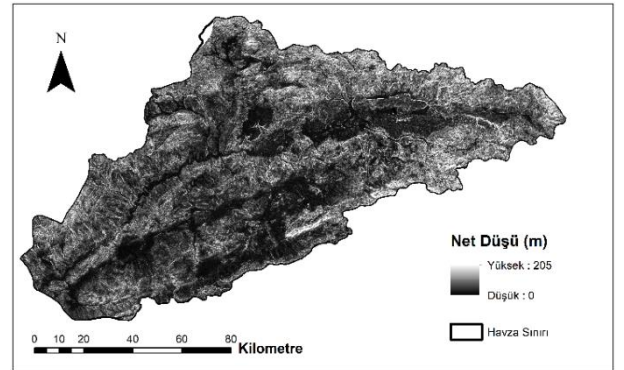


Şekil 11. Çalışma alanına ait net akış haritası

3.3 Net düşü haritalaması

Bir hidroelektrik santralının temel amacı, belirli bir yükseklikten (net düşü) akan bir su kütlesinin potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektir. Bu mekanizmaya göre elde edilen güç çıkışı, akış ve net düşü ile doğru orantılıdır [47]. Nehrin her noktasında hidroelektrik gücü sağlamak için SYM'den elde edilen akarsuyun hidrolik yüksekliği (net düşü) ve deşarj akışı gereklidir. Net düşü için en önemli faktör, havzanın topografyası, su girişinin ve türbinin konumudur. Net düşü, nehrin yukarıdaki ve aşağıdaki iki nokta arasındaki yükseklik farkıdır [48]. SYM'ye göre iki nokta arasındaki yükseklik farkının fazla olduğu (alanın eğiminin yüksek olduğu) her yerde düşü hidroliği miktarı fazladır. Bu nedenle de potansiyel enerji formülüne göre de potansiyel enerji miktarı fazladır [49].

Çalışma alanı için Odak İstatistik yöntemi ile oluşturulmuş olan net düşü haritası Şekil 12'de görülmektedir. Şekil 12'ye göre çalışma alanındaki yükseklik farkı (net düşü) 0 ile 205 m arasında değişmektedir. Bu net düşü değeri, yüksek net düşü sınıfında yer almaktadır [47].

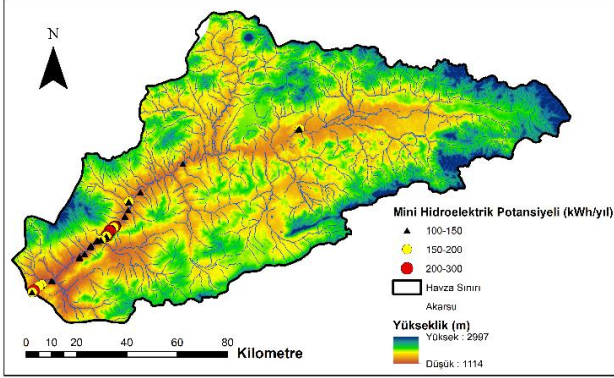


Şekil 12. Çalışma alanına ait net düşü haritası

3.4 MHES potansiyeli haritalaması

Çalışma alanı için MHES potansiyelinin sonuçları Şekil 13'te gösterilmektedir ve MHES noktaları genel olarak çalışma alanının güneybatısında yer almıştır. Bu haritada siyah üçgen şekilleri, kırmızı ve sarı dairesel şekiller suyun esas olarak nerede biriktiğini ve dolayısıyla yüksek potansiyelle sahip raster hücrelerin nerede bulunabileceğini göstermektedir. Tüm hücrelerin tahmini güç potansiyeli, çalışma alanının toplam güç potansiyelinin tahmin

edilmesinde kullanılabilir. MHES potansiyeli açısından en yoğun noktalar, kümülatif akım değerlerinin yüksek olduğu ve su toplanma noktalarının belirlendiği bölgelerde (Şekil 8) yoğunlaşmıştır ve bu noktalar daha çok Kızılırmak nehrinin ana kolu üzerinde yer almıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Çalışma alanına ait MHES potansiyeli haritası

Çalışma alanındaki MHES potansiyeli 100-300 kWh/yıl aralığında değişmektedir. Bu MHES potansiyeli 3 sınıflı olarak değerlendirildiğinde Tablo 1'de verilmiş olan MHES potansiyellerinin çalışma alanındaki sayıları ortaya konulmuştur. Çalışma alanında en fazla potansiyeli olan MHES sınıfı 100-150 kWh/yıl aralığındaki sınıf olup bu MHES sınıfının çalışma alanında belirlenmiş olan sayısı 151'dir. 150-200 ve 200-300 kWh/yıl aralığındaki MHES sınıflarının çalışma alanında belirlenmiş olan sayıları ise sırasıyla 19 ve 13'tür.

Tablo 1. MHES potansiyeli ve sayıları

MHES Potansiyeli (kWh/yıl)	MHES Sayısı
100-150	151
150-200	19
200-300	13

Tablo 1'e göre havzadaki en büyük potansiyel enerji kurulu gücü 200-300 kWh/yıl olup, bu aralıktaki MHES potansiyelinin 13 noktada üretilebileceği görülmektedir. Bu noktaların ve diğer tüm MHES potansiyellerinin büyük çoğunluğu Kızılırmak nehrinin ana kolu üzerinde yer almıştır. Havzanın üst kısımlarında ve Kızılırmak nehrinin yan kollarında su akış miktarı az ve çok kısa süreli olacağından dolayı bu bölgelerde tespit edilmiş olan MHES noktalarında enerji potansiyeli düşük olacaktır [31].

4 Sonuçlar

Bu çalışma, Sivas il sınırları içerisinde bulunan Kızılırmak Havzası içerisindeki MHES'lerin en uygun yerlerini CBS yardımıyla ortaya koymaktadır. MHES potansiyelinin en yüksek olduğu noktaların Kızılırmak nehrinin ana kolu üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, kurulu güç potansiyeline göre 100-150 kWh arasında 151 adet, 150-200 kWh arasında 19 adet ve 200-300 kWh arasında 13 adet olmak üzere toplam 183 adet MHES için yer tespit edilmiştir. Bu çalışma, bu havza içerisinde teorik olarak hesaplanabilecek hidroelektrik

potansiyelini destekler nitelikte bir çalışmadır. Bu çalışmanın sonuçları, su ve enerji konusunda faaliyet gösteren karar vericiler ve ilgili kamu kurum-kuruluşları için referans veri niteliği taşımaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 17

Kaynaklar

- [1] F. Chien, C. N. Wang, V. T. Nguyen, V. T. Nguyen and K. Y. Chau, An evaluation model of quantitative and qualitative fuzzy multi-criteria decision-making approach for hydroelectric plant location selection. *Energies*, 13(11), 2783, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13112783>.
- [2] S. M. Hosseini, A. Aslani and A. Kasaeian, Energy, water, and environmental impacts assessment of electricity generation in Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102193, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102193>.
- [3] R. Bakış, S. Göncü, E. Gümüşlüoğlu, Nehil çayı havzasının analizi ve hidroelektrik enerji potansiyeli. *Anadolu University of Sciences & Technology-A: Applied Sciences & Engineering*, 14(1), 1-28, 2013.
- [4] F. Oral, R. Behçet, K. Aykut, Hidroelektrik santral rezervuar verilerinin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 29-38, 2017. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.308545>.
- [5] R. Bakış, C. Koc, Y. Bayazıt and S. N. Cabuk, Application of geographic information system to select dam location for hydropower. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, 2020. <https://doi.org/10.18488/journal.13.2020.91.56.72>
- [6] Z. Defne, K. A. Haas and H. Fritz, GIS based multi-criteria assessment of tidal stream power potential: A case study for Georgia, USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2310-2321, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.005>.
- [7] A. Rasooli, and D. Kang, Assessment of potential dam sites in the Kabul river basin using GIS. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6(2), 83-89, 2015.
- [8] B. C. Kusre, D. C. Baruah, P. K. Bordoloi and S. C. Patra, Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). *Applied Energy*, 87(1), 298-309, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019>.
- [9] Y. Tian, F. Zhang, Z. Yuan, Z. Che, N. Zafetti, Assessment power generation potential of small hydropower plants using GIS software. *Energy Reports*, 6, 1393-1404, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.05.023>.
- [10] R. M. A. Fesalbon, A. C. Blanco, Hydropower dam site selection and visualization using GIS and RS techniques: A case of Marinduque, Philippines. *The*

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 207-214, 2019. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-207-2019>.
- [11] A. M. Noori, B. Pradhan and Q. M. Ajaj, Dam site suitability assessment at the Greater Zab River in northern Iraq using remote sensing data and GIS. *Journal of Hydrology*, 574, 964-979, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.001>.
- [12] O. Rahmati, Z. Kalantari, M. Samadi, E. Uuemaa, D. D. Moghaddam, O. A. Nalivan, & D. Tien Bui, GIS-based site selection for check dams in watersheds: considering geomorphometric and topo-hydrological factors. *Sustainability*, 11(20), 5639, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11205639>.
- [13] N. L. Rane, A. Achari, S. P. Choudhary, S. K. Mallick, C. B. Pande, A. Srivastava, K. N. Moharir, A decision framework for potential dam site selection using GIS, MIF and TOPSIS in Ulhas river basin, India. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138890, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138890>.
- [14] M. Jafari, R. Fazloulou, M. Effati, A. Jamali, Providing a GIS-based framework for Run-Of-River hydropower site selection: A model based on sustainable development energy approach. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 38(2), 102-126, 2021. <https://doi.org/10.1080/10286608.2021.1893310>.
- [15] M. T. Özdemir, A. Orhan ve M. Cebeci, Çok küçük hidrolik potansiyellerin enerji üretim amacı ile yerel imkanlarla değerlendirilmesi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, sayfa 5-7, Elazığ, Türkiye, 5-7 Ekim 2011*.
- [16] C. B. Karakuş ve S. Yıldız, Hava kalite indeksi ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkinin çoklu regresyon yöntemi ile belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 698-711, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumu.598118>.
- [17] SYGM, Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Mayıs 2019, s.99, Ankara. 2019.
- [18] <https://earthexplorer.usgs.gov>. Erişim tarihi 10 Nisan 2023.
- [19] B. Feizizadeh and E. M. Haslauer, GIS-based procedures of hydropower potential for Tabriz basin, Iran. *International Journal*, 495-502, 2012.
- [20] C. Koç, Y. Bayazit, S. Y. Özgül, Investigation of theoretical hydroelectric potential with GIS-based model in Büyük Menderes Basin, Turkey. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(11), 2185-2196, 2022. <https://doi.org/10.1080/14786451.2022.2147525>.
- [21] N. Wegner, E. Mercante, I. de Souza Mendes, D. Ganascini, M. M. Correa, M. F. Maggi, and J. A. C. Siqueira, Hydro energy potential considering environmental variables and water availability in Paraná Hydrographic Basin 3. *Journal of Hydrology*, 580, 124-183, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124183>.
- [22] D. Connolly, MacLaughlin, S., & Leahy, M. Development of a computer program to locate potential sites for pumped hydroelectric energy storage. *Energy*, 35(1), 375-381, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.004>.
- [23] I. Torre Franca, R. E. Otadoy and A. Tongco, Incorporating landscape dynamics in small-scale hydropower site location using a GIS and spatial analysis tool: the case of Bohol, Central Philippines. *Energies*, 15(3), 1130, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15031130>.
- [24] C. Odiji, M. Adepoju, I. Ibrahim, O. Adedeji, I. Nnaemeka and O. Aderoju, Small hydropower dam site suitability modelling in upper Benue river watershed, Nigeria. *Applied Water Science*, 11, 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01466-6>.
- [25] A. Korkovelos, D. Mentis, S. H. Siyal, C. Arderne, H. Rogner, M. Bazilian, M. Howells, H. Beck, A. De Roo, A geospatial assessment of small-scale hydropower potential in sub-saharan Africa. *Energies*, 11(11), 2018. <https://doi.org/10.3390/en11113100>.
- [26] A. A. Karadağ, Kovada Gölü alt havza sınırlarının belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 8(1), 58-76. 2012.
- [27] N. G. Ayhan, K. Seyrek, A.H. Sargın, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile hidroloji uygulamaları. *Kurs Notları. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Eğitim Ltd. Şti. Ankara. 2012*.
- [28] G.G. Güreşçi, K. Seyrek Sargın, AH Coğrafi Bilgi Sistemleri ile hidroloji uygulamaları. *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, CBS Şube Müdürlüğü. Ankara. 2012*.
- [29] Y. Bayazit, R. Bakış, and C. Koç, An investigation of small scale hydropower plants using the geographic information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 289-294, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.062>.
- [30] H. Desalegn, B. Damtew, A. Mulu and A. Tadele, Identification of potential sites for small-scale hydropower plants using a geographical information system: A case study on fetam river basin. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 104(1), 81-94, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40030-022-00692-8>.
- [31] R. Bakış, C. Koc, Y. Bayazit, S. N. Cabuk, Application of geographic information system to select dam location for hydropower. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, 9(1), 56-72, 2020. <https://doi.org/10.18488/journal.13.2020.91.56.72>.
- [32] E. D. Taylan ve D. Damçayırı, Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551-7559, 2016.
- [33] A. İlker, Ö. Terzi ve E. Şener, Yağışın alansal dağılımının haritalandırılmasında enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi örneği. *Teknik Dergi*, 30(3), 9213-9219, 2019. <https://doi.org/10.18400/tekderg.334186>.

- [34] C.D. Loyd, Local models for spatial analysis. CRC Press, London and New York, 2007.
- [35] H.H. Aksu and K. Hepdeniz, Mapping with the aid of Geographic Information System and analysis of annual and monthly average maximum air temperature distribution in Burdur. Mehmet Akif Ersoy Uni. J. Gradu. Sch. Nat. Appl. Sci., 7, 202-214, 2016.
- [36] E. Gómez-Llanos, P. Durán-Barroso, J. Arias-Trujillo, J. M. Ceballos-Martínez, J. A. Torrecilla-Pinero and M. Candel-Pérez, Small and micro-hydropower plants location by using geographic information system. Proceedings 2 (20), 1300, 2018. <https://doi.org/10.3390/proceedings2201300>.
- [37] M. M. Dağhan, Hidroelektrik enerji üretim için baraj yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanılması ve uygulamaları (Seydisuyu havzası) Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [38] G. Alcalá, L. F. Grisales-Noreña, Q. Hernandez-Escobedo, J. J. Muñoz-Criollo, and J. D. Revuelta-Acosta, Shp assessment for a run-of-river (Ror) scheme using a rectangular mesh sweeping approach (msa) based on gis. Energies, 14(11), 3095, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14113095>.
- [39] D. Setiawan, Potential sites screening for mini hydro power plant development in Kapuas Hulu, West Kalimantan: a GIS approach. Energy Procedia, 65, 76-82, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.034>
- [40] S. O. Akande, Y. A. Sanusi, L. M. Sanni and I. N. Abdullahi, Geospatial assessment of small hydropower potentials in Ogun watershed for rural electrification. Journal of Renewable Energy and Sustainable Development, 8(2), 35-44, 2022. <http://dx.doi.org/10.21622/RES.D.2021.07.2.035>
- [41] T. Sekac, S. K. Jana and D. K. Pal, Identifying potential sites for hydropower plant development in Busu catchment: Papua New Guinea. Spatial Information Research, 25, 791-800, 2017. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0145-z>
- [42] J. J. De Melo, A. Galvão and M. J. F. Sousa, Evaluating the energy contribution of small hydropower in the European Mediterranean Basin. EuroNatur, RiverWatch and NOVA University Lisbon. pp. 44 2020.
- [43] F. Ali, C. Srisuwan, K. Techato and A. Bennui, Assessment of small hydropower in Songkhla Lake Basin, Thailand using GIS-MCDM. Sustainable Water Resources Management, 9(1), 25, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00788-w>.
- [44] Y. Bayazit, R. Bakış, and C. Koç, A study on transformation of multi-purpose dams into pumped storage hydroelectric power plants by using GIS model. International Journal of Green Energy, 18(3), 308-318, 2021. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1865362>
- [45] D. G. P. Cuya, L. Brandimarte, I. J. Popescu, Alterach and M. A. Peviani, GIS-based assessment of maximum potential hydropower production in La Plata basin under global changes. Renewable Energy, 50, 103-114, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.019>.
- [46] Y. Zheng and M. Sahraei-Ardakani, Leveraging existing water and wastewater infrastructure to develop distributed pumped storage hydropower in California. Journal of Energy Storage, 34, 102204, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102204>.
- [47] C. Penche, Guide on How to develop a small hydropower plant. European Small Hydropower Association, 296, 1998,
- [48] Y. Tian, F. Zhang, Z. Yuan, Z. Che, and N. Zafetti, Assessment power generation potential of small hydropower plants using GIS software. Energy Reports, 6, 1393-1404, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.05.023>.
- [49] Y. Zhou, S. Guo, C. Y. Xu, F. J. Chang, H. Chen, P. Liu and B. Ming, Stimulate hydropower output of mega cascade reservoirs using an improved Kidney Algorithm. Journal of Cleaner Production, 244, 118613, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118613>.

