



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kırşehir il sınırları içerisinde Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) kurulumu için uygun sahaların mekânsal olarak belirlenmesi

Mehmet Seren KORKMAZ ^{a*}, Nur ÖZTÜRK ^a, Soner HARNUBOĞLU ^b

^a Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Samsun Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

^b ÜÇYEL ENERJİ Mühendislik ve Danışmanlık Hizmetleri San. Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetkorkmaz@samsun.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.29130/dubited.1181883>

ÖZ

Bu çalışmada; Kırşehir il sınırları içerisinde rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumu için uygun sahaların mekânsal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, uygun sahaların tespit edilebilmesi için 15 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; rüzgâr hızı, güç yoğunluğu, yükseklik, eğim, pürüzlülük, arazi kullanımı, litoloji, enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık, korunan alanlara uzaklık, kuş göç yolları, yerleşim alanlarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsulara uzaklıktır. Belirlenen kriterlerin değerlendirilebilmesi için gerekli coğrafi veriler, ilgili kuruluşlardan temin edilmiştir. Bu kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyebilmek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminden yararlanılmıştır. Kriterlerin önem dereceleri belirlenirken literatür taramasından faydalanılmıştır. Her kriter için çalışma sahasını kapsayacak mekânsal katmanlar oluşturulmuştur. Hesaplanan önem derecelerine göre 15 katman, ağırlıklı çakıştırma yapılarak uygunluk sınıflarına göre Kırşehir ili için RES uygunluk haritası oluşturulmuştur. Son olarak Kırşehir il sınırları içerisinde kurulu olan bir adet RES'in (GEYCEK RES) de kurulum için "çok uygun" sınıftaki sahada olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırşehir, Rüzgâr Enerjisi, CBS, Analitik Hiyerarşi Süreci, Mekânsal Analiz

Spatial determination of suitable installation sites of Wind Power Plants (WPPs) within the provincial borders of Kırşehir

ABSTRACT

It is aimed to determine the suitable sites for the installation of a Wind Power Plant (WPP) within the provincial borders of Kırşehir spatially in this study. For this goal, 15 criteria have been chosen in order to determine suitable sites. Criteria for determining suitable sites can be sorted as wind speed, power density, elevation, slope, roughness, land use, lithology, distance to power transmission lines, distance to transform centers, distance to roads, distance to protected areas, bird migration routes, distance to settlement areas, distance to fault lines and distance to rivers. The necessary geographical data for the evaluation of the determined criteria were obtained from the relevant institutions. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used to determine the importance levels of the criteria relative to each other. While calculating the weight values of the criteria, a literature review is made and these researches have been considered. The layers has been created for each criterion. WPP suitability map for Kırşehir province is created by making 15 layers, weighted overlays according to the calculated importance levels. Finally, it has been determined that one WPP (GEYCEK WPP) established within the provincial borders of Kırşehir is also in 'very suitable' areas of the study.

Keywords: Kırşehir, Wind Power, GIS, Analytical Hierarchy Process, Spatial Analysis

I. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsurudur [1]. 1850’li yıllarda başlayan sanayi devriminden itibaren artan enerji ihtiyacını karşılamada en başta fosil yakıt kullanımı gelmektedir [2]. Artan nüfus, küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği ve fosil yakıtların geri dönüşsüz olarak azalıyor olması, insanlığı tükenmeyen enerji kaynakları arayışına yönlendirmiş ve yenilenebilir enerji kullanımını neredeyse zorunlu hâle getirmiştir [3].

Rüzgâr, güneş, su, dalga, gelgit, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının, artan enerji ihtiyacını karşılaması ve yine yenilenebilir enerji kaynaklarının veriminin artırılması için yenilikçi teknolojiler geliştirmek üzere çalışmalar sürmektedir [3]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi; ticari kârlılık ve teknolojik gelişmişlik bakımından en yaygın kullanılan enerji çeşididir [4]. Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi, karbon salınımı yapmamasından dolayı hava kirliliğine sebep olmamaktadır [5].

Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kurulmadan önceki fizibilite çalışmaları çok önemlidir. Türbin yerlerinin belirlenmesi için uygun saha seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanımı, zaman tasarrufu ve ekonomik fayda sağlamaktadır [6]. Hataların bilgisayar tarafından düzeltilmesi, verilerin düzenli şekilde saklanması, verilere kolay bir şekilde ulaşılması ve çözümlenip kolaylıkla yorumlanabilmesi, CBS’nin RES kurulumu için uygun saha seçimindeki kullanım avantajlarından [7]. Bununla beraber, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ve uygun “adayın” seçilmesi probleminde en çok başvurulan yöntemler, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir [8]. ÇKKV yöntemlerinden en yaygın kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi; kriterlere ait elde edilen verileri hem kendi içerisinde hem de kriterlerin kendi aralarında hiyerarşik bir şekilde ağırlıklandırılması esasına dayanır. Bu şekilde çok sayıda kriterin ağırlıklarına dayalı olarak çözüm elde etmek amaçlanmaktadır [8].

Yapılan çalışmalara bakıldığında; Özşahin ve Kaymaz, Hatay ilinde RES kurulumuna uygun sahaları belirlemek amacıyla 15 kriter belirlemişlerdir. Bu kriterler sırasıyla; rüzgâr hız dağılımı, güç yoğunluğu, kapasite faktörü dağılımı, pürüzlülük, enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezlerine uzaklık, litoloji, fay hatlarına uzaklık, yer şekilleri, eğim, bakı, akarsulara uzaklık, arazi kullanımı ve yollara uzaklıktır. Araştırmacılar, ÇKKV yöntemlerinden AHS ile kriterlerin etki sınıfına göre etki değerleri belirlenmiş ve kriterler ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılan kriterler mekânsal olarak CBS ortamına aktarılmış ve Hatay ili için RES kurulumu uygunluk haritası oluşturulmuştur [9].

Sedici; çalışmasını İzmir ili sınırlarında yer alan Karaburun Yarımadası için yapmıştır. Çalışmada 8 kriter belirlenmiştir. Bunlar; rüzgâr potansiyeli, koruma alanlarına uzaklık, yerleşim yerine uzaklık, orman, eğim, yükseklik, yollara uzaklık ve tarım alanıdır. Belirlenen kriterler AHS yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve CBS ortamına aktarılmıştır. Bunun sonucunda ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) ile Karaburun Yarımadası için RES kurulumu uygun saha haritası çıkarılmıştır [6].

Can ve Yücel; Çanakkale ilinde RES projeleri için AHS kullanılarak uygun sahaların belirlenmesini hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda 6 kriter belirlenmiş olup kriterler ikili karşılaştırma matrisi ile karşılaştırılmış ve ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında Çanakkale ili için RES uygunluk haritası CBS ortamında mekânsal olarak üretilmiştir. Ormanlık alanlar dahil edildiğinde ildeki kullanılabilir alanların %88’inin rüzgâr türbini kurulumuna uygun olduğu görülmüştür [10].

Arca ve Çıtıröglü; Karabük ilinin Yenice ilçesi için uygun RES yapım yeri seçimi analizi yapmıştır. Bunun için ÇKKV yöntemlerinden AHS’yi kullanmışlardır. Çalışmada 10 kriter belirlenmiş olup kriterler ikili karşılaştırma yöntemleriyle ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra çalışma sahası olan Yenice için RES uygunluk haritası elde edilmiştir [11].

Artun; çalışmasını Osmaniye ili için yapmıştır. 6 kriter belirlemiş, belirlenen kriterleri ÇKKV yöntemlerinden AHS ile ağırlıklandırmış ve üretilen RES uygunluk haritasına göre Osmaniye ilinin %14.30’unun RES kurulumu için uygun olduğunu belirlemiştir [12].

Aydiner; ÇKKV yöntemlerinden AHS'yi Ege Denizi'nde rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin yer seçimi için kullanmıştır. Yer seçim kriterleri olarak; rüzgâr hızı, belirgin dalga yüksekliği, deniz derinliği, deniz tabanı çökel tipleri, kıyıya uzaklık, limanlara uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık seçilmiştir. Kriterlere ait mekânsal veriler ilgili kuruluşlardan alınmış, kriterlerin ağırlıklarına göre dalga ve rüzgâr enerjisi için mekânsal uygunluk haritası oluşturulmuştur [13].

Urfalı ve Eymen; Kayseri ilinde RES için uygun arazilerin belirlenebilmesinde ÇKKV yöntemlerinden AHS'yi kullanmıştır. RES kurulumu için 12 kriter belirlenmiştir. Kriterlerden rüzgâr hızı, %23 ağırlık oranı ile hiyerarşik olarak en önemli kriter olmuş, ardından %17 ile rüzgâr kapasitesi ve %14 ile yükseklik kriterleri takip etmiştir. Belirlenen 12 kriter, kendi içerisinde 6 alt kritere ayrılmış olup her bir alt kriterin değer aralıkları hesaplanmıştır. Üretilen mekânsal veriler kullanılarak CBS ortamında Kayseri ili için RES kurulumuna uygun sahaları gösteren uygunluk haritası elde edilmiştir. Çalışmaya göre, Kayseri ilinde rüzgar enerjisi kurulumu için en uygun ilçeler Yahyalı ve Pınarbaşı ilçeleridir. Elde edilen uygunluk haritası, Rüzgar Enerji Potansiyeli Atlası (REPA) ile karşılaştırılınca sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür [14].

Ekiz ve ark.; Kocaeli ili için RES mekânsal analizlerinde CBS'yi kullanmışlardır. Çalışmada 13 kriter belirlenmiş, kriterler kendi içlerinde 6 alt sınıfa ayrılmıştır. Kriterlerin önem dereceleri 2 şekilde analiz edilmiştir. İlk olarak kriterler ÇKKV yöntemlerinden AHS ile ağırlıklandırılmış ve *ArcGIS for Desktop* analiz edilmiştir. Diğer analiz şeklinde ise 13 kriter eşit ağırlıklandırılmış ve yine CBS araçları kullanılarak CBS ortamında analiz edilmiş ve Kocaeli için mekânsal uygunluk haritası oluşturulmuştur [15].

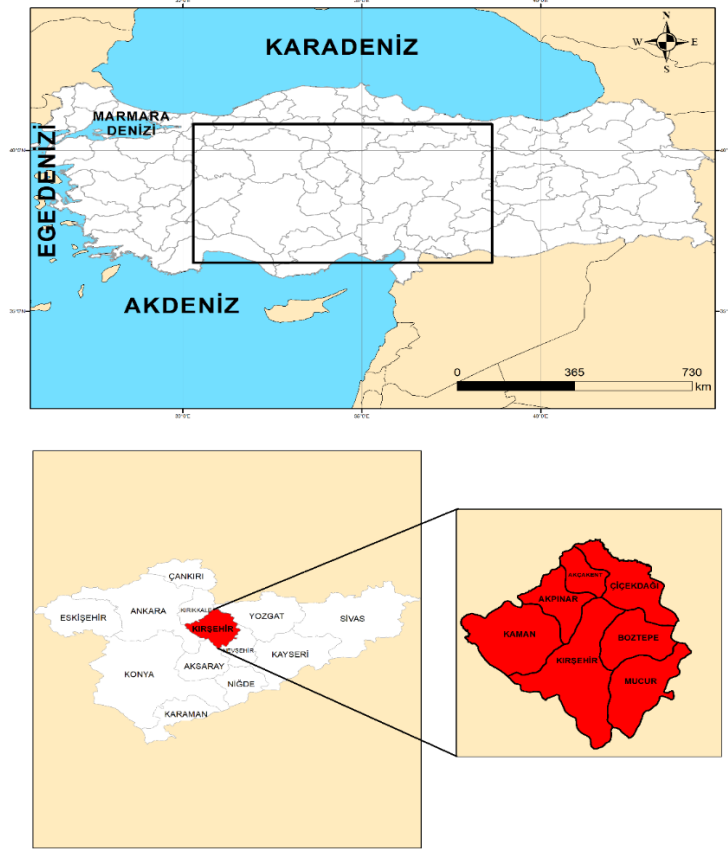
Görüldüğü gibi RES kurulumu için uygun saha seçiminde, farklı araştırmacılar tarafından çok sayıda kriter kullanılmaktadır. Bu çalışmada da RES kurulumu için uygun sahalara için kriterler belirlenirken yukarıda bahsedilen daha önceki çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kırşehir ili sınırları içerisinde RES kurulumu için uygun sahalara tespit edilerek enerji yatırımı çalışmalarına yardımcı olmaktır. Çalışma alanı olan Kırşehir ilinde RES kurulumu için uygun sahalara belirlenirken 15 kriter belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; rüzgâr hızı, rüzgar güç yoğunluğu, yükseklik, eğim, pürüzlülük, arazi kullanımı, litoloji, enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık, korunan alanlara uzaklık, kuş göç yolları, yerleşim alanlarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsulara uzaklıktır. Bu kriterlere ait mekânsal katmanlar yardımıyla Kırşehir il geneli için RES uygunluk sahalara çeşitli uygunluk sahalara göre belirlenmiştir. Son olarak da mevcutta il sınırlarında işletilmekte olan tek kurulu RES olan "Geycek RES" in de uygunluk haritasında 'çok uygun' olarak sınıflandırılan bir bölgede tesis edildiği görülmüştür.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmadaki çalışma alanı Kırşehir ilidir (**Şekil 1**). İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Kırşehir ilinin yüz ölçümü 6530 km²'dir [16]. Kırşehir'in yüksek çözünürlüklü sayısal yükselti modeli yardımı ile hesaplanan il geneli ortalama yüksekliği, 1146 metredir. Kırşehir'in en yüksek noktası, 1707 metre yüksekliğindeki Kervansaray Dağı'dır [17]. Kırşehir'de 2013 yılında kurulan *Geycek RES*, Mucur ilçesindedir ve 70 türbini ile 116000 kişinin yıllık elektrik tüketimini karşılamaktadır [18].



Şekil 1. Çalışma sahası lokasyon haritası

B. KULLANILAN VERİLER VE YAZILIM ARAÇLARI

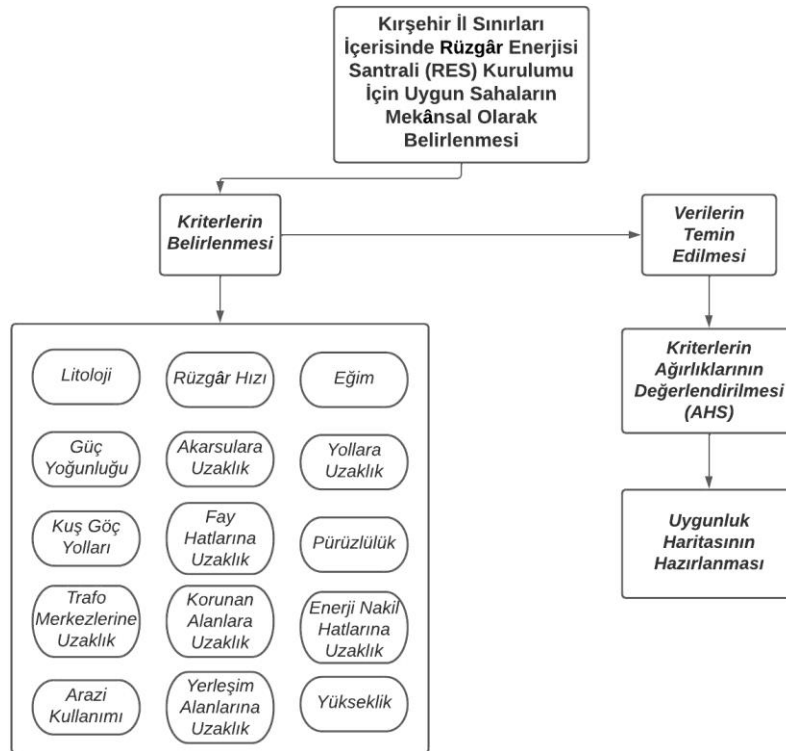
Bu çalışmada RES kurulumu için uygun sahaların mekânsal olarak tespit edilmesi için 15 kriter seçilmiştir.

Seçilen kriterler sırasıyla; rüzgâr hızı, güç yoğunluğu, yükseklik, eğim, pürüzlülük, arazi kullanımı, litoloji, enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık, korunan alanlara uzaklık, kuş göç yollarına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsulara uzaklıktır. Çalışmada oluşturulan katmanların elde edilmesinde yararlanılan veri kaynakları ve kuruluşlar Tablo 1’de gösterilmektedir. Çalışmada izlenen yol Şekil 2’de verilmektedir.

Seçilen kriterlere ait mekânsal veriler çözümlenirken Google Earth Pro ile ArcGIS for Desktop platformu ve araçları (*toolboxes*) kullanılmıştır. ArcGIS for Desktop, CBS alanında tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir CBS platformudur. İhtiyaçlara yönelik çok sayıda bileşene (araç, model, yazılım, veritabanı vb.) sahiptir [19]. Çalışmadaki coğrafi verilerin tamamı (raster-vektör) için işlemler **TUREF (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi) TM33 (EPSG:5255)** (3’’lik) datum ve koordinat sisteminde yapılmıştır. Bunun temel sebebi, ITRF96 tabanlı bir modern ve ulusal bir referans datum tanımlama sistemi olan TUREF’in, ED50 datumuna göre saha ölçümleri (surveying application) ile daha yüksek tutarlılıkla örtüşmesidir. Özellikle 1999 Marmara Depremi sonrası kurumların ürettiği ya da işlem yaptığı haritalarda görülen farklı epoklardaki koordinatlandırmalar, uygulamalarda birçok soruna yol açmıştır. Bu sebeple 2000 yılı sonrasında devlet kuruluşları tarafından genel olarak ITRF tabanlı ulusal datum olan TUREF datumuna geçilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır [20].

Tablo 1. Kriterler ve temin edildiği veri kaynakları

Sıra	Kriterler	Veri Kaynağı
1	Rüzgâr Hızı	Global Wind Atlas
2	Güç Yoğunluğu	Global Wind Atlas
3	Yükseklik	NASA EarthData ALOS Palsar
4	Eğim	Sayısal Yükseklik Modeli
5	Pürüzlülük	Sayısal Yükseklik Modeli
6	Arazi Kullanımı	Esri Land Cover 2020
7	Litoloji	MTA Genel Müdürlüğü
8	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Üçyel Enerji Müh Dan. Hiz. San. Tic. Ltd. Şti.
9	Trafo Merkezlerine Uzaklık	Üçyel Enerji Müh.Dan. Hiz. San. Tic. Ltd. Şti
10	Yollara Uzaklık	Openstreet Map
11	Korunan Alanlara Uzaklık	Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü
12	Kuş Göç Yolları	Birdmap
13	Yerleşim Alanlarına Uzaklık	Openstreet Map
14	Fay Hatlarına Uzaklık	MTA Genel Müdürlüğü
15	Akarsulara Uzaklık	Sayısal Yükseklik Modeli



Şekil 2. Çalışma akış şeması

C. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHS) YÖNTEMİ İLE AĞIRLIKLARIN BELİRLENMESİ

“Kırşehir İl Sınırları İçerisinde Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) Kurulumu İçin Uygun Sahaların Mekânsal Olarak Belirlenmesi” adına ÇKKV yöntemlerinden AHS kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci’nin çalışma için kullanılmasındaki amaç uygun saha analizi haritasının üretilmesinde etkili olan kriterlerin hem kendi içlerinde hem de diğer kriterlere karşı üstünlüklerini subjektif (uzman görüşünü esas alacak şekilde) olarak belirlemektir. Bu çalışmada belirlenen 15 kritere ve alt kriterlere ait

ağırlıklandırılma yapılırken AHS ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırma yapılırken uzman görüşü yerine *bilimsel alanyazın çalışmaları göz önünde bulundurulmuş* ve ‘uygunluk sınıfları’ buna göre tespit edilmiştir. AHS yöntemindeki kriterlerarası ve alt kriterleri kendi içinde sınıflandırırken kullanılan puanlandırma *Saaty'nin 1-9 puanlı “göreceli öncelik değeri ölçeği”* [8] kullanılarak yapılmıştır (Tablo 2) .

Tablo 2. AHS görece öncelik ölçeği [8]

Önem Ölçeği	Açıklaması
1	Eşit Önem
3	Biraz Daha Önemli
5	Orta Derecede Daha Fazla Önem
7	Şiddetle Daha Fazla Önem
9	Çok Güçlü Bir Şekilde Daha Fazla Önem
2,4,6,8	Ara Değerler

Diğer bir deyişle, AHS yönteminin kullanılmasının gerekçesi, en başta kriterler için mekansal olarak elde edilen haritalarda hem kendi alt sınıflarının kendi içlerindeki üstünlüklerini belirlemek, ardından da kriterlerin kendi aralarında üstünlüklerini bir karar matrisi ile ortaya koymaktır. Böylelikle bir RES uygunluk haritasını üretmek için her bir kriterin kadar etkili olacağına dair ağırlıkları analitik olarak tespit edilmiş olmaktadır. Yapılan bu kurguya bağlı olarak çözüm için kurulacak hiyerarşi ilişkileri de Tablo 18’de belirtilmiştir

AHS’de önemli olan başka bir konu da tutarlılık oranıdır. Tutarlılık oranının %10’dan az olması beklenmektedir [18]. Tutarlılık indeksi (Consistency Index:CI), (1)’de belirtilen formül ile hesaplanır. Tutarlılık indeksinin 15 kriter için belirlenen 1,59 (Random Index:RI) değerine bölünmesiyle tutarlılık oranı (Consistency Ratio:CR) hesaplanır (2) [14].

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

λ_{max} : Bir kare matrisin özdeğerleri arasındaki en büyük değerdir. Hesaplayabilmek için öncelikle matrisinin her bir elemanı öncelikler vektörü elemanlarına bölünerek elde edilen yeni matris elemanlarının ortalaması alınmaktadır [8] .

n: kriter sayısı

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Çalışmada CI 0,049 olarak hesaplanmıştır, kriterlerin tutarlılık oranı(CR) %3’tür ve bu değer %10’un altında olduğundan yapılan ikili karşılaştırmanın “tutarlı” olduğunu göstermektedir [8] .

III. BULGULAR

A. KRİTERLERE AİT MEKANSAL KATMANIN ÜRETİLMESİ

Belirlenen kriterlerin mekânsal katmanları için öncelikle bilimsel yazın araştırılmıştır. 15 kritere ait mekânsal haritaların üretilmesinde genel olarak *ArcGIS for Desktop* platformundaki yazılım ve araçlardan yararlanılmıştır.

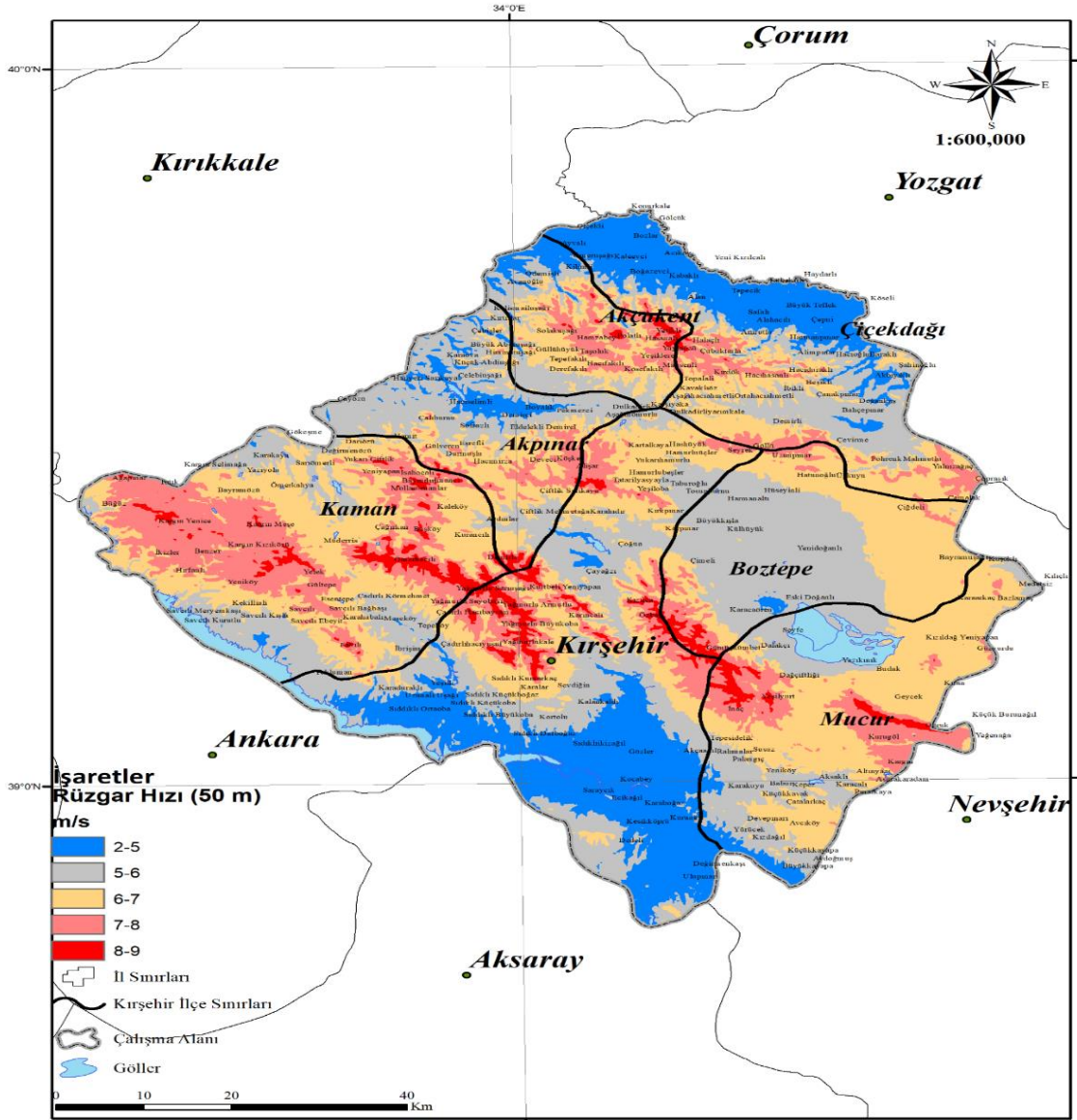
A.1. Rüzgâr hızı kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Ortalama rüzgâr hızı, RES kurulacak alanlar için önemlidir. 50 m yükseklikteki 5 m/s'den düşük rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisi için yetersizdir [21]. Bu sebeple, ikili karşılaştırma matrisi tablosunda değerlendirmeler yapılmıştır. Rüzgâr hızı için 5 ayrı kriter ve AHS tablosunda ağırlıklar belirlenmiştir. AHS tutarlılık oranı %8 olarak hesaplanmıştır.

Rüzgâr hızı (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**) haritası için veriler Global Wind Atlas projesi kapsamında oluşturulan çevrimiçi sunucudan elde edilmiştir. Global Wind Atlas'daki rüzgâr hızı verileri; 2008-2017 yılları arasında Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ing. ECMWF)'nin çeşitli atmosfer seviyeleri için üretilen paylaştığı "ERA5 Reanaliz" verilerinden yararlanılarak çeşitli türbülanslı akış yaklaşımları ile yatay çözünürlüğünün artırılmasıyla yapılmıştır [22]. Bahsi geçen Global Wind Atlas projesi kapsamında veri setlerinde 10 yıllık periyotta mekânsal olarak saatlik ortalama rüzgâr hızları hesaplanmıştır. Bu mekânsal rüzgâr hızı verisetleri farklı seviyelerde üretilmiş ancak rüzgâr enerjisi için genellikle uygulamada 50 m ve 100 m yükseklik için olanlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Kırşehir ili için 50 m için rüzgâr hızlarına ait mekânsal verisetinden 'ortalama rüzgâr hızı katmanı' üretilmiştir. Katmanda gözlem periyodu boyunca 50 metre için "ortalama rüzgâr hızı(m/s)" gösterilmektedir ve 5 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 3), (Şekil 3). Rüzgâr hızı haritasında görüldüğü gibi yüksek rüzgâr hızları 'daha uygun' olarak sınıflandırılmıştır. Hız düşüğe 'kademeli' olarak uygunluk sınıfı da düşmektedir.

Tablo 3 Rüzgâr hızı alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Rüzgâr Hızı (m/s)	8-9	7-8	6-7	5-6	2-5	Ağırlıklar	
8-9	1	3	5	7	9	0,503	%50,3
7-8	1/3	1	3	5	7	0,260	%26,0
6-7	1/5	1/3	1	3	5	0,134	%13,4
5-6	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068	%6,8
2-5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035	%3,5



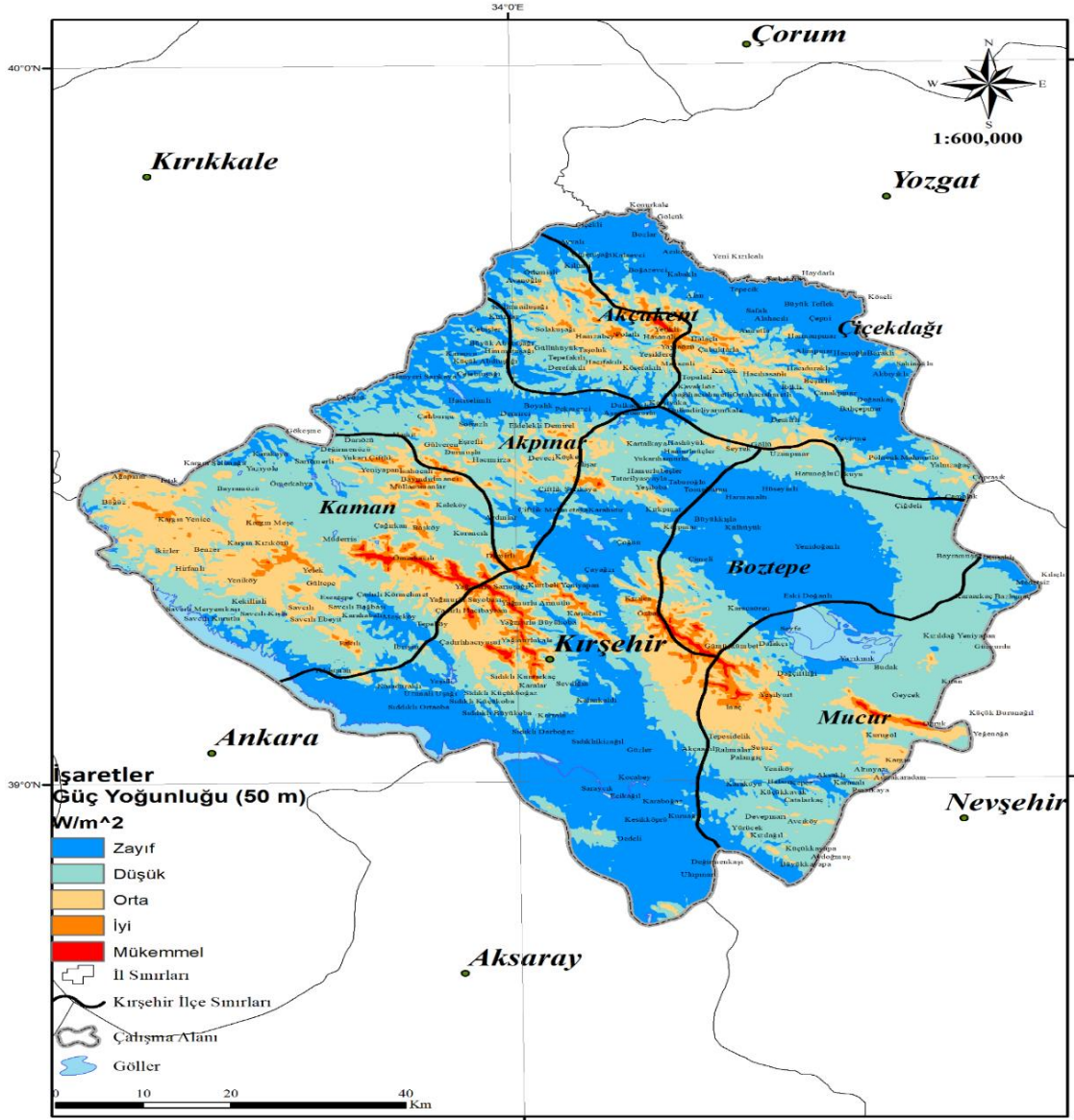
Şekil 3 Rüzgâr hızı haritası

A.2. Rüzgar güç yoğunluğu kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Rüzgar Güç yoğunluğu da RES kurulacak alanlar için teknik ve önemli bir kriterdir. Güç yoğunluğu katmanı (Şekil 4) için coğrafi veriler Global Wind Atlas'ın çevrimiçi sunucusundan temin edilmiş ve Kırşehir il sınırlarına göre kırılmıştır (ing. *cropping*) [22]. Güç yoğunluğu her ne kadar rüzgar hızına bağlı olarak değişse de topografya ve havanın yoğunluğu rüzgar güç yoğunluğunu etkileyen faktörlerdir [5]. Dolayısıyla 'rüzgar hızı' katmanına 'birebir' benzememektedir. Güç yoğunluğunun SI(Standart International) birim sistemindeki ölçü birimi W/m^2 'dir. Ancak bu çalışmada güç yoğunluğu kriterleri 'sözel' olarak 5'e ayrılmıştır (Tablo 4). RES kurulacak alanlar için "mükemmel güç yoğunluğu" istenen bir durumdur[9], bu sebeple AHS'de en fazla ağırlık değerine sahiptir. Ayrıca güç yoğunluğu için oluşturulan AHS ikili karşılaştırma matrisine göre AHS tutarlılık oranı % 8 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4 Rüzgar Güç yoğunluğu alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Güç Yoğunluğu (W/m²)	Mükemmel	İyi	Orta	Düşük	Zayıf	Ağırlıklar
Mükemmel	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
İyi	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
Orta	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
Düşük	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
Zayıf	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5



Şekil 4 Güç yoğunluğu haritası

A.3. Yükseklik alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

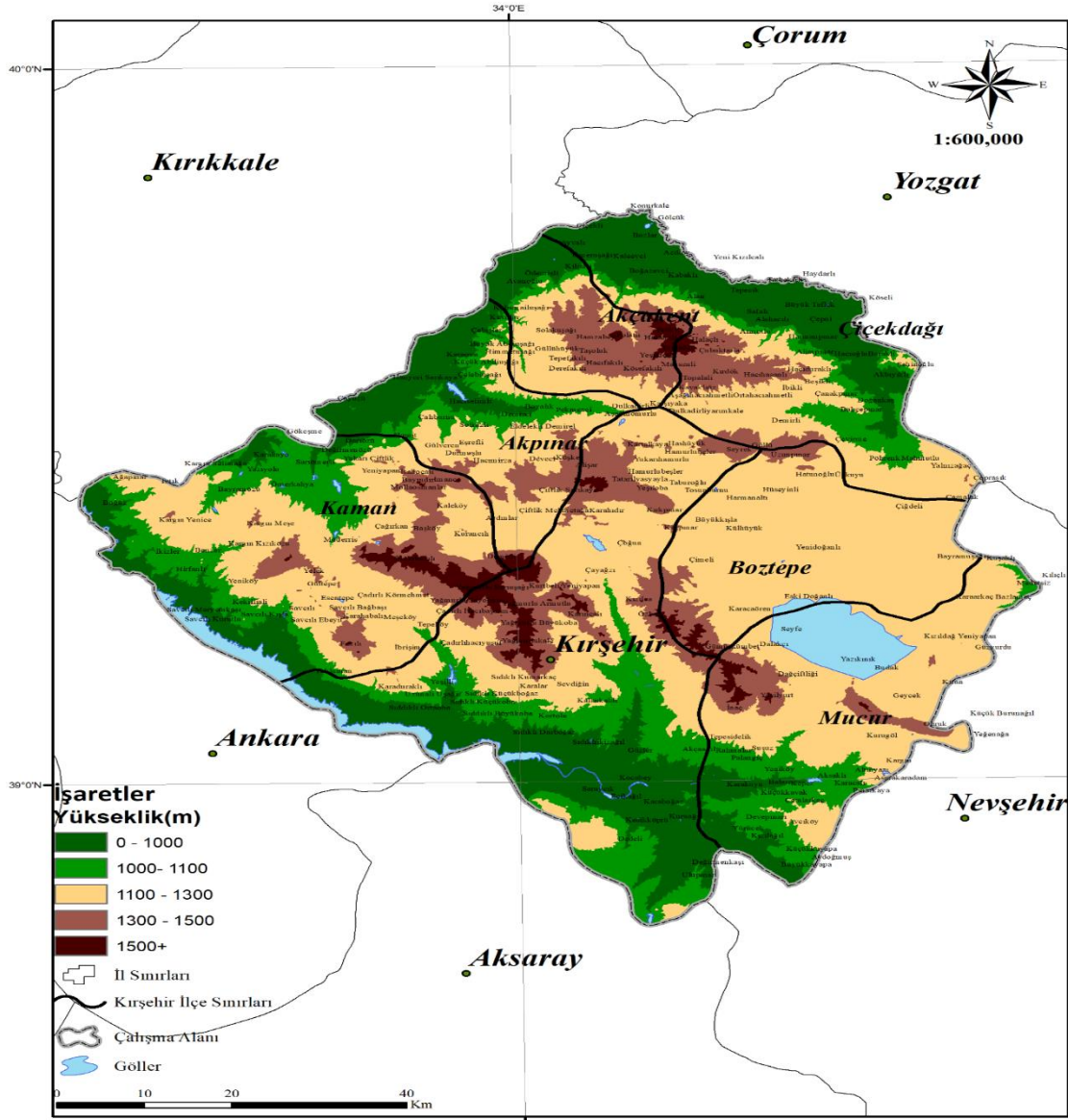
RES kurulurken önemli bir başka kriter ise yüksekliktir. Yükseklik katmanı için gerekli Sayısal Yükselti modeli(SYM) için; il sınırları vektörel formatta (*.shp) dışarı aktarılmış ve NASA Earth Explorer çevrim içi kaynakları arasında sunulan ALOS Palsar uydusundan [23] elde edilmek üzere yüksek çözünürlüklü ortofoto (sayısal-arazi modeli) verilerinin alınması amacıyla ilgili internet sitesine yüklenmiştir [24] . Kırşehir ili için, 8 farklı uydu gözlemi ile elde edilen ‘ortofoto’ kullanılmıştır. Temin edilen veriler ArcGIS for Desktop’da birleştirilmiştir. Üretilen sayısal yükseklik modeli daha sonra Kırşehir il sınırlarına göre kırılmıştır (cropping). Böylelikle çalışma sahası olan Kırşehir il sınırlarına ait 12.5 x 12.5 m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli (SYM-ing.:DEM) elde edilmiştir. Üretilen SYM’nin datum ve koordinat sistemi, TUREF TM33 projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür.

Atmosfer basıncı düştüğünden dolayı yüksekliğe çıktıkça Hava yoğunluğu azalmaktadır [25] dolayısıyla Rüzgar Türbin’inin üreteceği güç de azalmaktadır [21]. Bununla beraber yeryüzeyine yakın yerlerde hava sıcaklığı daha yüksektir ve sıcak havanın yoğunluğu da düşük olur. Aynı zamanda düşük yüksekliklerde topografik engeller sebebiyle rüzgar hızı da düşük olmaktadır. Dolayısıyla deniz seviyesine yakın yerler de karasal RES kurulumu için çok uygun değildir.

Bu sebeple 1500’den yüksek ve 0 ila 1000 m arasındaki yükseklikteki yerler, RES kurulumu için uygun olmadığından AHS’de en az ağırlığı almışlardır (Tablo 5) . Kırşehir ili için yükseklik katmanı, 5 alt sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5). Katman için oluşturulan AHS ikili karşılaştırma matrisine göre AHS tutarlılık oranı %8’dir.

Tablo 5 Yükseklik alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Yükseklik (m)	1300-1500	1100-1300	1000-1100	1500+	0-1000	Ağırlıklar	
1300-1500	1	3	5	7	9	0,503	%50,3
1100-1300	1/3	1	3	5	7	0,260	%26,0
1000-1100	1/5	1/3	1	3	5	0,134	%13,4
1500+	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068	%6,8
0-1000	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035	%3,5



Şekil 5 Yükseklik haritası

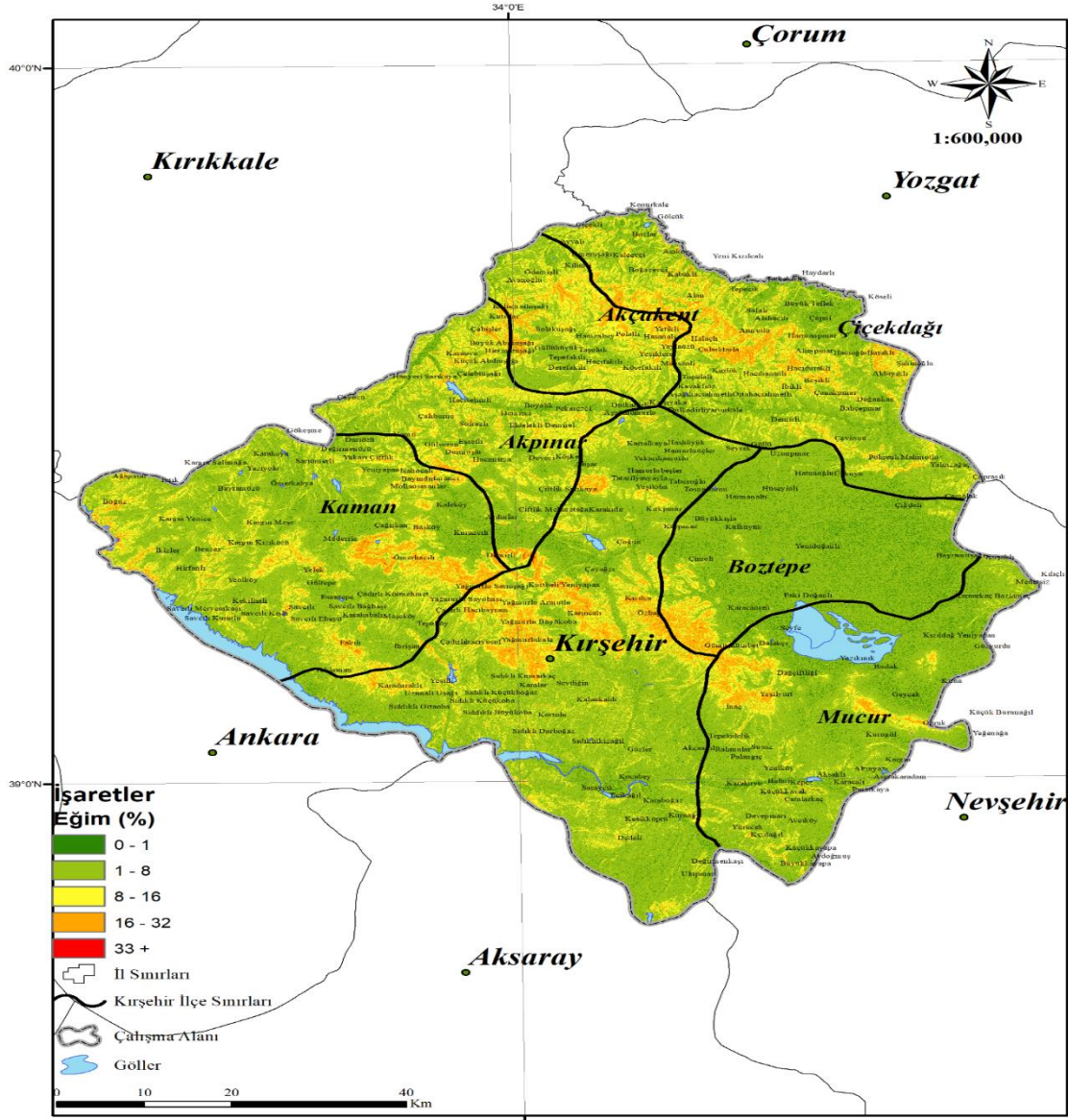
A.4. Eğim kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

RES kurulacak mekânsal analizlerde diğer bir kriter ise eğimdir. Eğimi düşük diğer bir deyişle düzlük araziler, RES kurulumu açısından daha uygundur. Tablo 6'da görüldüğü üzere bu çalışmada eğim için 5 alt sınıfa ayrılmıştır. İkili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık oranı %8 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6 Eğim alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Eğim (%)	0-1	1-8	8-16	16-32	32+	Ağırlıklar
0-1	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
1-8	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
8-16	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
16-32	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
32+	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5

Eğim katmanı; Kırşehir için elde edilen SYM kullanılarak ArcGIS for Desktop’da hazırlanmıştır. ArcMap içerisindeki Arctoolbox araç kutusundaki 3D Analyst araçlarından “Raster Surface – Slope” aracı yardımıyla üretilmiştir (Şekil 6)



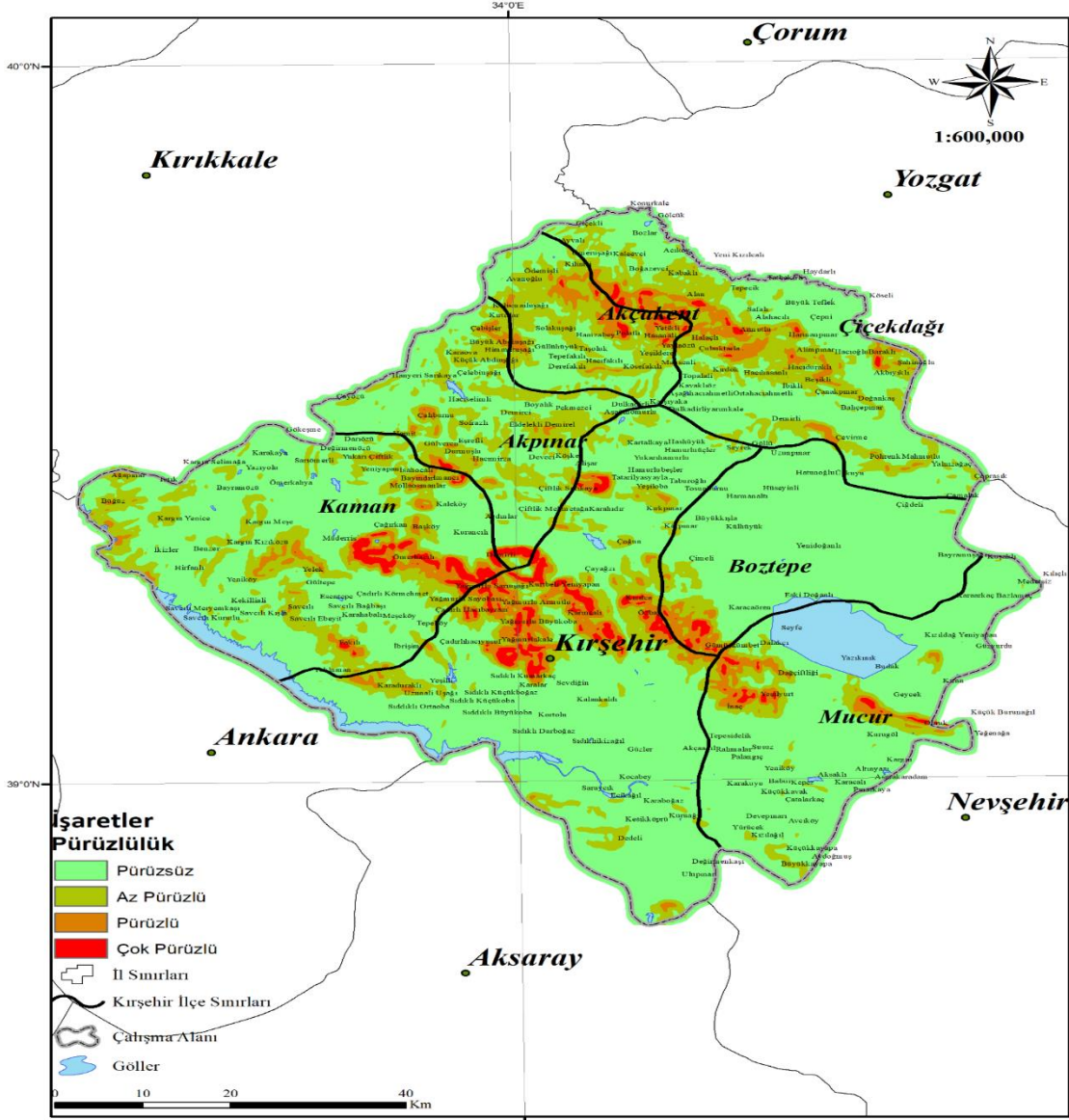
Şekil 6 Eğim haritası

A.5. Pürüzlülük kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Arazi pürüzlülüğünün artması, rüzgâr hızını yavaşlatır [22]. Bu sebeple çok pürüzlü yerler RES kurulumu açısından uygun değildir. Çalışma sahası olan Kırşehir ili için Pürüzlülük haritası ArcGIS for Desktop’deki ArcMap 10.5 yazılımı içerisinde yer alan Arctoolbox araç kutularından olan “Geomorphometry and Gradient Metrics - Surface Texture - Roughness” araçları ile üretilmiştir (Şekil 7) . Pürüzlülük katmanı oluşturulurken çalışma sahasının SYM yükseklik katmanı kullanılmıştır. Tablo 7’de görüldüğü üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** ve ikili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık oranı %7 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7 Pürüzlülük alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Pürüzlülük	Pürüzsüz	Az Pürüzlü	Pürüzlü	Çok Pürüzlü	Ağırlıklar
Pürüzsüz	1	3	5	7	0,558 %55,8
Az Pürüzlü	1/3	1	3	5	0,263 %26,3
Pürüzlü	1/5	1/3	1	3	0,122 %12,2
Çok Pürüzlü	1/7	1/5	1/3	1	0,057 %5,7



Şekil 7 Pürüzlülük haritası

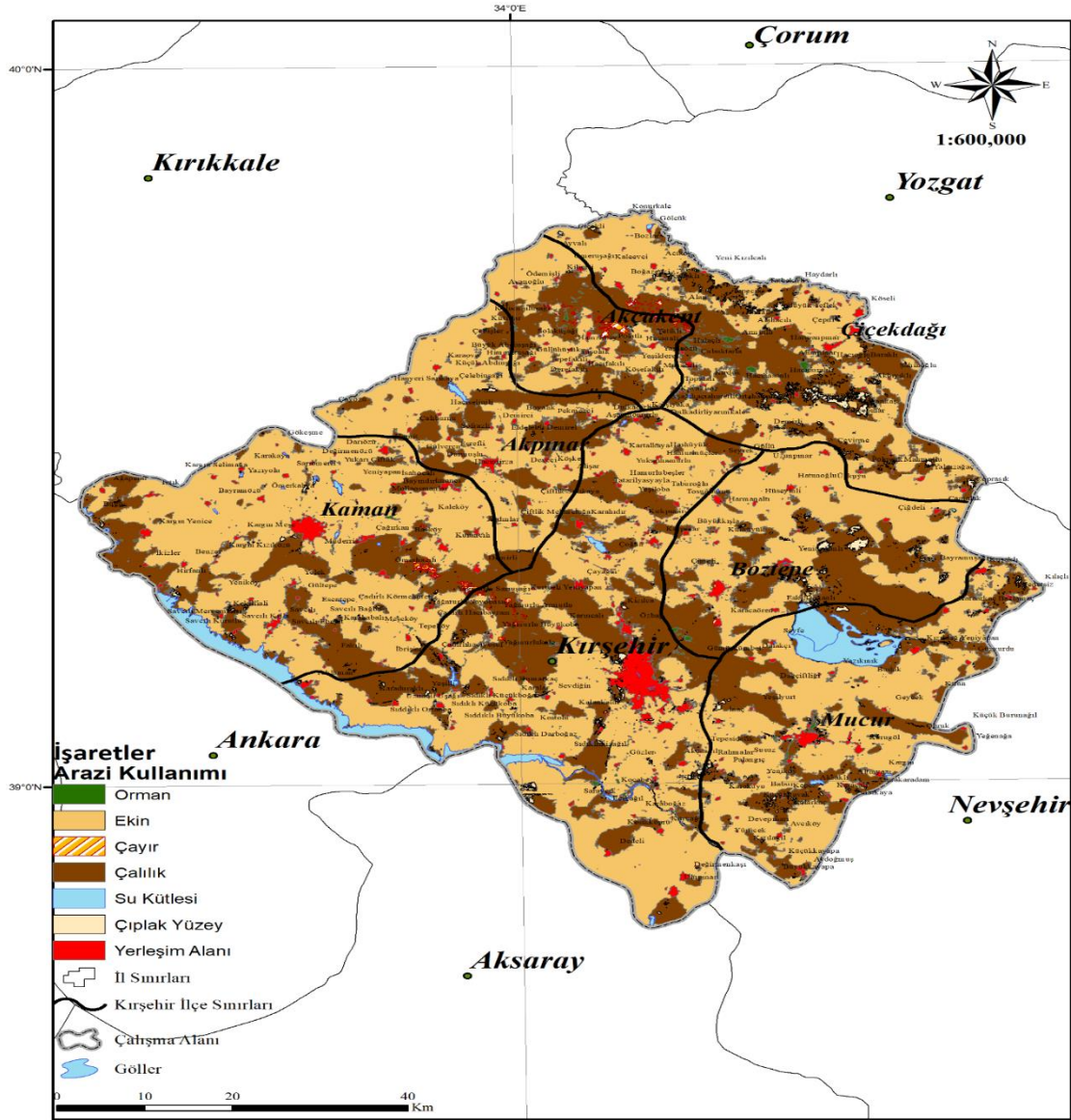
A.6. Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Arazi kullanımı/Arazi örtüsü, RES kurulumuna etki eden bir başka kriterdir. Çünkü kurulum için uygun arazilerin belirlenmesi hem inşaat yapım maliyetini hem de tesisin uzun yıllar boyunca işletilmesini etkiler. Çıplak yüzey olarak adlandırılan ‘taş-kayaç’ zeminler kurulum için daha uygundur. Su kütleleri veya ormanlık alanlar ise kurulum için en az uygun araziler olarak belirlenmiştir.

Arazi kullanımı/Arazi örtüsü haritası; 2020 yılında Sentinel 1-A uydu gözlem verileri yardımıyla üretilen ve güncel olarak çevrim içi sunulan 10 mx 10 m yatay çözünürlüklü ESRI LULC (Land Use-Land Cover) verileri kullanılarak üretilmiştir (Şekil 8) [26] . Çalışma sahası sınırına göre kırılan arazi kullanımı haritası 7 alt sınıfa ayrılmıştır (Tablo 8). İkili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık oranı %5'tir.

Tablo 8 Arazi kullanımı/Arazi örtüsü alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

<u>Arazi Kullanımı</u>	Çıplak Yüzey	Çayır	Ekin	Çalılık	Yerleşim Alanı	Su Kütlesi	Orman	Ağırlıklar	
Çıplak Yüzey	1	2	5	5	9	9	9	0,402	%40,2
Çayır	1/2	1	3	3	7	7	7	0,251	%25,1
Ekin	1/5	1/3	1	1	5	5	5	0,125	%12,5
Çalılık	1/5	1/3	1	1	5	5	5	0,125	%12,5
Yerleşim Alanı	1/9	1/7	1/5	1/5	1	1	1	0,032	%3,2
Su Kütlesi	1/9	1/7	1/5	1/5	1	1	1	0,032	%3,2
Orman	1/9	1/7	1/5	1/5	1	1	1	0,032	%3,2



Şekil 8 Arazi kullanımı haritası

A.7. Litoloji kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

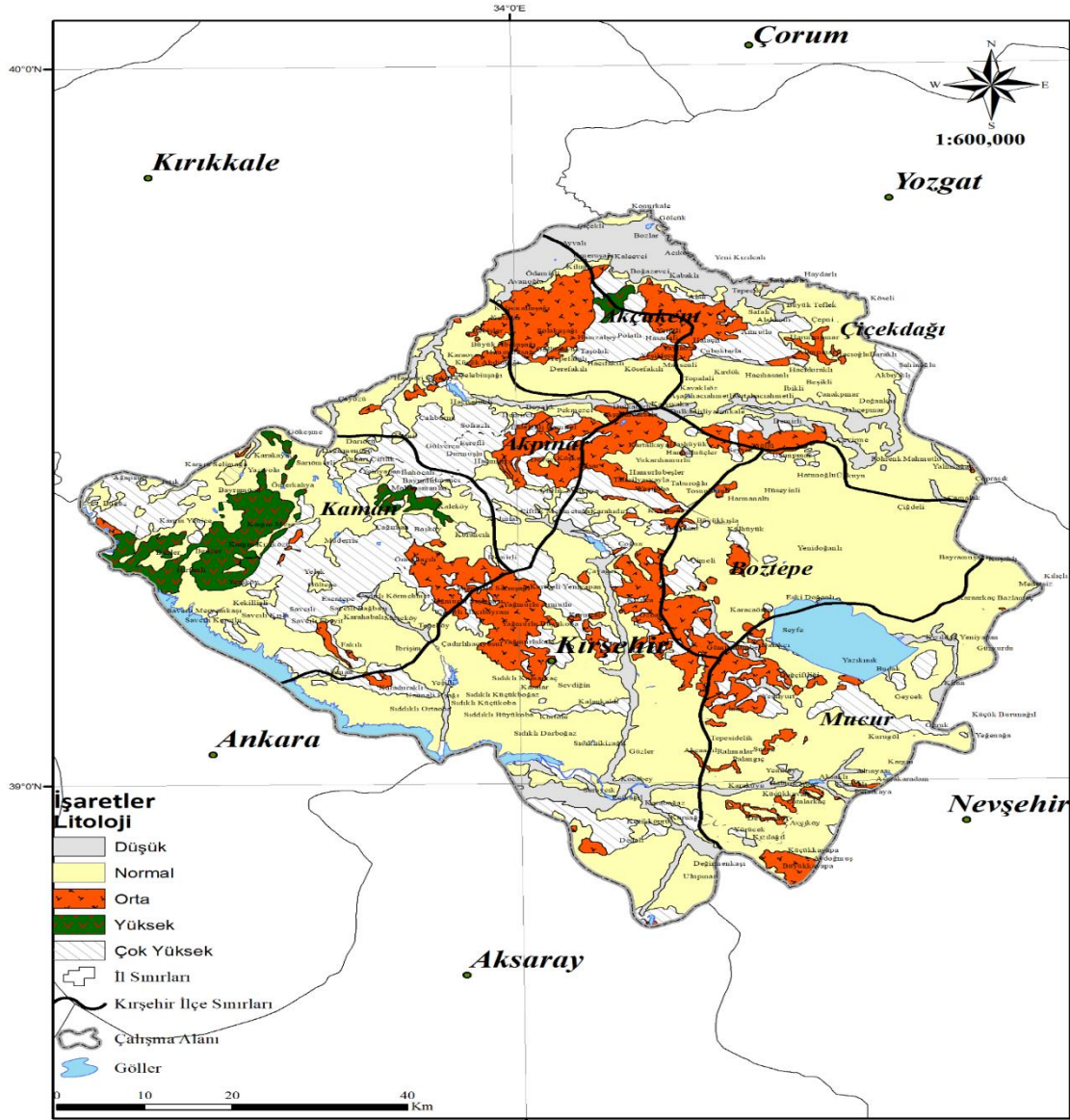
Yukarıda da belirtildiği gibi RES kurulacak arazideki kayacın dayanıklılığı çok önemlidir. Ayrılmamış kuvaterner, diğer bir ismiyle alüvyon zeminler, deprem aktivitesinin fazla olduğu bölgelerde deprem etkisini artırır ve yapılar yıkılır [26]. Bu nedenle ayrılmamış kuvaterner RES kurulumu için en az uygun saha olarak sınıflandırılmıştır ve en az önem derecesine sahiptir (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).

5 alt sınıfa ayrılan Litoloji katmanı ikili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık %8 olarak hesaplanmıştır.

Litoloji haritası için; MTA'dan 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası Kayseri paftası *.pdf formatında alınmış [24] ve sayısallaştırılmak üzere ArcMAP'e aktarılmış, sayısallaştırılan harita, Kırşehir il sınırlarına göre kırılmıştır. Sonrasında ArcMAP'in çizim editörü ile litolojik sınıflandırmaya göre çizilmiş ve 5 sınıfa ayrılmıştır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).

Tablo 9 Litoloji alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Litoloji	Mermer	Ofilyotik Melanj	Bazalt	Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar	Ayrılmamış Kuvaterner	Ağırlıklar
Mermer	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
Ofilyotik Melanj	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
Bazalt	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
Ayrılmamış Kuvaterner	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5



Şekil 9 Litoloji haritası

A.8. Enerji Nakil Hatlarına uzaklık ile Trafo Merkezlerine uzaklık kriterleri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Kurulacak RES'lerin Enerji Nakil Hatları(ENH) üzerinde olmaması, aynı zamanda da ekonomik sebeplerden dolayı enerji nakil hatlarına çok da uzak olmaması gerekmektedir [14]. Bu çalışmada enerji nakil hatlarına uzaklık katmanı, bu bilgi ışığında hazırlanmıştır. Enerji nakil hatlarına uzaklık ikili karşılaştırma matrisinde (**Tablo 10**) görüldüğü üzere katman 5 alt sınıfa ayrılmıştır. Enerji nakil hatlarına uzaklık kriteri ikili karşılaştırma matrisine göre AHP Tutarlılık oranı ise %8 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10 Enerji Nakil Hatlarına uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

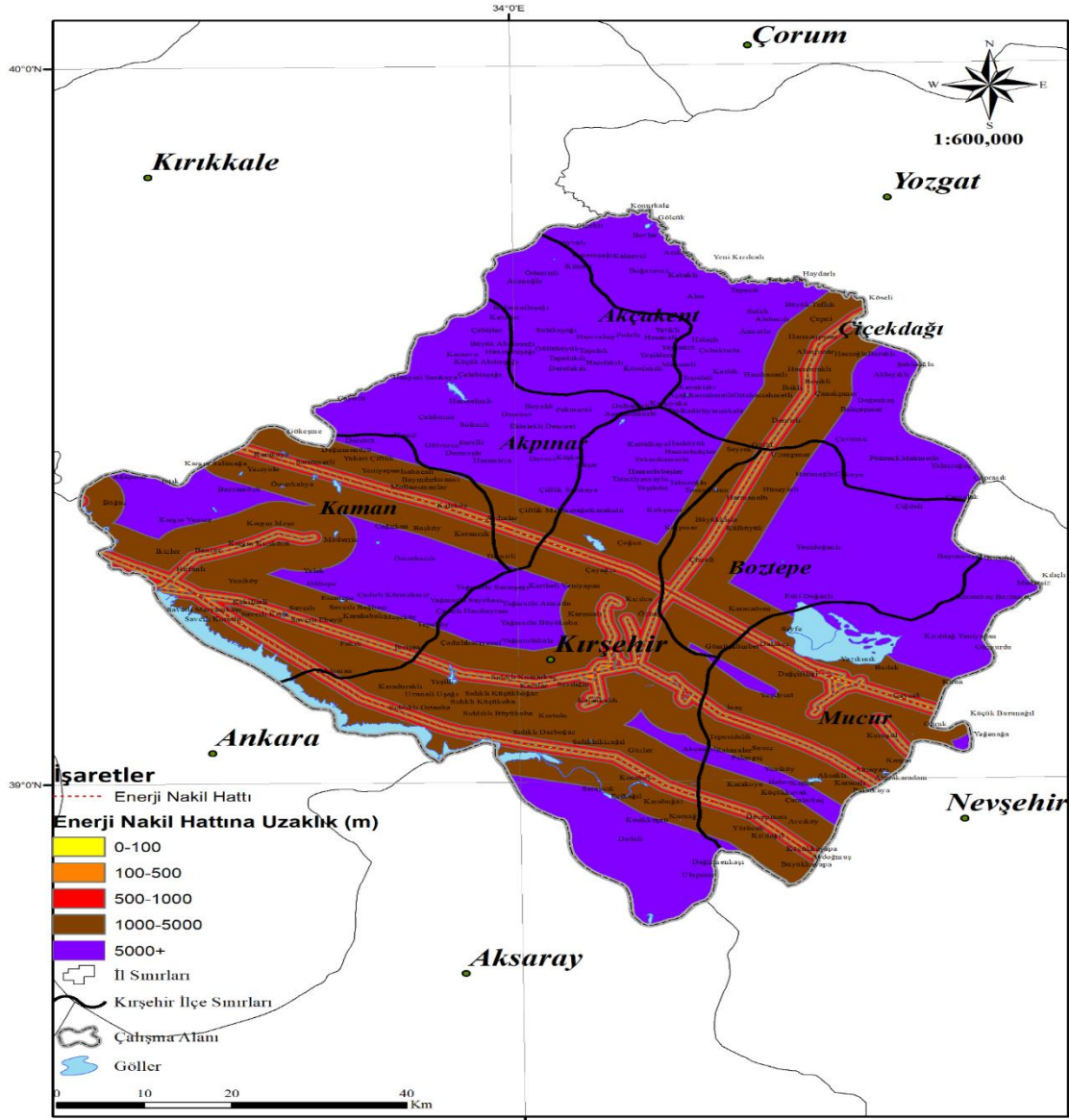
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (m)	0-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000+	Ağırlıklar	
0-100	1	3	5	7	9	0,503	%50,3
100-500	1/3	1	3	5	7	0,260	%26,0
500-1000	1/5	1/3	1	3	5	0,134	%13,4
1000-5000	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068	%6,8
5000+	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035	%3,5

“Trafo merkezlerine uzaklık”, RES kurulumunda bir başka uygunluk kriteridir. Trafo merkezlerine olan uzaklığın artması proje bütçesini etkilemektedir [21]. Trafo merkezlerine uzaklık AHP tablosu bu bilgi ışığında hazırlanmıştır. Enerji nakil hatlarına uzaklık sınıfları gibi 5 alt sınıfa ayrılmıştır. İkili karşılaştırma ve tutarlılık %8 olarak tespit edilmiştir.

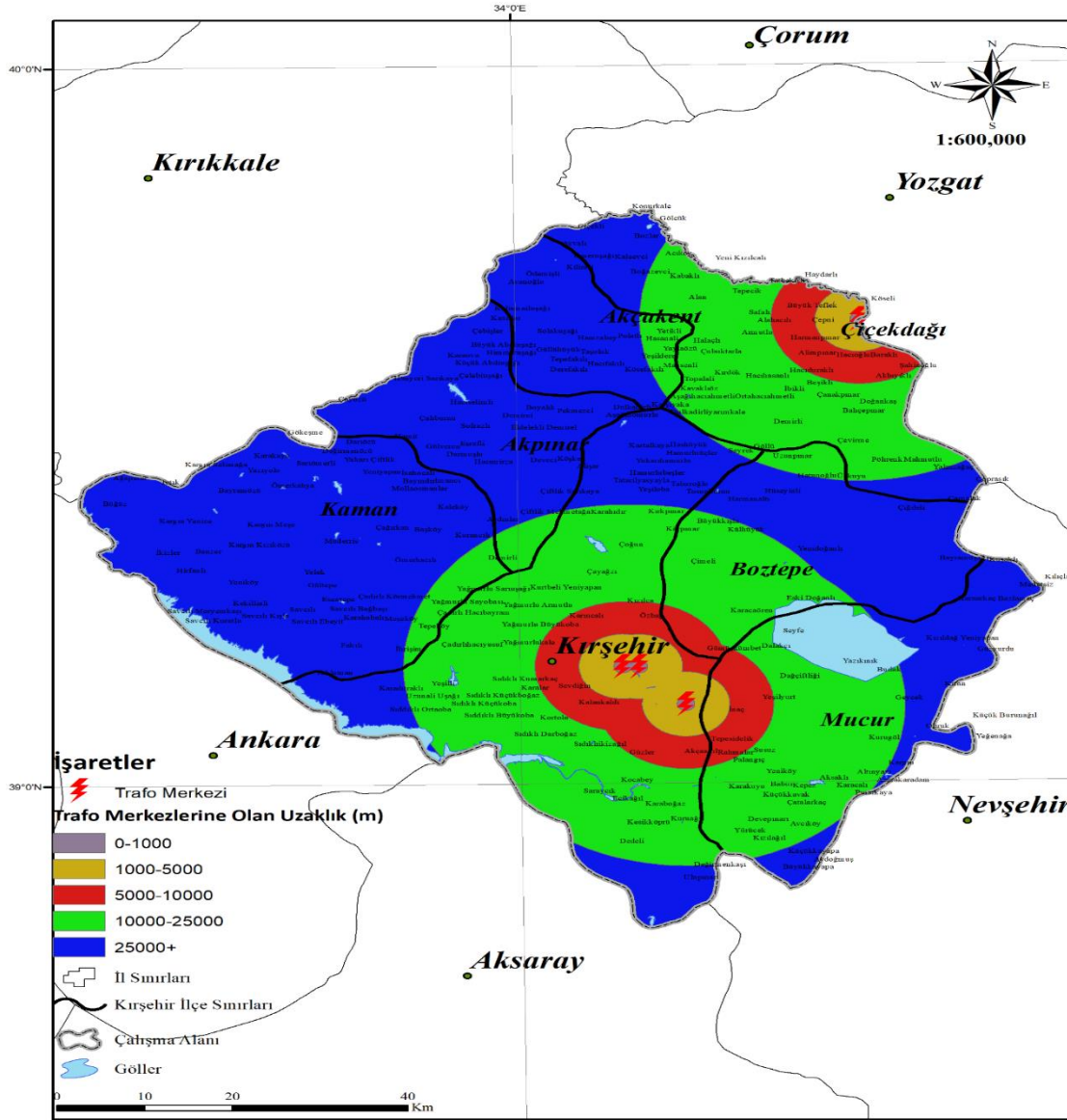
Tablo 11 Trafo merkezlerine uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Trafo Merkezlerine Uzaklık (m)	0-1000	1000-5000	5000-10000	10000-25000	25000+	Ağırlıklar	
0-1000	1	3	5	7	9	0,503	%50,3
1000-5000	1/3	1	3	5	7	0,260	%26,0
5000-10000	1/5	1/3	1	3	5	0,134	%13,4
10000-25000	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068	%6,8
25000+	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035	%3,5

Enerji nakil hatları (ENH) ve trafo merkezlerini (TM) gösteren coğrafi veriler; Üçyel Enerji Mühendislik ve Danışmanlık Hiz. San. Tic. Ltd. Şti'den temin edilmiştir. Temin edilen ENH ve TM yerlerine uzaklıkların hesaplanması için, ArcGIS for Desktop'da ArcMap araçlarından “Analysis - Proximity - Multiple Ring Buffer” aracı kullanılmış ve katmanlar oluşturulmuştur (Şekil 10 ve Şekil 11).



Şekil 10 Enerji nakil hatlarına uzaklık haritası



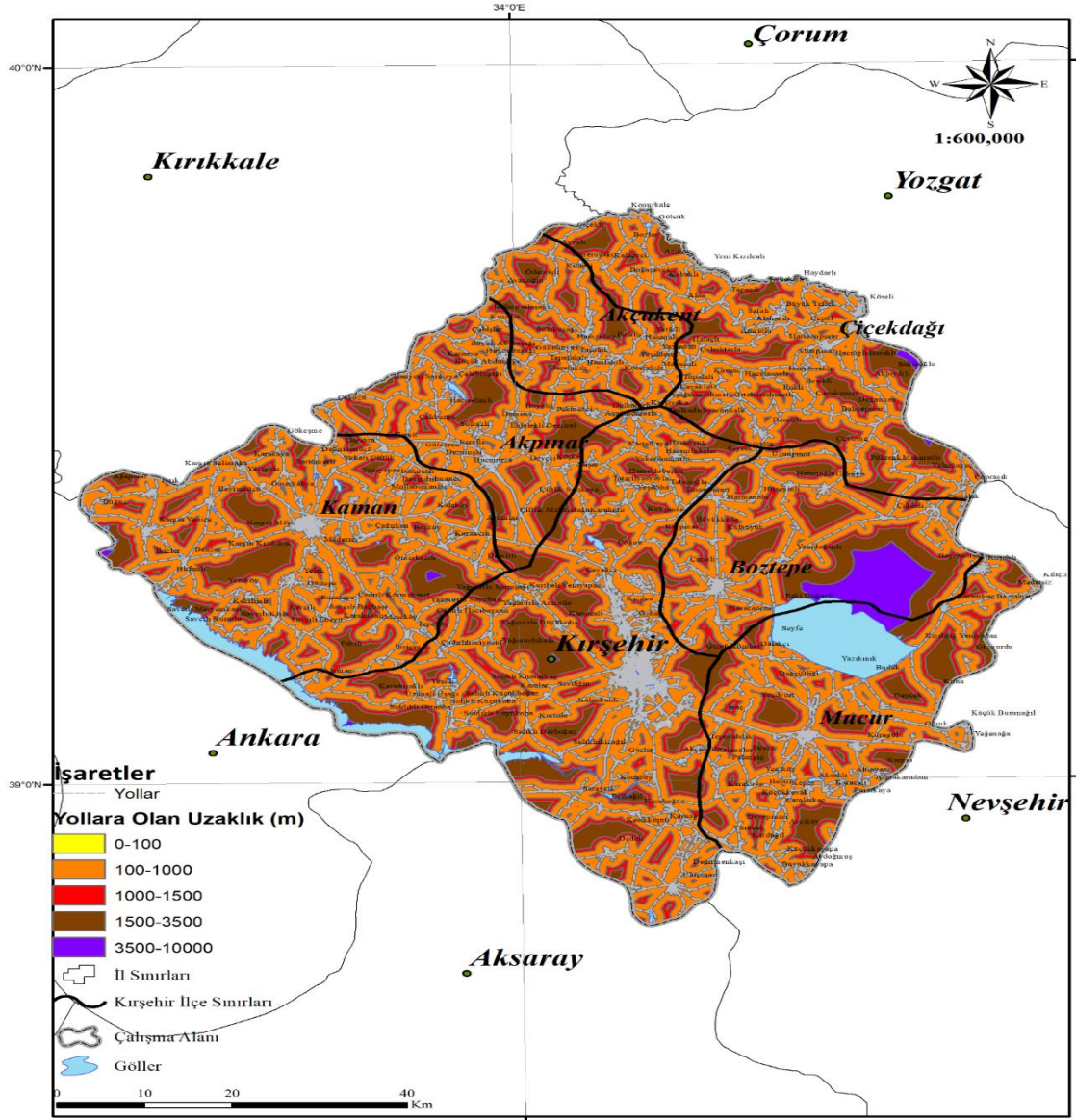
Şekil 11 Trafo merkezlerine uzaklık haritası

A.9. Yollara uzaklık ile Yerleşim yerlerine uzaklık kriterleri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

“Yollara olan uzaklık”, RES mekânsal analizlerinde önemli bir kriterdir. Yollara olan mesafenin artması tercih edilmeyen bir durumdur [27]. Bu sebeple yollara olan uzaklık kriterinin katmanı hazırlanırken 5 alt sınıf belirlenmiştir (Tablo 12). AHP ikili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık oranı %8 olarak hesaplanmıştır. Yollara ait coğrafi veriler, Openstreet Map’ten elde edilmiş ArcGIS’e aktarılmış ve “Geoprocessing - Clip” araçlarıyla çalışma alanına göre kırılmıştır [28]. Elde edilen Kırşehir ili sınırları içerisindeki karayolları verileri “Analysis – Proximity – Multiple Ring Buffer” aracı kullanılarak mesafe tamponları üretilmiştir (Şekil 12).

Tablo 12 Yollara uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Yollara Uzaklık (m)	100-1000	1000-1500	1500-3500	3500-10000	0-100	Ağırlıklar
100-1000	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
1000-1500	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
1500-3500	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
3500-10000	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
0-100	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5



Şekil 12 Yollara uzaklık haritası

Gürültü, rüzgâr türbinlerinin bir problemidir [29]. Ayrıca sürekli dönen rüzgâr türbinlerinin kanatlarının gölgesi de insanları psikolojik olarak rahatsız edebilmektedir. Rüzgâr enerjisi santrallerini yerleşim yerlerinden uzak tutarak bu sorunlar azaltılabilir. Bu yüzden, yerleşim alanlarına uzaklık kriteri, 5alt sınıfa ayrılmıştır (Tablo 13). Kriteria ait ikili karşılaştırma matrisine göre AHP tutarlılık oranı %8'dir.

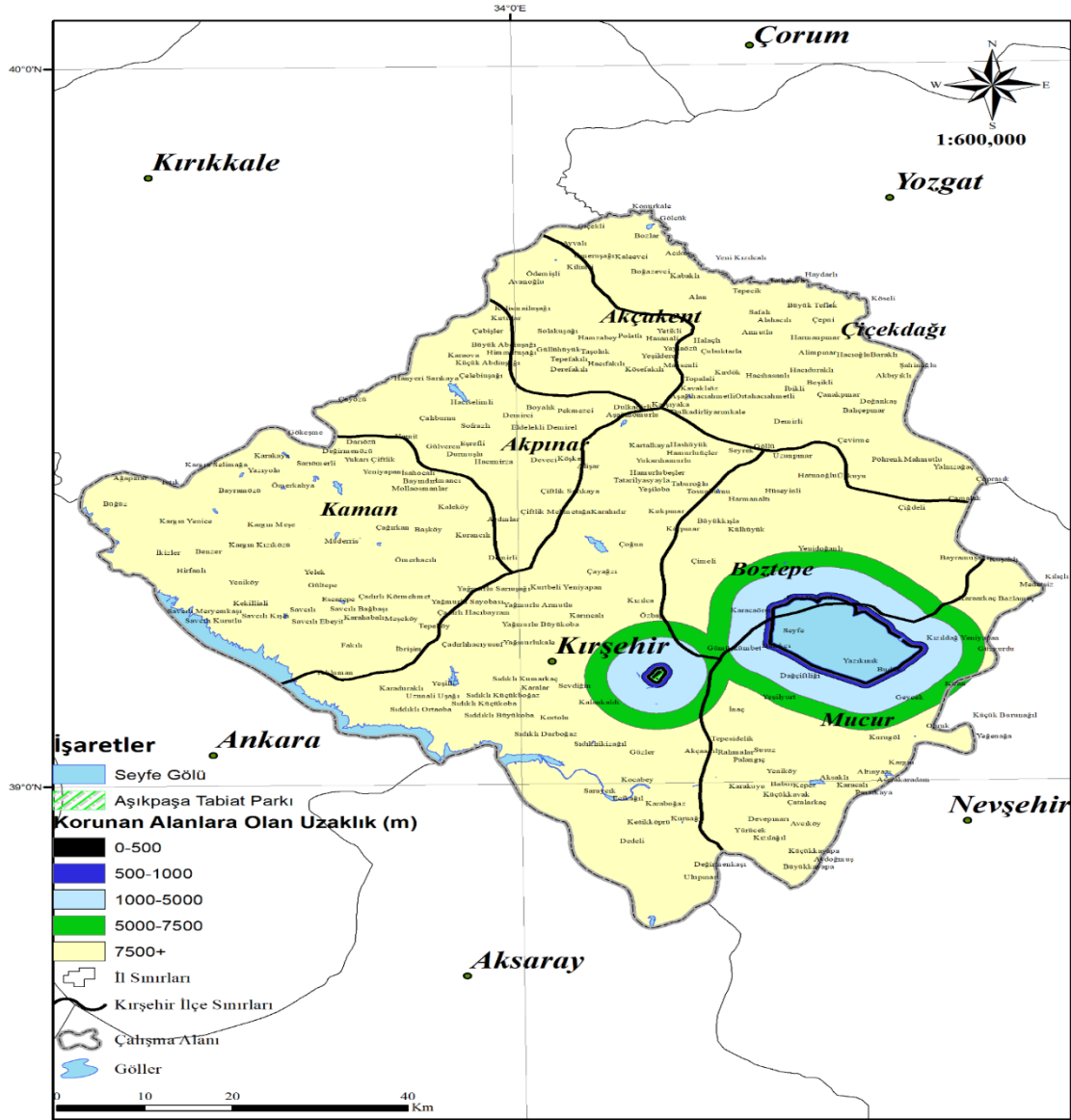
A.10. Korunan Alanlara uzaklık kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Korunan alanlara uzaklık kriteri, doğal alanları tahribattan korumak ve korunan alanlara olan ekolojik ihtiyacın hiç bitmemesinden dolayı önemlidir [15] . RES kurulumu için yer seçiminde kriter olarak kullanılır. Bu çalışmada korunan alanlara uzaklık kriteri 5 alt sınıfa ayrılmış (Şekil 14) ve AHP tablosunda ikili karşılaştırma yapılarak tutarlılık oranı %8 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 14 Korunan alanlara uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Korunan Alanlara Uzaklık (m)	7500+	5000-7500	1000-5000	1000-100	0-500	Ağırlıklar	
7500+	1	3	5	7	9	0,503	%50,3
5000-7500	1/3	1	3	5	7	0,260	%26,0
1000-5000	1/5	1/3	1	3	5	0,134	%13,4
1000-100	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068	%6,8
0-500	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035	%3,5

Korunan alanlar katmanının oluşturulması için; öncelikle çalışma alanında bulunan korunan alanlar, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü internet sitesine bakılarak öğrenilmiştir [31]. Ardından T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planlarının gösterildiği paftalar [32], ArcGIS for Desktop'a aktarılmış, burada ArcMap kullanılarak paftalar sayısallaştırılmış (rectify) ve çizim editörü ile pafta üzerinden "Seyfe Gölü" çizilmiştir. Fakat paftalarda "Aşıkpaşa Tabiat Parkı" bulunmadığından Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgulama Uygulaması'ndan [33] "Aşıkpaşa Tabiat Parkı"nın *parsel sınırları* belirlenmiş, Google Earth Pro programında ilgili sahanın parsel sınırları çizilmiştir. Çizilen alan *.kmz veri formatında ArcMap'e aktarılmış ve Korunan Alanlar katmanı için "Seyfe Gölü" ile beraber gösterilmiştir. Korunan alanlara uzaklık katmanı, ArcGIS for Desktop'da ArcMap içerisindeki "Analysis Tools – Proximity - MultipleRing Buffer" aracı ile tampon uzaklıklar oluşturularak elde edilmiştir (Şekil 14) .



Şekil 14 Korunan alanlara uzaklık haritası

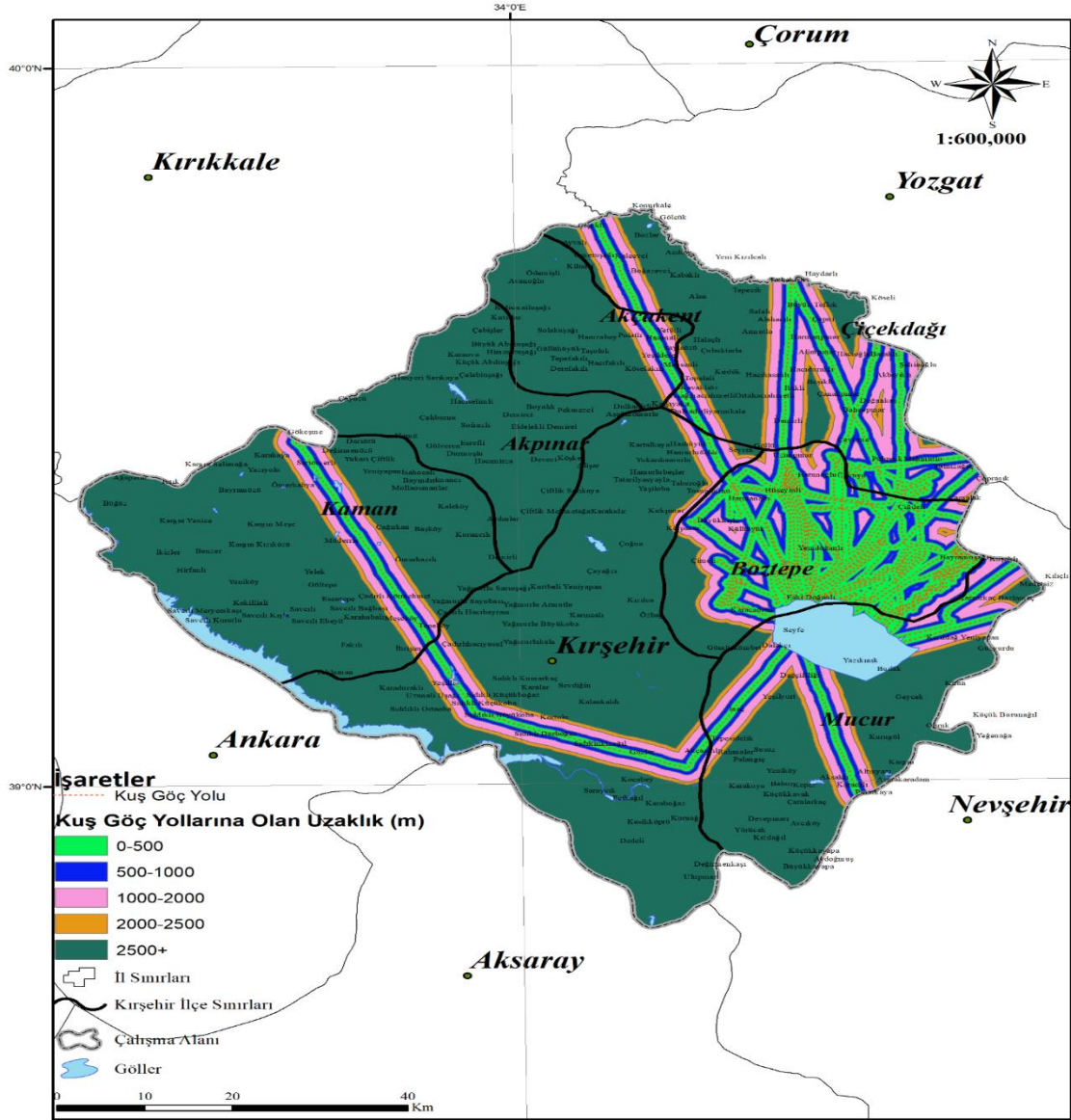
A.11. Kuş göç yollarına uzaklık kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Kuş göç rotalarını etkileyen, kuşlar üzerinde olumsuz etkileri bulunan ve kuşların çarparak ölümüne sebep olabilecek rüzgâr türbinleri kurulurken kuş göç yollarını incelemek, kuşlar ve insanlık için kriter olarak belirlemek önemli bir husustur [34]. Tablo 15’de görüldüğü üzere kuş göç yollarına uzaklık kriteri 5 alt sınıfa ayrılmıştır. İkili karşılaştırma yapılmış ve tutarlılık %8 olarak belirlenmiştir.

Tablo 15 Kuş göç yollarına uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Kuş Göç Yollarına Uzaklık (m)	2500+	2000-2500	1000-2000	500-100	0-500	Ağırlıkları
2500+	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
2000-2500	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
1000-2000	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
500-100	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
0-500	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5

Kuş Göç Yolları katmanı için; *Birdmap* internet sitesinden [35] görüntü olarak alınan harita, ArcMap'e *resim* formatında (*.jpg) aktarılmıştır. Aktarılan resim *Georeferencing* aracıyla sayısallaştırılmış ve çizim editörü ile kuş göç rotaları çizilmiştir. Çizilen kuş göç yollarından, kuş göç yollarına uzaklık katmanı, ArcMap'teki *Analysis Tools - Proximity - MultipleRing Buffer* aracı kullanılarak meydana getirilmiştir (Şekil 15) .



Şekil 15 Kuş göç yollarına uzaklık haritası

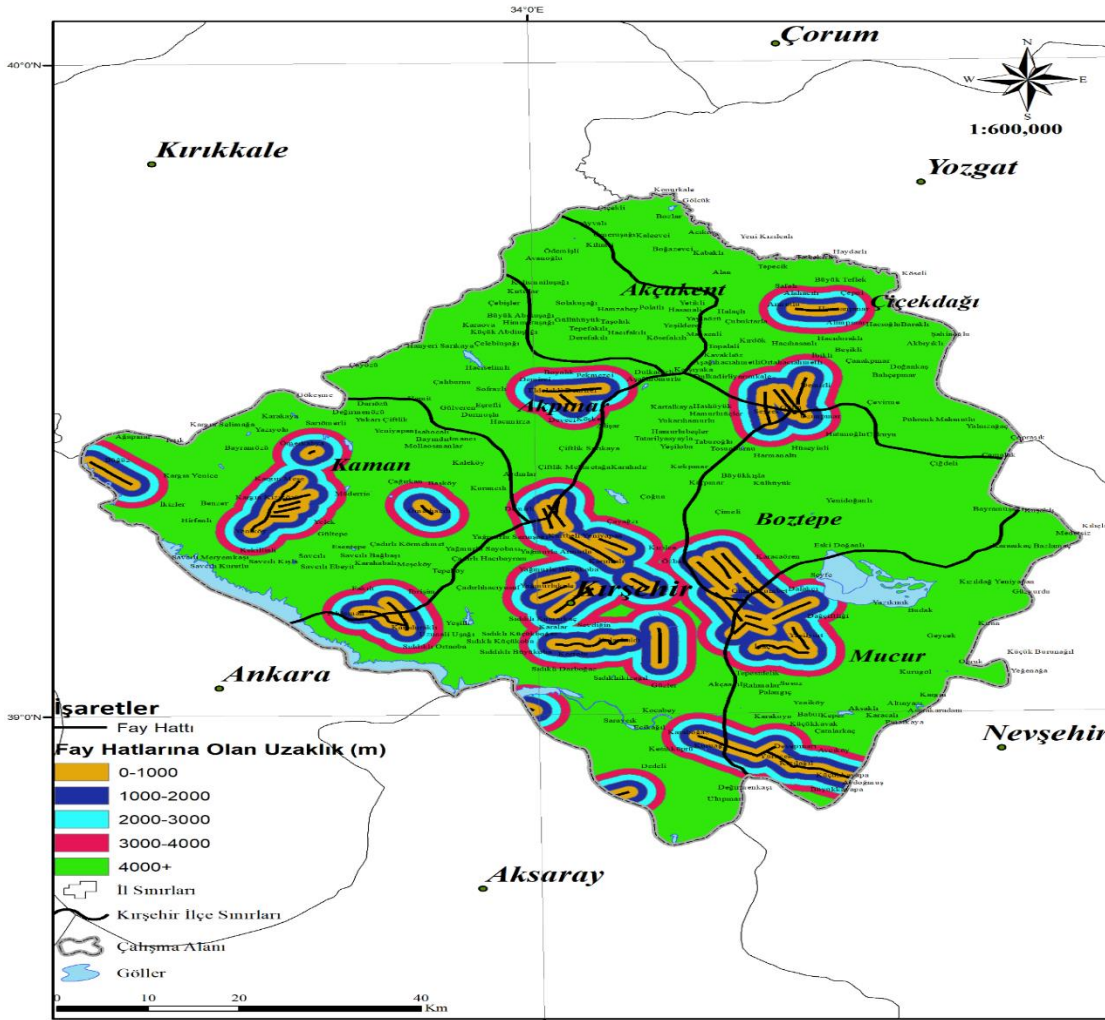
A.12. Fay hatlarına uzaklık kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanının üretilmesi

Deprem olduğunda yıkılma riski bulunduğu Rüzgâr türbinlerinin fay hatlarının üzerine ya da yakınlıklarına kurulmaması gerekmektedir [27]. Bu bilgiye dayanarak fay hatlarına uzaklık kriterine ait 5 alt sınıf belirlenmiştir. Alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi tablosu oluşturulmuştur (Tablo 16) . Alt kriterler ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı %8 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 16 Fay hatlarına uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Fay Hatlarına Uzaklık (m)	4000+	3000-4000	2000-3000	1000-2000	0-1000	Ağırlıkları
4000+	1	3	5	7	9	0,503 %50,3
3000-4000	1/3	1	3	5	7	0,260 %26,0
2000-3000	1/5	1/3	1	3	5	0,134 %13,4
1000-2000	1/7	1/5	1/3	1	3	0,068 %6,8
0-1000	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,035 %3,5

Fay hatlarının gösterildiği fay haritası; MTA Genel Müdürlüğü'nden internet sitesinden elde edilmiş [36] ve Kırşehir il sınırlarına göre kırılmıştır. Fay hatlarına uzaklık haritası, ArcGIS for Desktop'da yer alan ArcMap yazılımı araçlarından *Analysis Tools - Proximity - MultipleRing Buffer* aracı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 16)



Şekil 16 Fay hatlarına uzaklık haritası

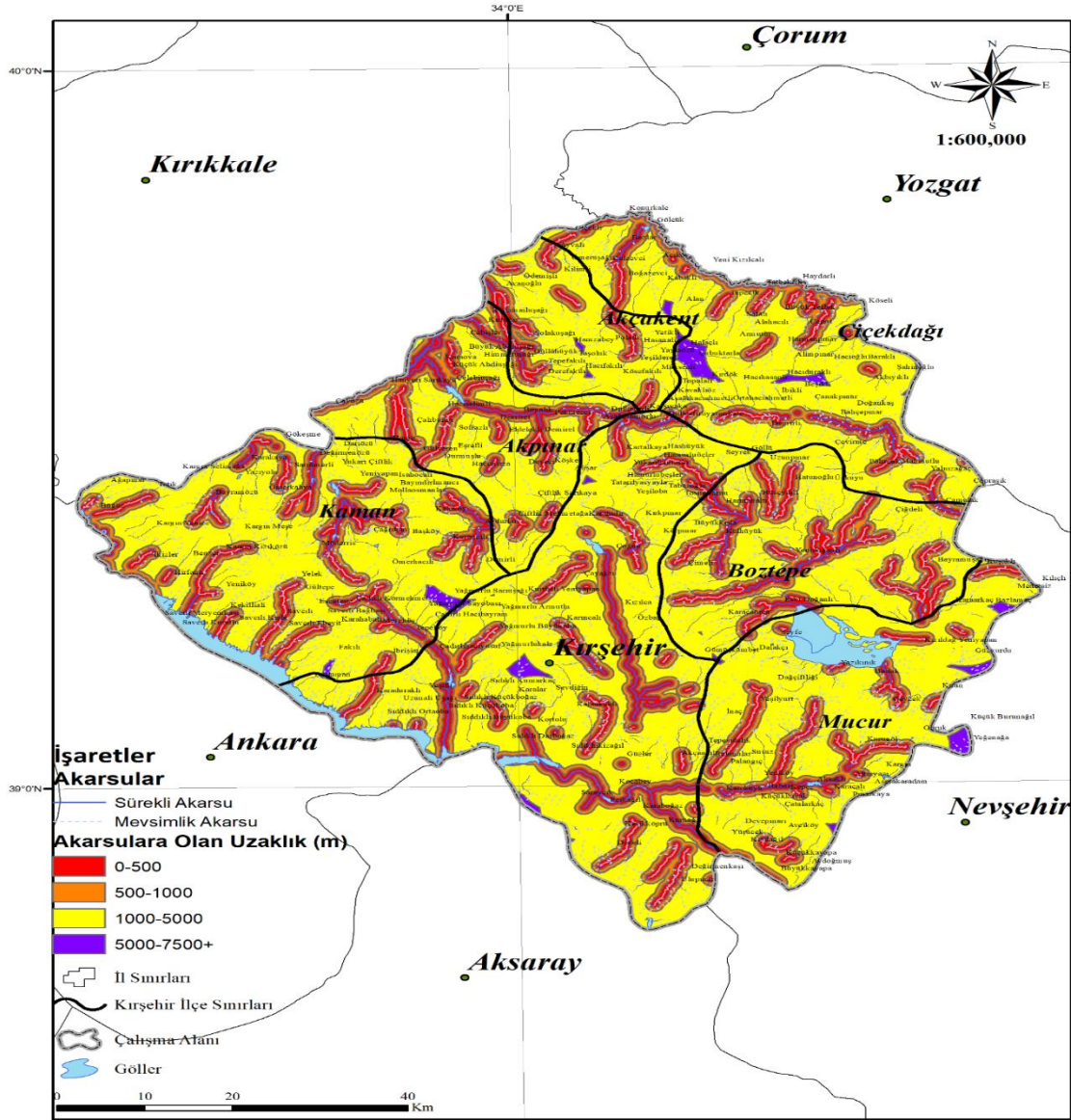
A.13. Akarsulara uzaklık kriteri alt kriter ağırlıklandırması ve mekânsal katmanın üretilmesi

Türbülanslı akış oluşturan atmosferik sınır tabakadaki rüzgârın pürüzlülük etkisinin artması dolayısı ile akarsulara yakın bölgeler, RES kurulumu için istenmeyen bir faktördür [9]. Bu çalışmada akarsulara uzaklık kriteri 4 alt kritere ayrılmıştır. Alt kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırmalar sonucunda AHP tutarlılık oranı %7 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 17 Akarsulara uzaklık alt kriteri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Akarsulara Uzaklık (m)	5000-7500+	1000-5000	500-1000	0-500	Ağırlıkları	
5000-7500+	1	3	5	7	0,558	%55,8
1000-5000	1/3	1	3	5	0,263	%26,3
500-1000	1/5	1/3	1	3	0,122	%12,2
0-500	1/7	1/5	1/3	1	0,057	%5,7

Akarsulara uzaklık haritası için önce topografyadaki vadiler ve akarsu güzergahlarını belirlemek gereklidir. Akarsu güzergahı için ArcGIS for Desktop'daki ArcMap yazılımında, Sayısal Yükseklik Modeli veriseti kullanılarak *Spatial Analyst Tools -Hydrology* araç kutusu içerisinde sırası ile; *Fill - Flow Direction - Flow Accumulation - Stream Order - Stream to Feature* katmanları oluşturulmuştur. Son oluşturulan akarsu güzergahı (stream) katmanını kullanarak yine ArcMap'deki *Analysis Tools - Proximity - MultipleRing Buffer* aracı ile Akarsulara uzaklık katmanı üretilmiştir (Şekil 17)



Şekil 17 Akarsulara uzaklık haritası

B. KRİTERLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRILMASI VE AHS AĞIRLIKLARI

RES kurulumuna uygun sahaların belirlenmesi için kriterlerin birbirlerine olan ağırlıkları alt kriterlerde olduğu gibi yine AHS ile tespit edilmiştir. Kriterlerin ağırlıkları literatürdeki çalışmalardan yararlanarak belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve kriterlerin birbirlerine göre önemleri 1'den 9'a puanlandırılarak karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 18).

Tablo 18'de görüldüğü üzere; 15 kriter arasında %20,8 ile en fazla ağırlık değerine rüzgâr hızı kriteri sahiptir. Güç yoğunluğu %15,1; yükseklik ve eğim %10,5; pürüzlülük, arazi kullanımı ve litoloji %6,9; enerji nakil hattı ve trafo merkezlerine olan uzaklık %4,5; yollara, korunan alanlara ve kuş göç yollarına uzaklık %3; yerleşim alanlarına uzaklık %1,7; fay hatlarına uzaklık %1,4; akarsulara uzaklık %1,3 ağırlık değerlerine sahiptir.

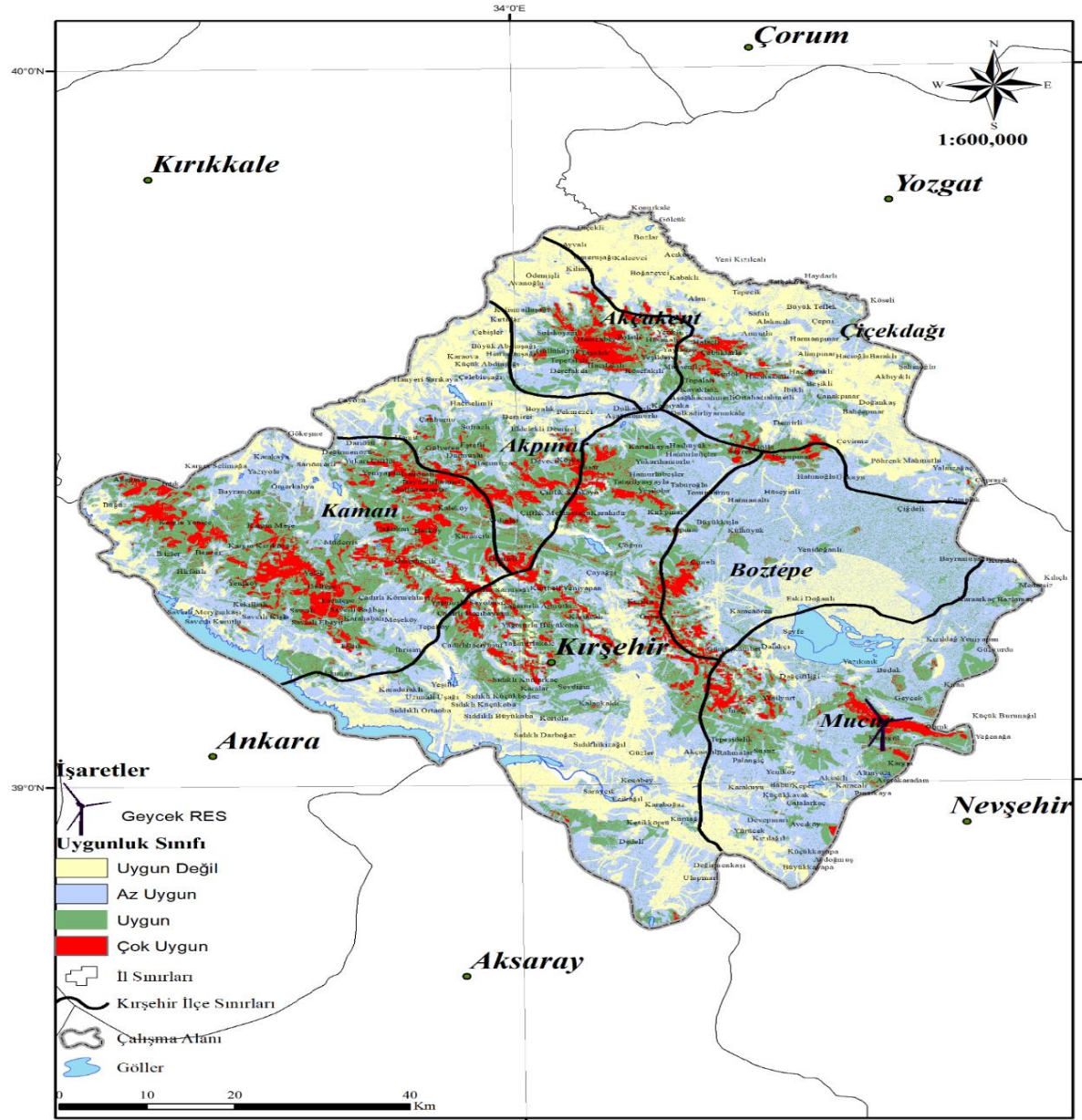
Bu çalışmada kriterler arası hiyerarşik tutarlılık oranı % 3 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 18. Kriterlerin ikili karşılaştırılması ve AHS ağırlık değerleri

Kriterler	Rüzgâr Hızı	Güç Yoğunluğu	Yükseklik	Eğim	Pürüzlülük	Arazi Kullanımı	Litoloji	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Trafo Merkezlerine Uzaklık	Yollara Uzaklık	Korunan Alanlara Uzaklık	Kuş Göç Yolları	Yerleşim Alanlarına Uzaklık	Fay Hatlarına Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	AHS	
Rüzgâr Hızı	1	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	8	9	0,208	%20,8
Güç Yoğunluğu	1/2	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	7	8	0,151	%15,1
Yükseklik	1/3	1/2	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	6	7	0,105	%10,5
Eğim	1/3	1/2	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	6	7	0,105	%10,5
Pürüzlülük	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	6	0,069	%6,9
Arazi Kullanımı	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	6	0,069	%6,9
Litoloji	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	6	0,069	%6,9
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1	2	2	2	3	4	5	0,045	%4,5
Trafo Merkezlerine Uzaklık	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1	2	2	2	3	4	5	0,045	%4,5
Yollara Uzaklık	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	0,030	%3
Korunan Alanlara Uzaklık	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	0,030	%3
Kuş Göç Yolları	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1	2	3	4	0,030	%3
Yerleşim Alanlarına Uzaklık	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1	1	0,017	%1,7
Fay Hatlarına Uzaklık	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1	1	1	0,014	%1,4
Akarsulara Uzaklık	1/9	1/8	1/7	1/7	1/6	1/6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1	1	1	0,013	%1,3

C. KIRŞEHİR İLİ RES UYGUNLUK HARİTASI

15 adet kritere ait mekânsal katmanlar, AHS yöntemi ile belirlenen önem ağırlıkları oranında etkilerinin ortaya konulması için, ArcGIS for Desktop'daki ArcMap yazılımı araçlarından 'mekansal çözümleme (spatial analysis) "overlay" aracı kullanılmıştır. Bunun için öncelikle vektörel cbs formatındaki veriler "Conversion Tools-to Raster-Feature To Raster" işlemleri ile 25m x 25m yatay çözünürlükte raster veri formatına(GeoTIFF) dönüştürülmüştür. Ardından 15 kritere ait katmanın her biri için ikili karşılaştırma ile hesaplanan (Tablo 18) 0 - 1 arasındaki önem ağırlıkları değerleri, "Spatial Analysis - Overlay - Weighted Sum" aracında kullanılmıştır. Bu araç yardımıyla çalışma alanındaki her bir grid için belirlenen 'uygunluk skoru haritası'nın kolay yorumlanabilmesi için, eşit aralıklı sınıflandırma ile "RES uygunluk haritası" dört alt sınıfa ayrılmıştır. Sınıflar; uygun değil, az uygun, uygun ve çok uygun olarak belirlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18 Kirsehir ili RES uygunluk haritası

IV. SONUÇ

Bu çalışmada Kırşehir il sınırları içerisinde rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumu için uygun sahaların mekânsal olarak belirlenmesi için 15 kriter seçilmiştir. Kriterlere ait mekânsal veriler üretilmiştir. Kriterlerin ve her bir kriterin alt kriterine ait önem derecelerine göre ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile birleştirilmiş ve RES uygunluk haritası elde edilmiştir.

Kriterler arasında en fazla önem ağırlığına sahip olan “rüzgâr hızı katmanı” (Şekil 3) ve çalışma sonucunda üretilen “RES uygunluk haritası” (Şekil 18) incelendiğinde uygunluk sınıflarının hemen hemen örtüştüğü görülmektedir. Fakat RES kurulumu için “rüzgâr hızı kriteri” tek başına yeterli değildir. Çalışmada da gösterildiği gibi insan ve çevre şartlarının ortaya konulduğu diğer kriterlerin de değerlendirilerek mühendislik açıdan en doğru “RES uygunluk haritası” oluşturulmalıdır.

RES kurulumu için önemli kriterlerden biri de “havaalanına uzaklık”tır. Fakat Kırşehir il sınırları içerisinde havaalanı bulunmadığından bu çalışmada bir kriter olarak ele alınmamıştır.

Çalışma alanındaki çok uygun alanlar incelendiğinde hâlihazırda Mucur ilçesi sınırlarında işletilmekte olan **Geycek RES**'in de bu sınıflandırma içerisinde olduğu görülmüştür.

Fosil enerji kaynaklarının giderek azalması, çevreye ve atmosfere verdiği zararlar, ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının devamlı olması, hâlihazırda bulunan iklim krizini daha da derinleştirmektedir. Bununla beraber, ülkemizde fosil yeraltı kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle ekonomik olarak dışa bağımlılık da fazladır. Ülkemizin coğrafi şartları dolayısıyla rüzgâr enerjisi potansiyeline yatırımların artırılması ekonomik açıdan faydalı olacaktır.

Rüzgâr Enerji Santrallerinin ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir. Bu sebeple fizibilite çalışmaları ve RES kurulacak uygun sahaların belirlenmesi çok önemlidir. RES'ler yalnızca rüzgâr hızının fazla olduğu yerlere kurulamaz. Rüzgâr hızı haricinde birçok başka kriter mevcuttur ve bu kriterlerin de incelenmesi gerekmektedir. Kriterleri inceleyebilmek için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemine başvurmak kriterlerin birbirlerine karşı önem derecelerini belirleyebilmesi bakımından kolaylık sağlayabilmektedir. Ayrıca çok sayıda kriter için elde edilen mekânsal verinin çözümlenmesinde CBS yazılım ve araçlarının kullanımı da hem işlem pratikliği hem de işlem doğruluğu sağlamaktadır.

Uygunluk haritasına göre Kırşehir'de “çok uygun” olarak sınıflandırılan sahalar RES Sahası olarak öncelikle değerlendirilebilir. Yukarıda da belirtildiği gibi mevcutta il sınırlarında yalnızca bir adet RES işletilmektedir. Kurulum açısından *çok uygun* sahaların enerji üretim potansiyelinin değerlendirilmesi ülkemiz ekonomisine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] UNDP, “Delivering Sustainable Energy in a Changing Climate: Strategy Note on Sustainable Energy,” 2016.
- [2] S. I. Seneviratne *et al.*, “Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” Cambridge, UK & New York USA, 2021. doi: 10.1017/9781009157896.013.
- [3] IPCC, “Climate Change 2021 Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers,” 2021.
- [4] M. O. L. Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbines*, Third Edition. Routledge, 2015.
- [5] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*. Baffins Lane, Chichester West Sussex PO19 1UD: John Wiley & Sons Ltd. , 2001.
- [6] K. J. Sediqi, “Gis-based multi-criteria approach for land-use suitability analysis of wind farms: the case study of Karaburun Peninsula, Izmir,-Turkey,” *Master’s Thesis, Izmir Institute of Technology, Turkey*, no. November. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 2016.
- [7] N. Y. Aydın, E. Kentel, and S. Duzgun, “GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 1. pp. 364–373, Jan. 2010. doi: 10.1016/j.rser.2009.07.023.
- [8] G. Önder and E. Önder, “Analitik Hiyerarşi Süreci,” in *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, 2nd ed., B. F. Yıldırım and E. Önder, Eds. Bursa: Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 2015, p. 337.
- [9] E. Özşahin and Ç. Kaymaz, “Rüzgâr Enerji Santrallerinin (Res) Kuruluş Yer Seçiminin Cbs İle Analizi: Hatay Örneği,” *TÜBAV Bilim Dergisi*, vol. 6, no. 2. pp. 1–18, 2014. [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/tubav/issue/21531/230992>
- [10] G. Can and M. A. Yücel, “Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti,” *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. pp. 25–27, 2019.
- [11] D. Arca and H. Keskin Çıtıröğlü, “Güneş Enerjisi Santral (GES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi İle Belirlenmesi: Karabük Örneği,” *Geomatik*, Nov. 2020, doi: 10.29128/geomatik.803200.
- [12] O. Artun, “Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Osmaniye’deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) Yatırımına Uygun Alanların Belirlenmesi,” *European Journal of Science and Technology*. pp. 196–205, 2020. doi: 10.31590/ejosat.763866.
- [13] İ. Aydın and D. Öztürk, “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Ege Denizi’nde Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri İçin Yer Seçimi,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendis. Fak. Fen ve Mühendislik Derg.*, vol. 23, no. 67, pp. 217–232, 2021, doi: 10.21205/deufmd.2021236719.
- [14] T. Urfalı and A. Geymen, “CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi,” *Geomatik*, vol. 6, no. 3, pp. 227–237, Sep. 2020, doi: 10.29128/geomatik.772453.
- [15] S. Ekiz, A. Şirin, and A. Erener, “En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi

- sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği,” *Journal of Geodesy and Geoinformation*, vol. 9, no. 1. pp. 59–79, 2022. doi: 10.9733/jgg.2022r0005.t.
- [16] “T. C. Kırşehir Valiliği Resmi İnternet Sitesi.” <http://www.kirsehir.gov.tr/cografya>
- [17] “Wikipedia Özgür Ansiklopedi.” [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kırşehir_\(il\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kırşehir_(il))
- [18] “Polat Enerji A.Ş. İnternet Sitesi.” <https://www.polatenerji.com/85-santrallerimiz/153-geycek-res/>
- [19] “ArcGIS for Desktop.” <https://support.esri.com/en/Products/Desktop/arcgis-desktop/arcmap/10-8-2>
- [20] B. Aktuğ *et al.*, “ED-50 (European Datum-1950) ile TUREF (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi) Arasında Datum Dönüşümü,” *Harit. Derg.*, vol. 50, no. 146, pp. 8–17, 2011.
- [21] E. Kaya, *A’dan Z’ye Rüzgar Santrali*. NORDEX Enerji A. Ş., 2021.
- [22] “Global Wind Atlas İnternet Sitesi.” <https://globalwindatlas.info>
- [23] A. Rosenqvist, “ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-scale Monitoring of the Environment,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 45, no. 11, pp. 3307–3316, 2007.
- [24] “Dataset: ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected high res; Includes Material © JAXA/METI 2007. Accessed through ASF DAAC.” NASA Earth Data ASF (The Alaska Satellite Facility). doi: <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>.
- [25] M. Türkeş, *Klimatoloji ve Meteoroloji*, 2nd ed. İstanbul: Kriter Yayıncılık, 2022.
- [26] “Wikipedia Özgür Ansiklopedi.” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Alüvyon>
- [27] D. Arca and H. Çıtıröğlü, “Rüzgar Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği,” *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 10, no. 2. pp. 168–176, 2020. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>
- [28] OpenStreetMap, “Openstreet Map Vektörel CBS Karayolu Verileri.” GeoFabrik. [Online]. Available: <http://download.geofabrik.de/europe.html>
- [29] Ü. Şenol, “Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sınır Ağları Yöntemiyle Tahmini,” *Yozgat Bozok Üniversitesi*, 2017.
- [30] OpenStreetMap, “Openstreet Map Vektörel CBS Yerleşim Yerleri Verileri.” GeoFabrik. [Online]. Available: <http://download.geofabrik.de/europe.html>
- [31] “T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı - Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi.” <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP>
- [32] “Çevre Düzeni Planları (1/100 000 ölçekli).” T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. [Online]. Available: <https://mpgm.csb.gov.tr/1-100.000-olcekli-i-82132>
- [33] “TKGM Parsel Sorgulama.” Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi. [Online]. Available: <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>
- [34] A. Bahadır, “Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli karar analizinin rüzgar türbini yer seçim probleminde uygulanması.” Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, p. 212, 2014.
- [35] “BIRDMAP İnternet Sitesi (Kuş Göç Yolları).”

<http://birdmap.5dvision.ee/EN/2021/spring/?line=1&track=0&speed=1>

- [36] “MTA Fay Hatları Sayısal Veri Seti (1/25000 ölçekli).” MTA Genel Müdürlüğü. [Online]. Available: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri_fay_haritalari/kirsehir.pdf