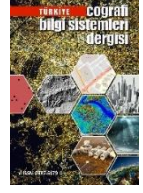




Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN:2687-5179



Rüzgâr enerjisi santral yerlerinin coğrafi bilgi sistemi ve analitik hiyerarşi süreci ile belirlenmesi: Sivas ili örneği

Derya Dilara Köse*¹

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tokat, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS),
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP),
Rüzgâr Enerji Santrali (RES)
Yer Seçimi,
Sürdürülebilir Enerji

Araştırma Makalesi

Geliş: 08/11/2023
Reviz: 21/02/2024
Kabul: 22/03/2024
Yayın: 05/06/2024

Öz

Dünya nüfusunun çoğalması ve gelişen teknolojiye paralel olarak, gün geçtikçe artan elektrik enerjisi kullanımı yeni enerji kaynaklarının keşfedilmesini gerektirmektedir. Ayrıca çevreye daha az zarar veren enerji kaynaklarının önemi de artmaktadır. Rüzgâr enerjisi de sürdürülebilir enerji üretimi için en uygun yöntemlerden birisidir. Rüzgâr santrallerinden en ideal verimin alınması için rüzgâr tribünlerinin konulacağı rüzgâr enerjisi santralleri (RES) yer seçimi oldukça önemlidir. RES yer seçimi çalışması sürecinde, uygun alanların bulunması için birçok konumsal veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yükselti, eğim, rüzgâr hızı, akarsuya uzaklık, karayoluna uzaklık ve elektrik hattına uzaklık gibi faktör haritaları seçilmiştir. Ayrıca fay hattı, heyelan alanları, su kaynakları vd. gibi kısıtlayıcı haritalar hazırlanarak faktör haritaları ile değerlendirilmiştir. Bu faktörlerin önem sıralamasını belirlemek için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) analizlerinden en yaygın kullanımı olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır. Faktörlerin karşılaştırılması uzman kişi ve kurum görüşlerine göre yapılmış ve önem dereceleri hesaplanmıştır. Ayrıca konumsal verilerin yanı sıra, sözel veriler de Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında analizler ile değerlendirilmiştir. Böylelikle Sivas ilinin RES için uygun olan alanların haritası oluşturulmuştur. Bölgede belirlenen RES yerleri ileride yapılacak çalışmalar için yol gösterici olacağı amaçlanmaktadır. Aynı zamanda benzer alanlarda aynı yöntem ile yapılacak çalışmalara ışık tutacak niteliktedir.

Determining wind power plant locations by geographical information system and analytical hierarchy process: a case study in Sivas city, Turkey

Keywords

Geographical Information System (GIS),
Analytical Hierarchy Process (AHP),
Wind Power Plant (WPP),
Site Selection,
Sustainable Energy



Research Article

Received: 08/11/2023
Revised: 21/02/2024
Accepted: 22/03/2024
Published: 05/06/2024

Abstract

In parallel with the increase in the world population and developing technology, the increasing use of electrical energy during the day requires discovering new energy. In addition, the importance of energy sources that are less harmful to the environment is increasing. Wind energy is the most suitable source for sustainable energy production. The selection of the wind power plants where the wind turbines will be placed is very important to get the most ideal efficiency from the wind power plants. The location of the wind farm is required the decision makers for fix area for wind farm and many spatial data. In this study, factor maps such as elevation, slope, wind speed, distance to river, distance to highway and distance to power line were selected. In addition, fault lines, landslide areas, water resources etc. restrictive maps such as were prepared and evaluated together with factor maps. Analytical Hierarchy Process (AHP), which is the most widely used Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, was used to determine the importance ranking of these criteria. The comparison of the criteria was made according to expert opinions and their significance levels were calculated. In addition to geographical and non-geographical data were also analyzed and evaluated on Geographical Information System (GIS) environment. Thus, a map of the areas suitable for the wind farm of Sivas province was created. It is aimed that the location of the wind power plants determined in the region will provide guidance for future studies. At the same time, it will shed light on studies to be carried out using the same method in similar areas.

1. Giriş

Bütün dünya nüfusunda meydana gelen artış sebebi ile enerji kaynaklarına ihtiyaç artmaktadır. Bu bağlamda doğaya zarar vermeden enerji ihtiyacını sağlamak önemli bir faktördür. Haliyle dünyada ve ülkemizde de enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ve aradaki enerji açığının kapatılması için farklı enerji kaynaklarına yönelim meydana gelmiştir (Memduhoğlu vd., 2014). Bu durum ise ortaya yenilenebilir enerji kaynaklarını çıkartmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları güneş, hidrolojik, rüzgâr, hidrojen enerjisidir. Bahsedilen kaynaklar içerisinde çevreye en az zararı olan rüzgâr enerjisiyle üretim yapılmasıdır. (Ekiz vd., 2022). Rüzgâr ile enerji üretmek için bölgede belli şartların sağlanması dışında farklı bir şeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Rüzgârın yoğun ve sürekli olduğu düzlük alanların olması temelde yeterlidir. Bunlar dışında farklı bölgesel şartların sağlanması halinde daha fazla enerji üretilmektedir. Yer yüzüne bakıldığı zaman rüzgâr enerjisi kullanılabilir, dönüştürülebilir en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Ayrıca rüzgâr enerji santrali (RES) sürdürülebilirlik bakımından da en uygun enerji üretimi tekniklerinden birisidir (Şimşek, 2020).

Dünyada birçok ülkenin rüzgâr ile enerji ürettiği bilinmektedir. Sebebi ise her geçen gün nüfusun arttığı ve buna bağlı olarak sanayi vb. enerji ihtiyacı olabilecek birçok faktörü beraberinde getirmesidir. Çin yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr gücü ile dünyada en fazla enerjiyi üretmektedir. Diğer dünya ülkelerine bakıldığında Çin'i Amerika Birleşik Devletleri ile Almanya takip etmektedir. Sıralamada 2022 Haziran verilere göre 10.886MW kurulu güç ile Türkiye 12. sırada geldiği görülmektedir. Yatırımların devlet destekli ve doğru seçilen yerlere yapılması ile rüzgârdan daha fazla enerji üretimi sağlanarak mevcut durumdan daha iyi duruma geleceği düşünülmektedir (Can & Yücel 2019). Ayrıca yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kanunları (YEK) ve gelişen teknoloji ile rüzgâr enerjisi alanında girişimler hızlı bir ilerleme kaydetmeye başlamıştır.

RES'lerin kurulum yerleri için uygun alanların tespiti genellikle Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında çeşitli tekniklerle yapılmaktadır. RES için alanların doğru seçilmesi önemlidir. Yer seçimi analizlerinde rüzgâr hızı, yönü gibi birçok rüzgâr parametresi dışında eğim, yükseklik, enerji hatları vd. gibi faktörler gereklidir. Ayrıca RES olarak kullanılması mümkün olmayan alanlar mevcuttur. Bunlardan bazıları sit alanları, ormanlık alanlar, yerleşim yeri vd. olabilir. Bu faktör ve kısıtlayıcıların doğru seçilip değerlendirilmesi yapılan çalışmalar için en önemli adımlardan birisidir. Bahsedilenlerle alakalı literatürde birçok yayın mevcuttur (Arca & Çitiroğlu 2020; Ekiz vd., 2022; Urfalı & Eymen, 2021), özellikle de Nişancı vd. (2010) kısıtlayıcı haritaların uygun alanların belirlenmesine olan etkisini vurgulamaktadır. Faktör seçimiyle alakalı olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yapılan ve yapım aşamasındaki RES projeleri için raporları bulunmaktadır (ÇŞİB, 2017; RES, 2023).

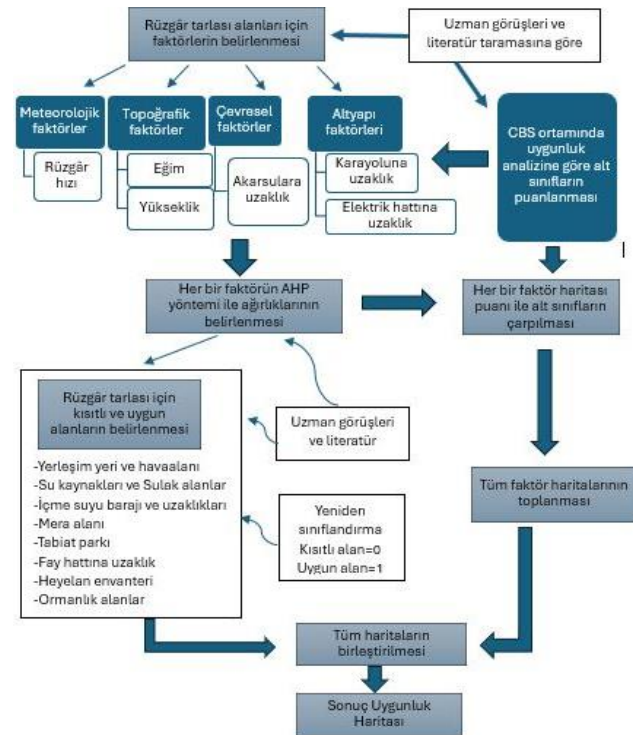
CBS ortamında uygun alanların seçimi için bulanık mantık, Fuzzy Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP), stokastik

Vicor, genetik algoritmaları (GA), Particle Swarm (PSO) gibi birçok yöntem mevcuttur. Özellikle Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemlerinden AHP tercih edildiği incelenen çalışmalarda görülmektedir (Atıcı et al., 2015; Baban & Parry, 2000; Bennui et al., 2007; Ekiz vd., 2022; Memduhoğlu vd., 2014; Nişancı vd., 2010; Özşahin & Kaymaz, 2013; Shorabeh et al., 2022; Şimşek, 2020; Urfalı & Eymen, 2021). Aynı zamanda literatüre bakıldığında Kaya et al. (2023) ÇKKA ile fabrika tesis etmek için uygun alan çalışması, Kharaghani et al. (2022) itfaiye kurulum alanları için uygun yerleri belirlemişlerdir.

Bu çalışma kapsamında CBS ortamında AHP ve uygunluk analizleri kullanılarak Sivas ilinde RES yerleri tespit edilmiştir. Mevcut durum değerlendirilerek yer seçimi için önemli olan faktör ve kısıtlayıcılar incelenmiştir. Ölçütlerin belirlenmesinde literatür taramaları dışında kamu kurumları ve özel sektörden uzmanlarla görüşmeler yapılmıştır. Aynı zamanda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının raporları incelenerek bunların sonucunda faktör ve kısıtlayıcılar belirlenmiştir. RES alanlarına etki eden faktörlerden öncelikli olanları, AHP karşılaştırma matrisleri ile belirlenerek ağırlıkları hesaplanmış. Faktörler, alınan görüşler ve toplanan bilgiler doğrultusunda uygunluk analizine göre, alt sınıfları puanlanarak ağırlıklandırılan faktörler ile işleme sokulmuştur. Kısıtlayıcılar da kendi aralarında değerlendirilmiş ve en son oluşturulan faktör haritaları toplamı ile çarpılarak RES yerleri için uygun alanlar tespit edilmiştir. Sivas ili içerisinde daha önceden yapılan RES'lerin konumlarının, çalışma kapsamında bulunan en uygun yerler ile örtüşüp örtüşmediğinin tespit edilmesiyle doğrulama yapılmış ve bölge için RES'lerin potansiyel alanları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışmada uygulanan yöntem Şekil 1'de gösterilmektedir.

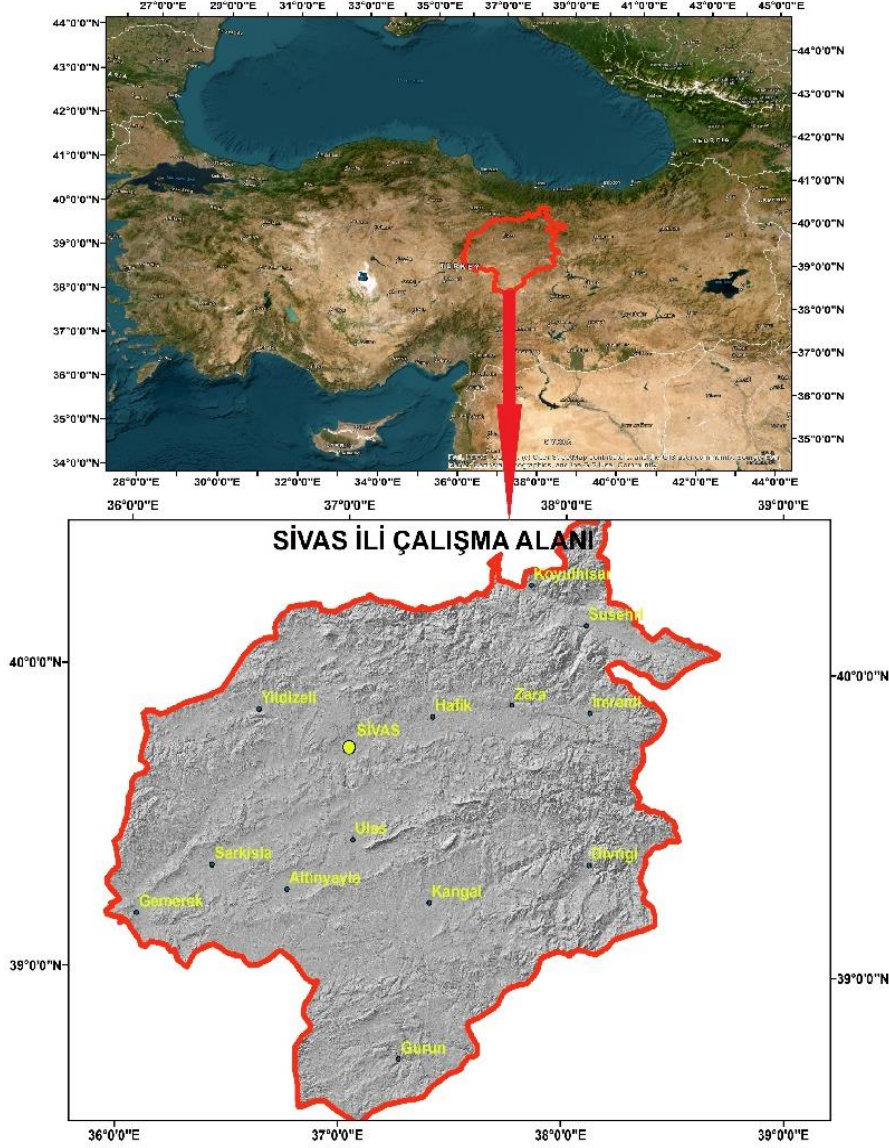


Şekil 1. İş akış şeması

2.1. Çalışma alanı

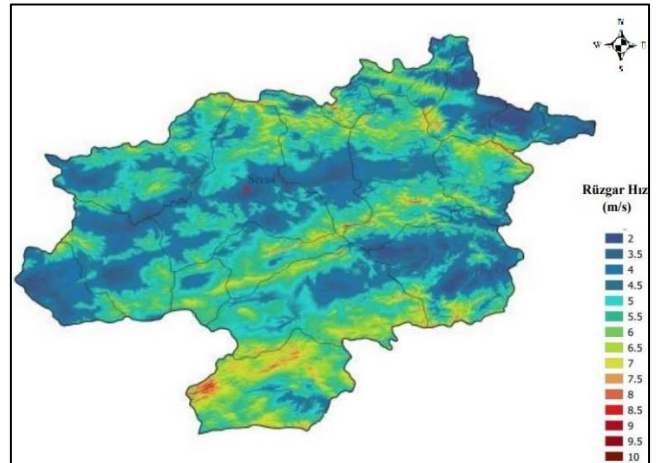
Çalışma alanı (Şekil 2) Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan, bölgenin en eski kentlerinden birisi olan Sivas ili seçilmiştir. Türkiye'nin yüzölçümü bakımından en büyük ikinci ili ve 2022 TÜİK verilerine göre toplam nüfusu 634.924'dür. Sivas ili topraklarının

büyük kısmı İç Anadolu'nun yukarı Kızılırmak bölümünde diğer kısımları ise Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgesinde olup, 35° 50' ve 38° 14' doğu boylamları ile 38° 32' ve 40° 16' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. (KTB, 2000).



Şekil 2. Çalışma alanı

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine bakıldığında Türkiye'de illere göre kurulabilecek RES'lerin alanı 22.834,85 km² toplam kurulu gücü ise 114.174,08 MW'tır (YEGM, 2022). Sivas ili 328.5 km² toplam alan ve 1.642 MW toplam kurulu güç ile 20. sırada bulunmaktadır (TÜREB, 2021). Aynı zamanda bu ilin çalışma alanı olarak kullanılmasının bir diğer sebebi ise RES yer seçiminde; rüzgâr hızının fazla, eğimi az olan, geniş alanlarda enerji üretim potansiyelinin yüksek olduğunun bilinmesidir. Bu sebeple çalışmada Şekil 3'te gösterilen Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlasından (REPA) sağlanan, Sivas ili için 100 metrede yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı haritası da dikkate alınmıştır.



Şekil 3. REPA Sivas ili rüzgâr hızı dağılım haritası (REPA, 2021)

2.2. Verilerin elde edilmesi ve hazırlanması

RES için en uygun yer seçiminin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin yanı sıra belirlenecek parametrelerin etkisi de önemlidir. Etkili olan parametreler iyi bir şekilde seçilirse, üretilecek haritaların, mevcut durumu daha iyi yansıtıcı özellikte olacağı söylenebilir (Mazman, 2005).

Bu çalışmada rüzgâr hızı, eğim, yükseklik, yola uzaklık, elektrik hattına uzaklık ve akarsuya uzaklık olmak üzere toplamda 6 faktör kullanılmıştır (Tablo 1). Kullanılan en önemli faktör rüzgâr hızıdır ve Meteoroloji

verileri bizim için en iyi rehberdir. Türkiye Rüzgâr Atlasına bakıldığında bölgenin saatlik rüzgâr hızının yanı sıra yakın çevre engel bilgisi ve topoğrafyasından rüzgâr hızı tespit edilmektedir. 2017 Aralık ayında Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) alanında kapasitesinin güçlendirilmesi için teknik yardım projesi kapsamında faktör seçimi öneminden şöyle bahsedilmektedir: RES yerlerinin belirlenmesi projelerinde alan seçimi projenin doğası gereğiyle uygun rüzgâr koşullarının olduğu bölgelere göre yapılmalıdır.

Tablo 1. RES alanlarının belirlenmesinde dikkate alınan faktörler

Kod	Faktörler	Veri kaynağı	Verinin kullanım şekli
f1	Rüzgâr Hızı	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	Doğrudan
f2	Eğim	SYM	SYM'den Üretildi
f3	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	USGS EarthExplorer	Doğrudan
f4	Elektrik Hatları	ÇEDAŞ Sivas	Doğrudan
f5	Karayolu	Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü Sivas	Doğrudan
f6	Akarsular	SYM	SYM'den Üretildi

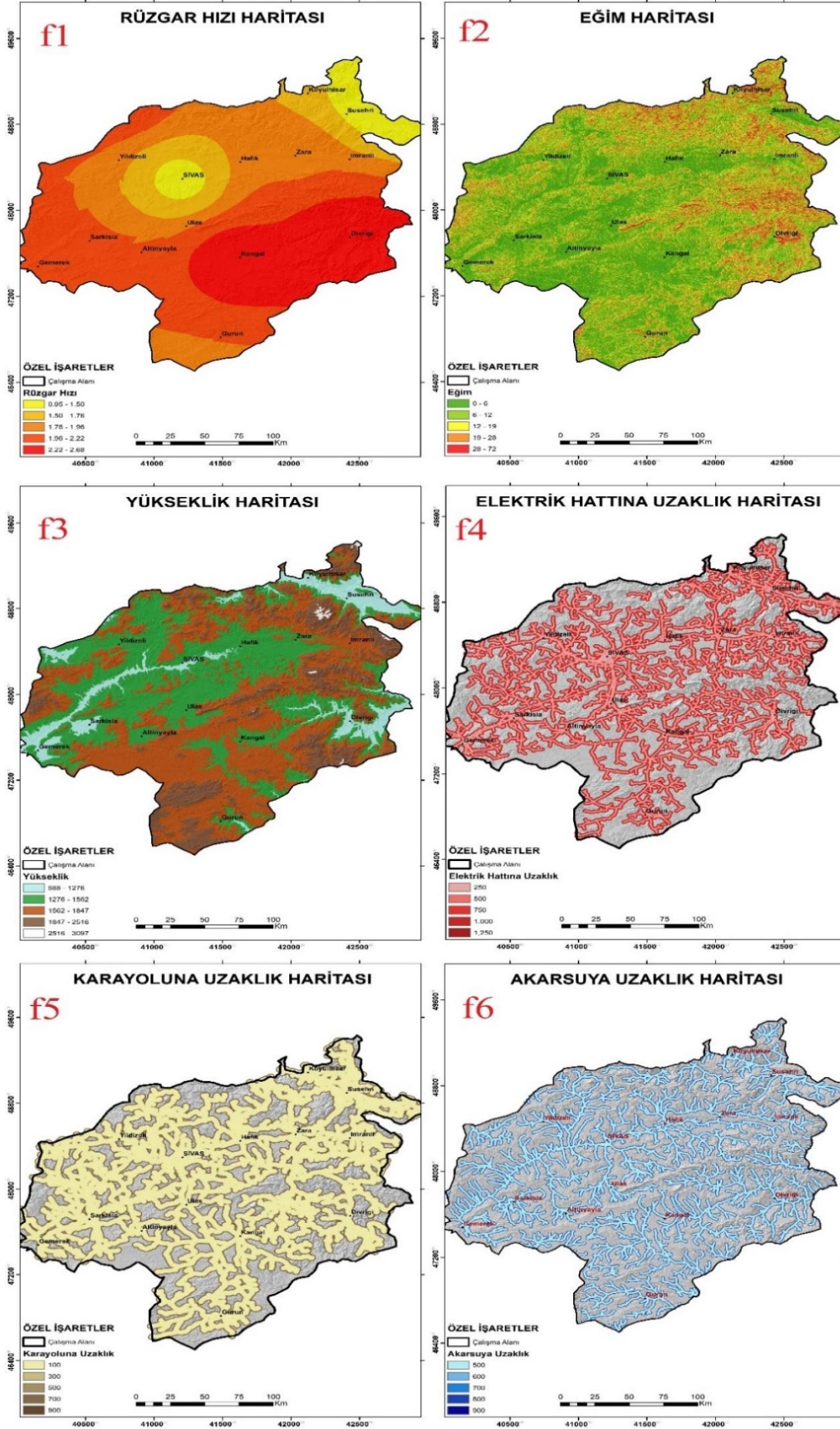
Çevresel koşullarda rüzgâr hızını azaltmayarak tam tersi artırması yönünde destekleyecek faktörlerinde dikkate alınması önem arz etmektedir. Kalan diğer 5 faktör giriş kısmında değinildiği gibi literatür taraması yapılmış ve bunun dışında kamu kurumları ve özel sektörden uzmanlarla görüşmeler sonucunda CBS programlarından birisi olan ArcGIS 10.5'te gerekli analizler ile haritaları üretilmiştir (Şekil 4). Aynı zamanda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının raporları incelenerek bunların sonucunda faktör ve kısıtlayıcılar belirlenmiştir.

Bölgede RES yerleri olarak kullanılamayacak kısıtlayıcılar mevcuttur. Bunlar yerleşim yerine uzaklık,

havaalanına uzaklık, ormanlık alanlar, su kaynakları, sulak alanlar, içme suyu barajları ve belli uzaklıkları, mera alanına uzaklık, tabiat parkına uzaklık, heyelan envanteri ve fay hattına uzaklık olmak üzere 12 kısıtlayıcıdan oluşmaktadır (Tablo2). Belli parametrelere uzaklıklar doğrudan alınırken kalanları ise ArcGIS 10.5 programında tampon bölge analizi uygulanarak gerekli kısıtlayıcı haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5). Kısıtlayıcılar ise literatür dışında kamu kurumları ve özel sektör uzmanları ile görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Bu araştırmalara göre yazılan kısıtlı alanlar ve belirlenen tampon bölgeleri RES yeri olarak kullanılamamaktadır.

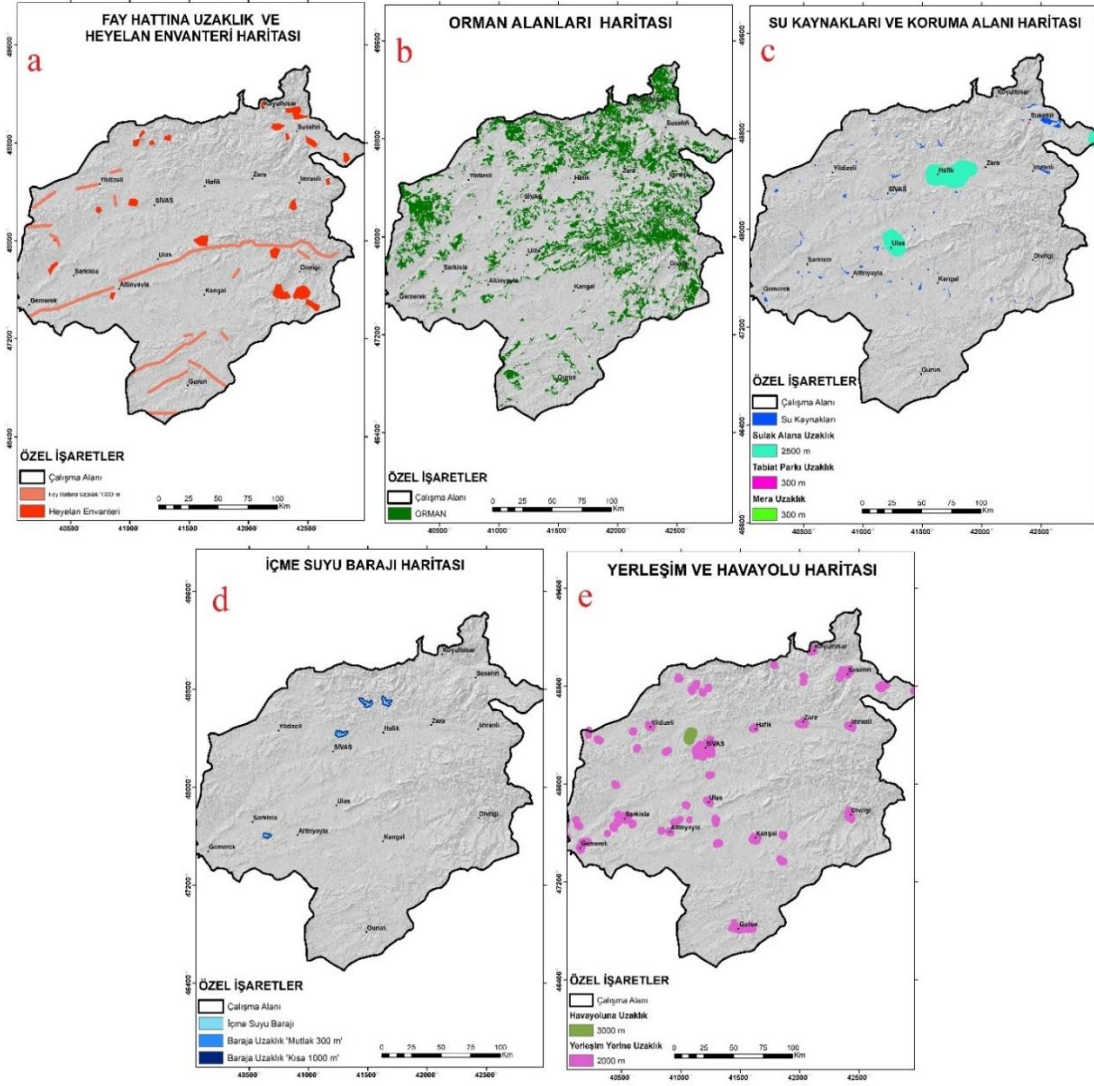
Tablo 2. RES yerlerinin belirlenmesinde dikkate alınan kısıtlayıcılar

Kod	Kısıtlayıcılar	Veri kaynağı	Verinin kullanım şekli	Kısıtlayıcıların uygun olmayan sınıfları
k1	Yerleşim yeri	CORINE 2012	Doğrudan	2 km içerisi
k2	Havaalanı	CORINE 2012	Doğrudan	3 km içerisi
k3	Orman	CORINE 2012	Doğrudan	Doğrudan kendi alanı
k4	Su kaynakları (göl vd.)	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	Doğrudan kendi alanı
k5	Sulak alanlar (korunan göller)	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	2,5 km içerisi
k6	İçme suyu barajı	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	Doğrudan kendi alanı
k7	İçme suyu barajına mutlak uzaklık-300m	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	Doğrudan kendi alanı
k8	İçme suyu barajına kısa uzaklık-1000m	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	Doğrudan kendi alanı
k9	Mera alanı	Sivas Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü	Doğrudan	300 m içerisi
k10	Tabiat parkı	Tarım ve Orman Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü, Sivas Şubesi	Doğrudan	300 m içerisi
k11	Heyelan envanterleri	MTA (Emre vd., 2013)	Sayısallaştırma	Doğrudan kendi alanı
k12	Fay hattı	MTA (Duman vd., 2011)	Sayısallaştırma	1 km içerisi



Şekil 4. 6 adet faktörü içeren haritalar

*f1: rüzgâr hızı, f2: eğim, f3: yükseklik, f4: elektrik hattına uzaklık, f5: karayoluna uzaklık, f6: akarsuya uzaklık



Şekil 5. 12 adet kısıtlayıcı içeren haritalar

*a: fay hattına uzaklık ve heyelan envanteri, b: orman alanları, c: su kaynakları ve koruma alanlarına uzaklık, d: içme suyu barajı ve tampon bölgeleri, e: yerleşim ve havayoluna uzaklık

2.3. Rüzgâr enerjisi santral yerlerinin belirlenmesi

Bu çalışmada Sivas il sınırları içerisinde RES için uygun yerlerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu işlem belirlenen 6 adet faktör ve 12 adet kısıtlayıcının analizi yapılmıştır. İşlemlerin tümünde ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle belirlenen faktör haritalarına ÇKKV yöntemlerinden birisi olan uygunluk analiziyle değerlendirilerek puanlanmıştır. Faktörlerin alt sınıfları yapılan çalışmaya etki etme oranına göre belli puanlar verilerek yeniden sınıflandırılmaktadır.

Bu faktörler doğrultusunda toplam uygunluklar çalışma alanları karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Sonrasında her bir faktör haritası için ikili karşılaştırma matrisi kurularak belirlenecek alana ne kadar etki edeceği hesaplanmaktadır. Alkay vd. (2014) kitabında uygunluk analizini ve yine ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP'yi detaylı olarak anlatmaktadır. Literatürde bu yöntemleri kullanan ve detaylı anlatan birçok çalışma mevcut olup bunlardan bazıları; Arca & Çitiroğlu (2020), Baban & Parry (2000), Ekiz vd. (2022), Tütek vd. (2012)'dir. Uygunluk analizi ile faktör haritalarının alt sınıfları puanlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Faktör haritaları alt sınıfları ve puanlamaları

Kod	Faktörler	Alt sınıfları ve puanları					
f1	Rüzgâr Hızı(m/s)	(0.96-1.50)0	(1.50-1.77)10	(1.77-1.96)50	(1.96-2.23)80	(2.23-2.69)100	
f2	Eğim (%)	(0-6.81)100	(6.81-12.73)80	(12.73-19.85)50	(19.82-28.93)30	(28.93-72.32)10	
f3	Yükseklik(m)	(588-1276)10	(1276-1562)30	(1562-1847)100	(1842-2516)90	(2516-3097)20	
f4	Elektrik Hattına uzaklık(m)	(250)100	(500)80	(750)60	(1000)40	(1250)20	
f5	Karayoluna uzaklık(m)	(100)0	(300)100	(500)90	(700)50	(900)30	
f6	Akarsulara uzaklık(m)	(500)0	(600)20	(700)30	(800)50	(900)20	

Verilen puanlarla karar aşamasında literatürden faydalandığı kadar, karar verme süreçleri ile ilgilenen plancılar, alanında uzman olan meslek ve bilim insanları,

bu gibi işlemleri arazide uygulayan kamu ve özel sektörlerin görüş ve bilgilerinin yorumlanması ve sınıflandırılması da analitik ve güvenilir değerlendirme

sağlamaktadır. Bu ölçütlerin tümüne dikkat ederek faktör haritalarının alt sınıflarına puanlar verilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere '0' olarak puanlanan sınıflar RES olarak kullanılmaması gereken yerlerdir. Yine yüzdelik olarak en uygun hangi sınıf ise ona en yüksek puan değeri verilmiştir.

Bu faktörlerin işleme etki etme oranlarına göre sıralanarak ağırlık değerlerinin belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. CBS uygulamaları içerisinde fiziksel ve sosyal olguların birlikte ölçülmesini mümkün hale getiren ve bu bağlamda en yaygın kullanılan tekniktir (Saaty & Vargas., 2001). AHP sözel gözlemlere ve yorumlara dayanarak hızlı bir şekilde soruna odaklanması, faktörler arasında baskın ve öncelikli olanı bilmeye imkân vermesi, problemi ve içerisindeki tüm parametreleri beraber düşünerek irdelemesi gibi avantajlarından çok tercih edilen bir yöntemdir (Ekiz vd., 2022; Güler, 2016; Saaty, 1994). Çalışma yapılırken bölgedeki uzman kişilerin gözlemleri dikkate alınmalıdır. Bu gözlemler çoğu kez sahanın seçilmesi veya seçilmemesi yönünde hayati önem taşımaktadır, görüşlere ve çevre şartlarına bakılmadan yapılan seçimler Türkiye koşullarında çok yanıltıcı olabilmektedir. AHP tekniği de bunların tümünü içerdiği için yaygın kullanılmaktadır.

Burada AHP yöntemine göre faktörlerin hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur. İlk olarak her bir faktörün ağırlığının hesaplanması için faydalanılan bilgiler dahilinde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Ölçütlerin birbirine göre önemleri 1 ile 9 arasında puanlanarak matrisler oluşturulmuştur. Burada gerekli ikili karşılaştırma matrisleri çözümlenerek faktörlerin ağırlık değerleri belirlenmiştir (Tablo 4).

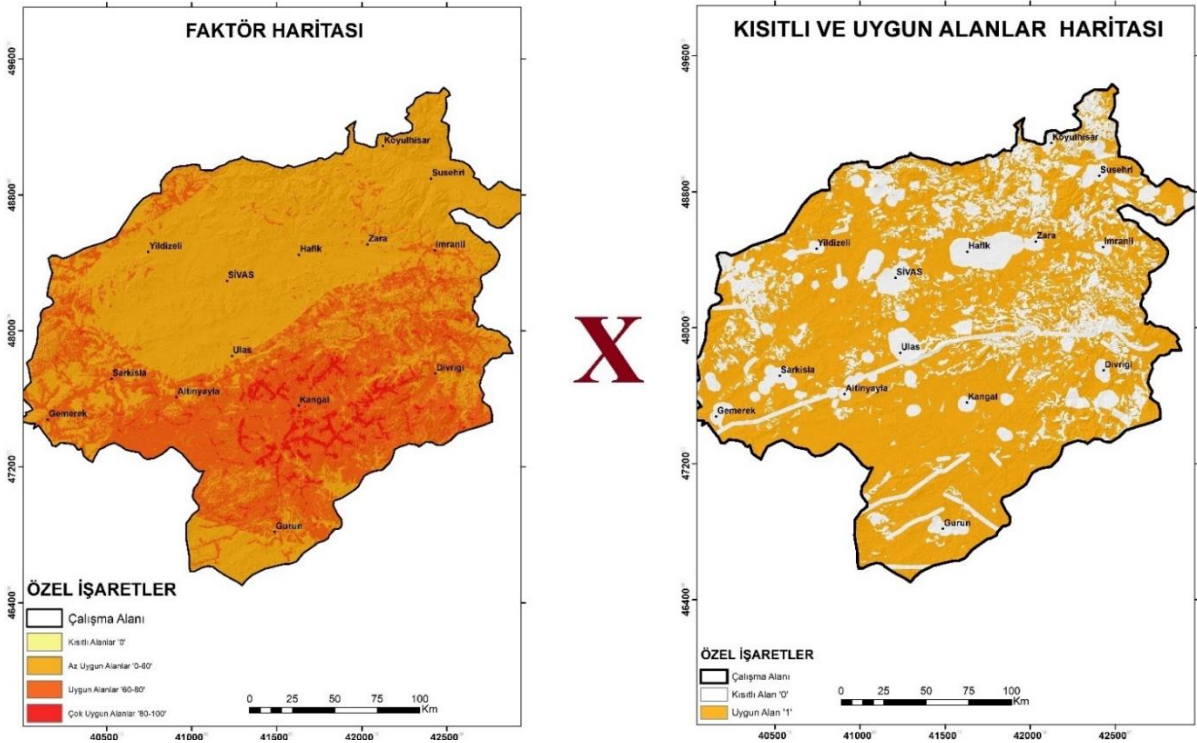
Tablo 4. AHP yöntemi ile hesaplanan faktör ağırlıkları

Kod	Faktörler	Ağırlık
f1	Rüzgâr Hızı	0.45
f2	Eğim	0.20
f3	Yükseklik	0.14
f4	Elektrik Hattına uzaklık	0.13
f5	Karayoluna uzaklık	0.05
f6	Akarsulara uzaklık	0.03

Faktör ağırlıklarının sayısal değerlerinin doğruluk hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan matris kendi içerisinde değerlendirilerek işlemler yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda tutarlılık göstergesi olan (Consistency Index, CI) 0.042729 ve CI kullanılarak bulunan tutarlılık oranı (Consistency Ratio, CR) 0.034459 bulunmuştur. Bulunan CR değeri 0.10'dan küçük ise yapılan ikili karşılaştırma matrisi tutarlı kabul edilir. Eğer büyük ise yapılan matris tutarsızdır (Alkay vd., 2014; Öztürk & Kılıç, 2010). Burada 0.034459 olarak hesaplanan CR değeri 0.1'den küçük olduğu için uygun kabul edilmiştir.

Her bir faktörün hesaplanan ağırlık değerleri ile alt sınıfları puanlanarak yeniden üretilmiş faktör haritaları ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak çarpılmıştır. Sonrasında 6 adet yeniden üretilmiş olan faktör haritaları toplanmış ve toplam faktör haritası üretilmiştir (Şekil 6).

Bu faktör haritası içerisinde kısıtlı alanlar da mevcuttur. Kendi aralarında çarpılarak kısıtlı ve uygun alanlar haritası üretilmiştir (Şekil 6). İşlemlerin tümü ArcGIS 10.5 CBS programı içerisinde bulunan reclassify, Weighted Overlay, Euclidean Distance, Calculator vd. analizleri ile yapılmıştır.



Şekil 6. Toplanan faktör haritaları ile çarpılan kısıtlı alan haritaları sonucu

3. Bulgular ve tartışma

RES yerlerinin belirlenmesi kapsamında faktörler ve kısıtlayıcılar değerlendirilmiştir. Yapılan analizler ile

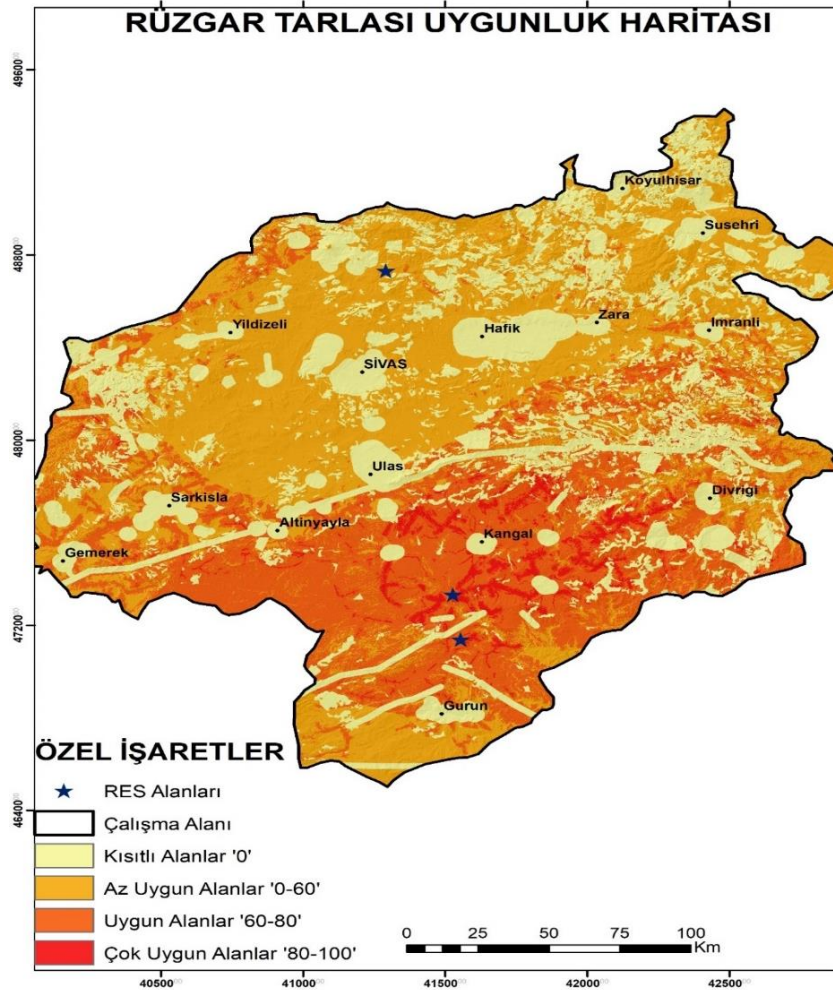
haritaları üretilerek hesaplamalar yapılmıştır. Son olarak toplam faktör haritası ile kısıtlı ve uygun alanlar haritaları çarpılarak RES alanı uygunluk haritası üretilmiştir (Şekil 7). Üretilen haritaya bakıldığı zaman

rüzgâr hızı verisinin önemi görülmektedir. Rüzgâr hızının fazla olduğu alanlar en uygun alanlar olarak sonuç ürün üretilmiştir. Veriler istasyon bazlı olarak T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından temin edilip kullanılabilir gibi yine aynı bakanlıktan REPA üzerinden sayısalılaştırılarak da elde edilebilir. Sonuç olarak burada da görülür ki en önemli faktör rüzgâr hızıdır. Bu bilgi Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB)'nin yayınladığı raporla desteklenmektedir. Yapılan çalışmada Sivas il merkezinde bulunan istasyonların verileri temin edilerek kullanılmıştır.

Kullanılan tüm faktörler ve faktörlerin alt sınıflarına verilen puanlamaları sonuç harita ile değerlendirilince incelenen literatür, dikkate alınan uzman görüşlerini destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Aynı zamanda kullanılan kısıtlayıcılarla ilgili yapılan araştırma sonucuna uygun harita üretilmiştir. Üretilen RES alanları uygunluk haritası 4 alt sınıfa ayrılarak puanlama ile gösterilmiştir. Alt sınıflar '0' puan ile Kısıtlı alan, '0 ve 60' puan arası az uygun alan, '60 ile 80' puan arası Uygun alan '80 ve 100' puan arası çok uygun alanlardır. Çalışma kapsamında RES kurulabilecek alanlar tespit edilmiştir ve mevcutta bulunan RES'ler harita üzerinde gösterilmiştir. TÜREB (2021), raporunda Sivas'ta bulunan 3 adet RES alanının biri Kangal, biri Gürün ilçelerinde olup çok uygun alan sınıfı içerisinde. Diğer mevcut RES ise Sivas merkez, Çelttek mevki Karacaayır bucağında ve uygun alan sınıfı içerisinde. Görüldüğü üzere kullanılan ve enerji üretilen RES alanları harita üzerinde uygun yerlerdedir. Sivas'ta şu an bulunan 3

adet RES toplamda; 150 MWe kurulu gücü ile ortalama 82.817 kişiye düşen tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Kurulu olan bu alanlar genişletilerek rüzgâr türbini eklenebilir veya haritada görülen diğer uygun alanlara RES kurularak şehrin elektrik enerjisi ihtiyacı daha fazla karşılanabilir. Bu durum hem yapılan çalışmayı hem de öncesinde kurulmuş olan RES alanlarının doğruluğunu sağlar niteliktedir.

RES alanları uygunluk haritası üretilmiş ve Tablo 5 de uygunluk sınıflarının tablosu verilmektedir. Buna göre Sivas ili yüz ölçümünün %28,74'ü (8449.2675) kısıtlı alan olarak çıkmış ve bu bölgelerde RES yapılması uygun değildir, %41,16 (12057.6938) oranla az uygun alanlar, %47,47 (8019.0108) oranla uygun alan takip ederken son olarak %2,63 (767.7432) oranla çok uygun alan bulunmuştur. Deđerlere ve haritaya bakılınca en fazla oran az uygun alana rastlarken çok uygun alan en son sıradadır. Fakat bu iki alanda da mevcut RES alanları bulunmaktadır. Hatta oranı en az olan alan içerisinde 2 adet mevcut RES yeri bulunması önemlidir. Bakılınca bu alan en çok Kangal ve Gürün ilçelerine yakın yerlerdedir. Sonrasında tesis edilecek RES alanları da bu bölgelerde olması için çalışma rehber niteliği taşımaktadır. Sivas ili birçok açıdan değerlendirilince büyük yüz ölçümü ve buna göre rüzgâr ile çevre şartları da göz önüne alınınca rüzgâr enerjisi üretmek için kullanılacak alanlardan birisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ileride belirlenecek RES yer seçimi çalışmalarına yol gösterici olacaktır.



Şekil 7. Sivas ili RES alanı uygunluk haritası

Tablo 5. RES alanları için uygunluk sınıflarının dağılımı

Alt sınıf	Alan (km ²)	Oran (%)
Kısıtlı Alan '0'	8449.2675	28.74
Az Uygun Alan '0-60'	12057.6934	41.16
Uygun Alan '60-80'	8019.0108	27.47
Çok Uygun Alan '80-100'	767.7432	2.63

4. Sonuçlar

Bu çalışmada RES yerlerinin belirlenmesi için çeşitli işlemler yapılarak faktör ve kısıtlayıcılar belirlenerek uygunluk haritaları elde edilmiş, AHP yöntemi ile kullanılan faktörler ağırlıklandırılmış ve sonuçta Sivas ili RES alanı uygunluk haritası elde edilmiştir. Faktörler ve alt sınıfları üretilip, kısıtlayıcılar veya sınıflandırmalar yapılarak farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. RES alanlarını belirlemek için kullanılması gereken faktörlerle ilgili ülkemizde bir yönetmelik bulunmamaktadır. Konunun uzmanları olan kamu kurum ve özel sektörlerden edinilen bilgiler sonucunda, birçok faktörün etkisinin bulunduğu bir projede, keskin sınırlar belirleyebilmenin mümkün olmadığı öğrenilmiştir. Aynı zamanda mevcut RES alanları ile üretilen harita karşılaştırıldığında uygun alan olarak belirlenmiş yerlerde çıkmıştır.

Sivas ili kapsamında rüzgâr enerjisi için var olan bu potansiyelin yanı sıra il yüz ölçümünün de dikkate alınarak, ekonomik ve verimli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışma ile RES alanlarının belirlenmesinde, doğru projelerin hayata geçirilmesi için CBS ortamında uygunluk analizi ve AHP yöntemiyle uygun alanların bulunmasıyla literatüre katkı sağlamıştır. Ayrıca benzer alanlar için aynı yöntem, faktör ve kısıtlayıcıların kullanılabilirliğini göstermekte olup, üretilen harita da gelecekte yapılacak RES projelerine yol gösterici olacaktır.

Bilgilendirme / Teşekkür

Bu çalışmanın özeti TUFUAB XII. Teknik Sempozyumu'nda sunulmuştur. Çalışmam süresince, değerli zamanını ayırıp beni motive eden, yol gösteren ve her konuda destek sağlayan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Tarık TÜRK ve Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazar tarafından hazırlanmıştır

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynakça

Alkay, E., Akgün, A., Kerimoğlu, E., Koramaz, T., Kunday, S., Okumuş, G., & Özçevik, Ö. (2014). *Şehir*

planlamada analiz ve değerlendirme teknikleri. Literatür Yayıncılık.

- Arca, D., & Çıtıröğlü, H. K. (2020). Rüzgâr enerjisi santral (RES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Yenice İlçesi (Karabük) örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2), 168 - 176. <https://doi.org/10.7212/zkufbd.v10i2.1602>
- Atıcı, K. B., Şimşek, A. B., Ulucan, A., & Tosun M. U. (2015). A GIS-based multiple criteria decision analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.06.001>
- Baban, S. M. J., & Parry, T. (2000). Developing and Applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in The UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00169-5)
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007, May 10-11). *Site Selection for large wind turbine using GIS* [Conference presentation]. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007, Phuket, Thailiand.
- Can, G., & Yücel, M. A. (2019, Nisan 25-27). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak rüzgâr enerji santralleri için yer tespiti* [Sempozyum sunumu]. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- CLC. (2012). *CORINE Land Cover*. Erişildi 01 Mayıs 2023, <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
- ÇŞİB. (2017). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED alanında kapasitesinin güçlendirilmesi için teknik yardım projesi, rüzgâr enerji santralleri*. Erişildi 1 Mayıs, 2023, <https://ced.csb.gov.tr/cevresel-etki-degerlendirme-ced-kapasitesinin-guclendirilmesi-icin-teknik-yardim-projesi-i-82696>
- Duman, T. Y., Çan, T., & Emre, Ö. (2011). *1/1.500.000 ölçekli Türkiye heyelan envanteri haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-27.
- Ekiz, S., Şirin, A., & Erenner, A. (2022). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9 (1), 59-79. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0005.T>
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye diri fay haritası (Ölçek 1:1.250.000)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi-30.
- Güler, D. (2016). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile alternatif katı atık düzenli depolama alanı yer seçimi: İstanbul ili örneği* (Yayın No. 455361) [Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Kaya, I., Karaşan, A., Güvercin, Ö., İlbahar, E., & Baraçlı, H. (2023). Appraisal of smart factory design for advance manufacturing plants based on transition strategies by using an integrated fuzzy decision-making methodology. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(8), 1153-

1177.

<https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2177735>

Kharaghani, H., Etemadfard, H., & Salem Rafush, A. (2022). Allocation of fire stations by hybrid method (case study: Mashhad). *Urban Management Studies*, 13(48), 55-67.

<https://doi.org/10.30495/ums.2022.19616>

KTB. (2000). *T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı*. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://sivas.ktb.gov.tr/TR-76023/genel-bilgiler.html>

Mazman, T. (2005). *Coğrafi bilgi sistemleri ve istatistiksel analiz teknikleri ile Kumluca Havzası (gd Bartın) heyelan duyarlılık değerlendirmesi* (Yayın No. 197986) [Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., & Kılıç, F. (2014, Ekim 14). *Rüzgâr türbini kurulacak alanların CBS çok ölçütlü karar analizi kullanılarak belirlenmesi Davutpaşa Kampüsü* [Sempozyum sunumu]. 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.

Nişancı, R., Yıldırım, V., & Özçelik, A. E., (2010, Ekim 11-13). *Rüzgâr enerjisi üretim alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Trabzon İli örneği* [Sempozyum sunumu]. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZALCBS'2010), Kocaeli, Türkiye.

Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) Yapım yeri seçimi üzerine bir CBS analizi: Hatay örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.

Öztürk, D., & Kılıç, F. (2010). Konumsal karar verme problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.

REPA. (2021). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası*. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>

RES. (2023). *Rüzgâr Enerji Santralleri. Çevre Etkileri ve Projelerin Değerlendirmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Temel Hususlar Raporu*. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/>

[R%C3%83%C5%93ZG%C3%83%E2%80%9A%20ENERJ%C3%84%C2%B0%20SANTRALLER%C3%84%C2%B0.pdf](https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2177735)

Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19-43. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 28, 124-137. <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

Saaty, T. L., Vargas, L. G., Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). The decision by the US congress on China's trade status: a multicriteria analysis. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, 305-317. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1_22

Shorabeh, N. S., Firozjaei, H. K., Firozjaei, M. K., Jelokhani-Niaraki, M., Homaei, M., & Nematollahi, O., (2022). The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112778. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112778>

Şimşek, G. (2020). *Modelling site selection process for wind power plants through free and open source GIS* (Yayın No. 633621). [Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi], YÖK Ulusal Tez Merkezi.

TÜREB. (2021). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2021*. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://tureb.com.tr/lib/uploads/55081baf3b9a1091.pdf>

Tütek, H., Gümüsoğlu, Ş., & Özdemir, A. (2012). *Sayısal yöntemler: Yönetmelik yaklaşım*. Beta Basın Yayın Dağıtım.

Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri ili örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik Dergisi*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>

USGS. (2023). *USGS EarthExplorer*. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://earthexplorer.usgs.gov/>

YEGM. (2022). *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Sivas İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri*. YEGM. Erişildi 1 Mayıs 2023, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>